

3.1 MARINE

Der globale Ozean spielt eine bedeutende Rolle in vielen Umweltprozessen und ist ein wichtiges Verbindungsglied zwischen polaren und extra-polaren Regionen. Für kurze Zeitskalen – bis zu Dekaden – tragen sowohl der Ozean als auch die Atmosphäre zum veränderlichen Klimageschehen bei. Längerfristige Schwankungen – bis zu Jahrtausenden – sind dagegen vorzugsweise durch ozeanische Effekte bedingt. Dann kommen die Eisschilde mit ihrer enormen Trägheit ins Spiel. Auf den sehr langen Zeitskalen der tektonischen Veränderung der Erde – Jahrmillionen – stellt sich die Ozeanzirkulation auf die sich ändernde kontinentale Gestalt und Bodentopographie. Die isotopische Zusammensetzung der lebenden Organismen wird durch die jeweiligen Klimazustände erzwungen und manifestiert sich in ozeanischen Sedimenten und in den polaren Eisschilden.

MAR1: Dekadische Variabilität und globale Veränderung

Atmosphärische Klimavariabilität auf dekadischen Skalen

Simulationen mit einem global gekoppelten AOGCM haben gezeigt, dass Veränderungen in der polaren Energiesenke einen starken Einfluss auf das Klima in den mittleren und hohen Breiten ausüben, indem sie die Stärke der Westwinde in mittleren Breiten und die Zyklonenzugbahnen modulieren. Eine realistischere Meereis- und Schnee-Albedo Parametrisierung verändert die Eis-

3.1 MARINE

The global ocean plays an important role for urgent environmental problems. It provides a link between polar and extra-polar parts of the climate system. On small time scales up to decades, ocean and atmosphere contribute to climate variability. For time scales of tens to a few thousands of years, the ocean is considered the key component. On even the longer time scales polar ice sheets come into play. On time scales of tectonic changes, with opening or closing of water passages, the ocean circulation adjusts to the changing continental geometry. Changes in the abundance and isotopic composition of marine biomass are affected by climate conditions and document climate change in the oceanic sediment, providing an archive of climate history.

MAR1: Decadal Variability and Global Change

Atmospheric decadal-scale climate variability

By means of simulations with a global coupled AOGCM it is shown that changes in the polar energy sink region exert a strong influence on the mid- and high-latitude climate by modulating the strength of the mid-latitude westerlies and storm tracks. It is found that a more realistic sea-ice and snow albedo treatment changes the ice-albedo feedback and the radiative exchange between the atmosphere and the ocean sea-ice system. The planetary wave energy fluxes in the middle troposphere of mid-latitudes between 30 ° and 50 °N are redistributed, which induces perturbations in the zonal and meridional pla-

Albedo Rückkopplung sowie den Energieaustausch zwischen der Atmosphäre und dem ozeanischen Meereissystem. Die Energieflüsse der planetaren Wellen in der mittleren Troposphäre werden in mittleren Breiten zwischen 30 ° und 50 °N verändert, wodurch Störungen der zonalen und meridionalen planetaren Wellenzüge von den Tropen über die mittleren Breiten in die Arktis angeregt werden. Es stellte sich heraus, dass die verbesserte Parametrisierung von arktischem Meereis und Schnee-Albedo Veränderungen im Schwingungsmuster der Arktischen und Nordatlantischen Oszillation (AO/NAO) auslöst, die für das europäische Klima von großer Tragweite sind.

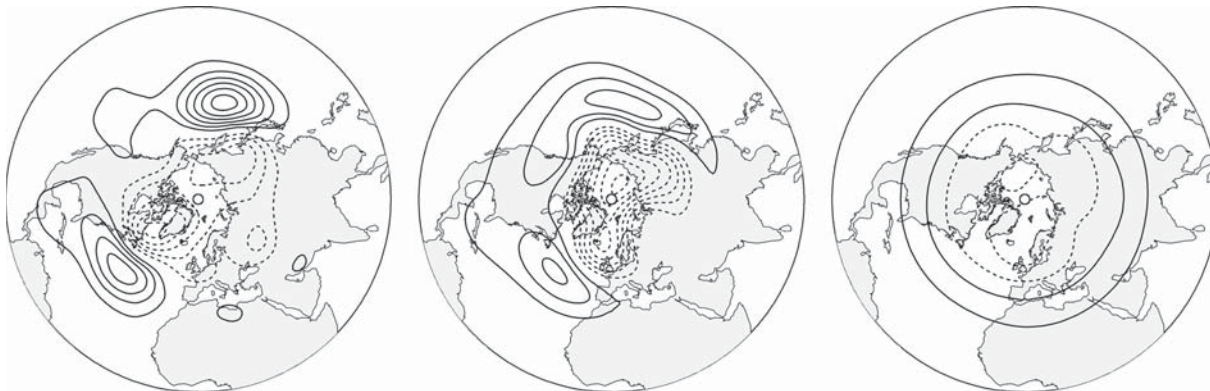
In einem idealisierten Modell der atmosphärischen Winterzirkulation auf der nördlichen Halbkugel wurde gezeigt, dass die Arktische Oszillation (AO) als zonalsymmetrisches Muster bereits auf einem rotierenden Aqua-Planeten (AQUA) entsteht. Land-See Kontraste (THERMAL) und Orographie (ORO) in Verbindung mit der Lokalisierung transienter barokliner Aktivität verwandeln die AO in ein zonal asymmetri-

netary wave trains from the tropics over the mid-latitudes into the Arctic. The improved parameterization of Arctic sea-ice and snow albedo turned out to trigger changes in the Arctic and North Atlantic Oscillation pattern with strong implications for the European climate.

An idealized model of the northern hemisphere atmospheric winter circulation showed that the Northern Annular Mode arises from an annular pattern on a rotating aqua-planet. It is modified to a zonally asymmetric pattern by land-sea contrasts and orography connected with the localisation of transient baroclinic activity. Dynamical mechanisms of atmospheric regime behaviour are investigated in the

Abb. 1: Erste EOF der 833 hPa Geopotentialfläche für die Experimente ORO (links), THERMAL (Mitte), und AQUA (rechts) im T21 Modell. Der Isolinienabstand beträgt 5 gpm, und negative Konturen sind gestrichelt.

Fig. 1: First EOF of 833 hPa geopotential height for the experiments ORO (left), THERMAL (middle), and AQUA (right) in the T21 model. Contour interval is 5 gpm, negative contours are dashed.



ches Muster (Abb. 1). Dynamische Mechanismen mit Regime-Verhalten wurden im Zusammenhang mit einem quasi-geostrophischen Dreischichten-T21-Modell der atmosphärischen Winterzirkulation über der nördlichen Hemisphäre erforscht. Das Modell, gesteuert durch realistische Orographie und thermischen Antrieb und mit einem neu entwickelten Tuning-Verfahren, simuliert die Arktische Schwingung sehr realistisch. Es zeigt ausgeprägte, intern generierte interannuelle und dekadische Variabilität und Zirkulationssysteme, die recht gut mit den beobachteten übereinstimmen. Zwei bekannte Hypothesen zum Ursprung des Regime-Verhaltens wurden geprüft: (i) multiple Gleichgewichte und (ii) chaotisches Umherwandern zwischen Attraktorrainen. Die erste Hypothese wird mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit widerlegt, während die zweite vermutlich stimmt.

Ein neuer statistischer Ansatz zur Quantifizierung dynamischer und chemischer Beiträge zur gesamten Sauerstoffvariabilität wurde entwickelt. Es stellte sich heraus, dass die tägliche Schwankung von einem neuen dynamischen Proxy dominiert wird, der die kombinierte Wirkung von Konvergenz/Divergenz in Flüssen und horizontaler Advektion beschreibt. Ein Lagrange-Modell des Wasserdampftransports in der tropischen Tropopause wurde entwickelt. Dieses neue Werkzeug zum Studium des Wasserdampftransports in die Stratosphäre ist das erste, das sich auf die thermodynamische Gleichung zur Formulierung des Vertikaltransports stützt; und es wird verlässlichere Flüsse liefern, als die bisher in Modellen benutzten.

context of a quasi-geostrophic three-level T21 model of the wintertime atmospheric circulation over the northern hemisphere. The model, driven by realistic orography and using a thermal forcing determined by a newly developed tuning procedure, represents a reasonable climatology and simulates the Arctic Oscillation quite realistically. It exhibits pronounced internally generated interannual and decadal variability and, in particular, circulation regimes which agree fairly well with observed ones. Two known hypotheses about the origin of regime behaviour, as it occurs in our model, are addressed: (i) multiple equilibria and (ii) chaotic itinerancy between attractor ruins. The first hypothesis is falsified at a very high probability, while the second is likely to be true. A new statistical approach to quantify dynamical and chemical contributions to total ozone variability has been developed. It was found that the day to day variability is dominated by a new dynamical proxy, which describes the combined effect of convergence/divergence in the flow and horizontal advection. A Lagrangian model of water vapour transport in the tropical tropopause has been developed. This new tool to study water vapour flux into the stratosphere is the first that relies on the thermodynamic equation for the formulation of the vertical transport and will result in more reliable fluxes than previously used in models.

Extreme anomalies and climate change

The hydrographic data from the ISPOL (Ice Station POLarstern) expedition (ANT XXII/2) into the western Weddell Sea were compared with the only other existing data from this area, obtained during the expedition Ice Station Weddell (ISW-1) in 1992. This revealed significant differences in the characteristics

Extreme Anomalien und Klimawandel

Die hydrographischen Daten der ISPOL (Ice Station POLarstern) Expedition (ANT XXII/2) aus dem westlichen Weddellmeer wurden mit den einzigen ebenfalls aus diesem Gebiet stammenden Daten der Expedition Ice Station Weddell (ISW-1) aus dem Jahr 1992 verglichen. Dabei zeigten sich signifikante Unterschiede in den Charakteristiken des Winter- (WW) und des Bodenwassers (BW). Das salzärmere WW (am Ende des antarktischen Winters) während ISPOL führte zu einer stabileren Pycnocline, die den ozeanischen Wärmestrom in das Meereis auf im Mittel nur wenige W/m^2 reduzierte. Die tiefen Temperaturen des BW in rund 1500 Metern Tiefe können – nach der Analyse der Tracerdaten am IUP-Bremen – dem Einfluss von Eisschelfwasser zugeschrieben werden. Damit wurden bisherige Spekulationen hinsichtlich der Modifikation von Schelfwassermassen unter dem Larsen-C Schelfeis bestätigt. Das Fehlen einer direkten Verbindung zwischen Schelf- und Bodenwasser deutet auf ein einmaliges Abgleiten schweren Wassers am Kontinentalhang hin. Die sporadische Bildung kalten Bodenwassers entlang der Antarktischen Halbinsel bestand bisher nur als Hypothese, beruhend auf den Beobachtungen im nordwestlichen Weddellmeer. Es ist anzunehmen, dass die beobachteten Veränderungen durch die Variabilität des Weddellwirbels, eine Verlagerung der Schelfkantenfront und durch vermehrten Süßwassereintrag in das westliche Weddellmeer aufgrund einer neuen Schelfeikonfiguration (Zerfall von Larsen B) verursacht wurden.

„Hindcast“-Simulationen mit zwei verschiedenen Modellen der NAOSIM-Hierarchie besagen, dass in den letzten 50 Jahren mindestens zwei extreme Süßwasser-Exportereignisse aus dem Nordpolarmeer auf-

of winter (WW) and bottom water (BW). The low-salt WW (at the end of the Antarctic winter) during ISPOL led to a more stable pycnocline, which reduced the oceanic heat flux into the sea ice to only a few W/m^2 on average. According to the analysis of tracer data at the IUP Bremen, the low temperatures of the BW at about 1500 meters depth can be ascribed to the influence of ice shelf water. This confirmed previous speculations regarding the modification of shelf water masses under the Larsen-C ice shelf. The lack of a direct connection between shelf and bottom water indicates a nonrecurring slide of heavy water at the continental slope. Until now, the sporadic formation of cold bottom water along the Antarctic Peninsula was only a hypothesis, based on observations in the north-western Weddell Sea. We suppose that the observed changes were caused by the variability of the Weddell eddy, a displacement of the shelf edge front and increased fresh water input into the western Weddell Sea due to a new shelf ice configuration (disaggregation of Larsen B).

“Hindcast” simulations with two different models of the NAOSIM hierarchy imply that in the last 50 years at least two extreme events of fresh water export from the Arctic Ocean occurred. In the mid-sixties, a heavy outpouring of sea ice and fresh water from the Barents Sea into the West Spitsbergen current caused a strong reduction of the sea surface height gradient between Greenland and Spitsbergen. This led to a drastic reduction of fresh water transports southwards and to an accumulation of low-salinity water in the Arctic Ocean. The large fresh water content decreased only slowly in the course of the following decades. We could explain a freshening of the subpolar westerly boundary currents south of Denmark Strait with an anomalously high

traten. In der Mitte der 60er Jahre führte ein starker Ausstrom von Meereis und Süßwasser aus der Barentssee in den West-Spitzbergen-Strom zu einer starken Abnahme des Gradienten in der Oberflächenauslenkung zwischen Grönland und Spitzbergen. Dadurch kam es zu einer drastischen Reduktion des südwärtigen Süßwassertransports und einer Akkumulation von salzarmem Wasser im Nordpolarmeer. Die geringen Salzgehalte wurden im Laufe der folgenden Jahrzehnte nur langsam abgebaut. Eine Aussüßung der subpolaren westlichen Randströme südlich der Dänemarkstraße in der Mitte der 1990er Jahre konnten wir durch einen anomal hohen (flüssigen) Süßwasserexport durch die Framstraße erklären. Eine großräumige Umverlagerung von Salz im Nordpolarmeer ging diesem Exportereignis voraus.

Die Messungen mit verankerten Geräten in der Framstraße ergaben seit 1997 eine starke Zunahme des Wärmetransports von der Norwegischen See in den Arktischen Ozean. Auf einen ersten Puls von 1997 bis 1999, bei dem sich der Wärmetransport beinahe verdoppelte, folgte nach einer leichten Abnahme ab 2004 eine erneute Zunahme. Während das erste Ereignis durch eine Zunahme von Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit bedingt war, wird das zweite fast ausschließlich durch Temperaturzunahme hervorgerufen.

Ozeanischer subpolarer Austausch auf beiden Halbkugeln

Modellsimulationen zum Einfluss des subpolaren Nordatlantiks auf die Bedingungen im Nordpolarmeer zeigen, dass barokline Störungen aus dem Bereich des östlichen Subpolarwirbels bis ins

(liquid) fresh water export through the Fram Strait. This export event was preceded by a large-scale redistribution of salt in the Arctic Ocean.

The ongoing measurements by moored instruments in the Fram Strait have revealed an increase of the heat flux from the Norwegian Sea into the Arctic Ocean since 1997. The strongest increase was observed from 1997 to 1999, when the amount of heat transported through the Fram Strait nearly doubled. After a slight decrease the next strong event started in 2004. During the first period, higher volume flux and higher temperature were equally responsible for the heat transport increase, whereas during the second event the temperature increase dominated.

Oceanic subpolar exchanges in both hemispheres

Model simulations on the influence of the subpolar North Atlantic on the conditions in the Arctic Ocean showed that baroclinic perturbations can be traced from the eastern subpolar gyre to the Arctic Ocean. A prediction, however, is made difficult by the complexity of the initial perturbation and the modification of water masses in the North Seas. Oceanic heat transport anomalies are consistent with deviations in the ice volume in the Arctic Ocean. As both signals occur nearly at the same time, the correlation is to be explained by heat flux from the ocean to the atmosphere and resulting anomalous atmospheric transports.

In calculations with a high-resolution version of the NAOSIM hierarchy we concentrated on transports in the Fram Strait at first. The model reproduces the recirculation in this area for the first time and shows that net transports are considerably smaller than north and southwardly transports. Model results were used to quantify the uncertainties in the measured transports.

Nordpolarmeer hinein zu verfolgen sind. Eine Vorhersage ist aber durch die Wassermassenmodifikation im Europäischen Nordmeer erschwert. Ozeanische Wärmetransportanomalien sind konsistent mit Eisvolumenschwankungen im Nordpolarmeer. Weil beide Signale fast zeitgleich sind, ist die Korrelation durch Wärmeabgabe des Ozeans an die Atmosphäre und darauf folgende anomale atmosphärische Transporte zu interpretieren.

In Rechnungen mit einer hochauflösenden Version der NAOSIM-Modellhierarchie haben wir uns zunächst auf die Transporte in der Framstraße konzentriert. Das Modell reproduziert zum ersten Mal die Rezirkulation in diesem Bereich, so dass die Netto-transporte wesentlich kleiner als die nord- und süd-wärtigen Transporte ausfallen. Die Modellergebnisse wurden verwendet, um Unsicherheiten in den gemessenen Transporten zu quantifizieren.

Ozean, Eisdecken und Meeresspiegel in einem sich wandelnden Klima

Die Auswirkungen eines erhöhten Süßwassereintrags von Grönland auf den Meeresspiegel wurden mit einem globalen Ozean-Meereis-Modell untersucht. Die direkte Änderung durch das hinzugefügte Süßwasser ist relativ klein. Eine bedeutendere Änderung kommt durch die Modifikation der großräumigen Zirkulation zustande. Die Umwälzbewegung im Nordatlantik schwächt sich auf etwa die Hälfte des ungestörten Wertes ab. Es kommt zu einer Akkumulation von Süßwasser im subpolaren Atlantik und im Nordpolarmeer, die zu einem Meeresspiegelanstieg von bis zu 60 Zentimeter (vor Norwegen und entlang Teilen der sibirischen Küste) führt.

Ocean, ice sheets and sea level in a changing climate

The effects of an increased fresh water input from Greenland on the sea level were examined with a global ocean-sea ice model. The direct modification of sea level through the added fresh water is relatively small. A more important alteration is caused by the modification of the large-scale circulation. The overturning in the North Atlantic weakens to about half the undisturbed value. Fresh water accumulates in the subpolar Atlantic and in the Arctic Ocean and causes the sea level to rise by up to 60 cm (off Norway and along parts of the Siberian coast).

Since 1993, the changes in sea level have been quantified by satellite altimeter measurements with nearly global coverage and great accuracy. Together with hydrographic data, these data are assimilated into a global ocean model which can reproduce deviations in sea level. These investigations aim at quantifying, on a regional as well as on a global average, the parts responsible for these changes: the steric part (thermal expansion, haline contraction) as well as the ocean's fresh water budget. A problematic zone for these explorations is the area of the Antarctic Circumpolar Current (ACC), for which insufficient observational data are available. Therefore we performed several comparison experiments, during which we assimilated different constellations of additional data in the region of the Weddell and Ross seas. These data have been taken from a regional model (BRIOS). Experiments show that changes in the area of the ACC have a strong influence on the long-term trend of the ocean's global heat content, i.e. on the steric contribution to sea level change. As the total changes in ocean volume are given by the altimeter measurements in the experiments, this influences the fresh water budget specified by the model.

Die Änderungen des Meeresspiegels sind seit 1993 durch die Altimetermessungen von Satelliten mit nahezu globaler Abdeckung und großer Genauigkeit bestimmt. Diese Daten werden zusammen mit hydrographischen Daten in ein globales Ozeanmodell assimiliert, das dadurch in der Lage ist, diese Meeresspiegelschwankungen genau wiederzugeben. Ziel der Untersuchungen ist es, sowohl im regionalen als auch im globalen Mittel die Anteile zu quantifizieren, die für diese Änderungen verantwortlich sind: den sterischen Anteil (thermische Ausdehnung, haline Kontraktion) sowie den Süßwasserhaushalt des Ozeans. Eine Problemzone bildet bei diesen Untersuchungen der Bereich des Antarktischen Zirkumpolarstroms (ACC), der nur ungenügend durch Messdaten abgedeckt ist. Deshalb wurden mehrere Vergleichsexperimente durchgeführt, in denen im Bereich des Weddell- und Rossmeeres verschiedene Konstellationen zusätzlicher Daten assimiliert wurden. Diese Daten sind dem regionalen Modell (BRIOS) entnommen. Die Experimente zeigen, dass Änderungen im Bereich des ACC einen großen Einfluss auf den langfristigen Trend des globalen Wärmeinhalts des Ozeans haben, d.h. auf den sterischen Anteil der Meeresspiegeländerungen. Da die totalen Volumenänderungen des Ozeans in den Experimenten durch die Altimetermessungen gegeben sind, hat dies wiederum Einfluss auf den durch das Modell bestimmten Süßwasserhaushalt.

Der Einfluss globaler Veränderung auf marine Organismen und Folgen für marine Biogeochemie

Die Zunahme der atmosphärischen CO₂ Konzentrationen und der Temperatur führt zu Änderungen im Karbonatsystem des Ozeans und beeinflusst somit die Karbonifizierung und die isotopische und elementare

The impact of global change on marine organisms and consequences for marine biogeochemistry

*Our understanding of strontium incorporation into coccolith calcite of *Emiliania huxley* was brought forward significantly by the combination of an experimental and a modelling approach. Determination of strontium exchange coefficients for coccoliths is nontrivial, since the chemistry of seawater differs from that of the coccolith vesicle solution. Exchange coefficients of coccolith calcite found in our study and in the literature are high compared to values of inorganically precipitated calcite. Although kinetic effects can explain part of this offset, the origin of this discrepancy is yet undisclosed. We have explained the high apparent partition coefficient values measured for coccolith calcite in terms of a simple model based on the channel/carrier mediated transport of calcium and strontium ions inside the algal cell. The model is solely based on thermo-dynamical constraints and does not assume a relationship between the exchange coefficient and the crystal growth rate. Application of the model to two independent datasets shows that the discrepancy of the temperature dependence between the apparent partition coefficient observed in coccoliths and inorganically precipitated calcite can be reconciled.*

The hypothesis that photosynthesis is favored by the calcification process in coccolithophorids is currently discussed. Data on the impact of varying Ca²⁺ concentrations and light intensity on the production of particular organic carbon (POC), inorganic carbon (PIC) and the carbon isotope fractionation, however, do not support this hypothesis. Our measurements of photosynthetic oxygen production and the absorption rates of CO₂ and HCO₃, taken with a membrane inlet mass spectrometer (MIMS), also do not back the hypothesis of the direct coupling of calcification and photosynthesis.

Zusammensetzung von Biomineralien. Unser Verständnis der Strontiumaufnahme im Coccolithophoriden-Kalzit von *Emiliania huxley* wurde beträchtlich vorangebracht durch die Kombination eines experimentellen Ansatzes mit einem Modellierungsansatz. Die Bestimmung von Strontiumaustauschkoeffizienten für Coccolithophoriden ist nicht trivial, da die Chemie von Seewasser sich von der in den Vesikeln der Coccolithophoriden unterscheidet. Austauschkoefizienten von Coccolithophoriden-Kalzit, die in unserer Studie und in der Literatur gefunden wurden, sind hoch im Vergleich zu den entsprechenden Werten von anorganisch ausgefälltem Kalzit. Obwohl kinetische Effekte einen Teil dieser Verschiebung erklären können, ist der Ursprung dieser Diskrepanz unbekannt. Wir haben den hoch erscheinenden Teil der Koeffizientenwerte, die für Coccolithophoriden-Kalzit gemessen wurden, mit Hilfe eines einfachen Modells erklärt, das den Transport von Kalium und Strontium innerhalb der Algenzelle berücksichtigt. Das Modell basiert nur auf thermodynamischen Grundsätzen und setzt den Austauschkoefizienten und die Rate des Kristallwachses nicht in Beziehung. Die Anwendung des Modells auf zwei voneinander unabhängige Datensätze zeigt, dass die Diskrepanz zwischen dem scheinbaren Austauschkoefizienten, der in Coccolithophoriden beobachtet wurde, und dem von anorganisch ausgefälltem Kalzit durch dieses Modell miteinander in Einklang gebracht werden kann.

Kontrovers diskutiert wird auch immer noch die Hypothese, dass die Photosynthese durch den Prozess der Kalzifizierung in Coccolithophoriden begünstigt wird. Untersuchungen zum Einfluss variabler Ca^{2+} -Konzentrationen und Lichtintensitäten auf die

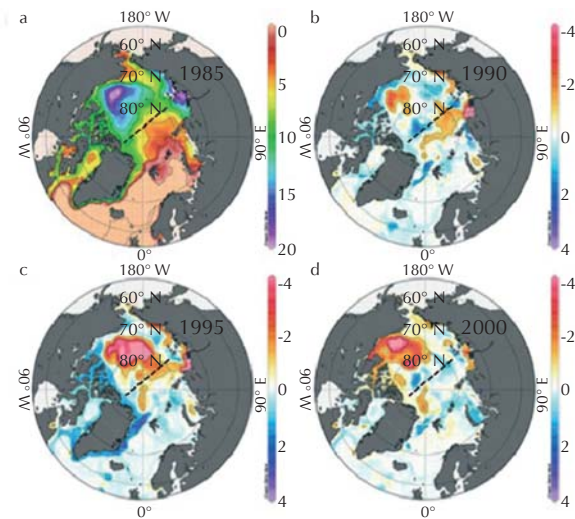


Abb.2: Abweichung des Salzgehalts in den oberen 250 Metern von 34.8, hier dargestellt als die Dicke einer reinen Süßwasserschicht. Abbildung a) zeigt den von NAOSIM simulierten Zustand im Jahr 1985, b) die Abweichung davon für 1990, c) für 1995, d) für 2000. Der Aussüßung des Ostgrönlandstroms im Jahre 1995 geht eine Umverteilung des Süßwassers vom östlichen ins westliche Nordpolarmeer voraus.

Fig. 2: Changes in salinity in the upper 250 m of 34.8, shown here as thickness of a pure fresh water layer. Fig. a) shows the state simulated by NAOSIM in 1985, b) the deviation for 1990, c) for 1995, d) for 2000. The freshening of the East Greenland Current in 1995 was preceded by a shifting of fresh water from the eastern to the western Arctic Ocean.

Produktion von partikulärem organischen Kohlenstoff (POC), anorganischem Kohlenstoff (PIC) und die Kohlenstoffisotopenfraktionierung können diese Hypothese jedoch nicht unterstützen. Unsere Messungen der photosynthetischen Sauerstoffproduktion und der CO₂- und HCO₃-Aufnahmeraten, die mit einem Membraneinlass-Massenspektrometer (MIMS) durchgeführt wurden, weisen nicht auf eine direkte Kopplung von Kalzifizierung und Photosynthese hin.

MAR2

Die bestehende Forschungsinfrastruktur am AWI bietet eine einzigartige Umgebung, um vergangenen, gegenwärtigen und künftigen Klimawandel zu studieren, wobei die Wissenschaft vom Zusammenspiel der Gruppen profitiert. Ein Schwerpunkt von MAR2 liegt auf Rekonstruktion und Modellierung von früheren Klimaveränderungen mit Schwerpunkt im maritimen Bereich. Geophysikalische Daten und Proxies werden jeweils zu Modelleingabe und Validierung genutzt.

Mechanistische Modelle von Paläoproxies

Die Sektion "Marine Biogeowissenschaften" konzentriert sich auf Validierung und Entwicklung von Proxy-Beziehungen. Die Prüfung prognostischer Klimamodelle für künftige Klimaveränderungen hängt kritisch von unserer Fähigkeit ab, das Klima der Vergangenheit quantitativ zu rekonstruieren. Deshalb nutzen wir stabile Proxies für Paläotemperatur und -salzgehalt, um die thermohaline Zirkulation genau zu re-konstruieren (Dichtefelder). Trotz mehr als 50

MAR2

Infrastructure at the AWI offers a unique research environment to study past, present and future variations of climate change whereby science benefits from the interactions between the groups. One focus of MAR2 is on the reconstruction and modelling of past climate change from a marine perspective. Geophysical data and proxies are used as model input and for validation, respectively.

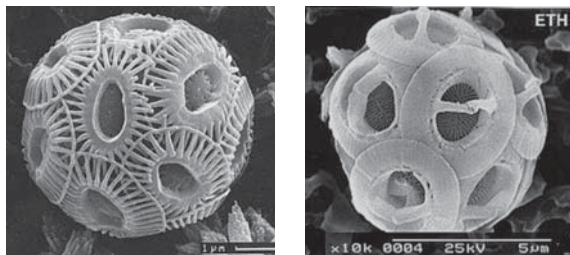
Mechanistic models of palaeoproxies

Within MAR2, the "Marine Biogeosciences" section focuses on validation and development of proxy relationships. Testing prognostic climate models for future climate change critically depends on our ability to quantitatively reconstruct past climate. This basically translates to using robust proxies for palaeotemperature and salinity in order to accurately reconstruct the thermohaline circulation (density fields). However, despite more than 50 years of palaeoceanographic research, palaeosalinity remains the only one of the most important oceanographic parameters which can currently still not be quantified by a single proxy from sedimentary records. Therefore, one of the scientific highlights of the last year was a couple of successful pilot experiments towards development of such an independent salinity proxy.

*Two haptophyte algae, *Emiliana huxleyi* and *Gephyrocapsa oceanica*, were cultured at different temperatures and salinities to investigate the impact of these factors on the hydrogen isotopic composition of long chain alkenones biosynthesized by these haptophyte algae. There was no significant correla-*

Jahren paläoozeanographischer Forschung bleibt Paläosalinität jedoch der einzige wichtige ozeanographische Parameter, der noch immer nicht aus Sedimentsdatensätzen quantifiziert werden kann. Darum waren mehrere erfolgreiche Pilotexperimente im letzten Jahr wissenschaftliche Glanzlichter auf dem Weg zur Entwicklung eines solchen unabhängigen Salinitätsstellvertreters (Proxy).

Zwei haptophyte Algen, *Emiliana huxleyi* und *Gephyrocapsa oceanica* (Abb. 3a, b), wurden bei verschiedenen Temperaturen und Salzgehalten gezüchtet, um den Einfluss dieser Faktoren auf die



Emiliana huxleyi

Gephyrocapsa oceanica

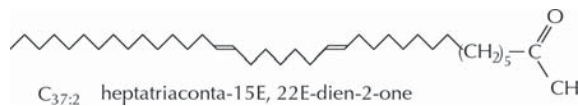


Abb. 3a, b: SEM-Bilder von zwei Hauptproduzenten von Alkenonen.

Abb. 3 c: Die chemische Struktur der Alkenone.

Fig. 3: This figure shows SEM pictures of two of the major producers of alkenones exemplified by the chemical structure below.

tion of the fractionation factor $\alpha_{\text{alkenones-H}_2\text{O}}$ with temperature but a negative linear correlation was observed between the $\alpha_{\text{alkenones-H}_2\text{O}}$ and salinity with a 5.4‰ change (!) in fractionation per ‰ salinity. This demonstrates that salinity has a substantial impact on the stable hydrogen isotopic composition of long chain alkenones in natural environments (δD) and hence, that δD has a huge potential to estimate palaeosalinity. We will continue along these lines of research and are confident that it will have a significant impact on the palaeoceanographic and palaeoclimatologic community.

Palaeoclimate simulations and climate reconstruction

Aided by computer simulations and conceptual models, the 'Paleo-Climate Dynamics' group at the AWI tries to find basic mechanisms for climate change contributing to a system-analytical understanding of the system Earth.

Models of components of the earth's system are used to depict climate dynamics and material fluxes on short as well as geological time scales. This procedure provides an improved access to the interpretation of climate data.

Current works deal with the stability of the oceanic circulation during past and recent climate changes. Such investigations allow statements on the vulnerability of the climate system and the quantification of abrupt climate changes and they present in detail the interaction of the atmospheric circulation, the transport of water vapour and the cryosphere with the oceanic circulation. It is shown that for the development and termination of ice ages the palaeoclimatic records from ice cores and marine sediments can be explained, when an interactive oceanic circulation is included. These circulation changes cause interhemispheric temperature gradients and shifts of the intertropical convergence zone.

Abb. 4: Zeitserien des nordatlantischen Tiefenwasserausstroms bei 30°S. Die globale Erwärmung wird durch einen linearen Übergang von glazialen zu interglazialen Bedingungen in Temperatur, Meereis und Windschub simuliert. In Übereinstimmung mit Analysen von Eisbohrkernen nehmen wir eine Erwärmung von 47 % des totalen Termination-I Temperaturanstiegs innerhalb von 7000 Jahren an. Diese Änderung entspricht dem Übergang vom Klima des letzten glazialen Maximums zur Bølling/Allerød Warmphase im nordatlantischen Raum. In LGM_19ka (schwarze Kurve) wird das Abschmelzen der nordhemisphärischen Eisschilde durch Süßwasserpulse von 0.25 Sv nach 1000 Modelljahren und einem darauf folgend permanenten Süßwassereintrag von 0.05 Sv in den Nordatlantik simuliert. In Experiment LGM_H (rote Kurve) wird zusätzlich eine Abfolge der Heinrich-Ereignisse 1a und 1b mit einer Stärke von 0.15 Sv und einer Dauer von 400 Jahren (zentriert um 2500 und 4000) simuliert.

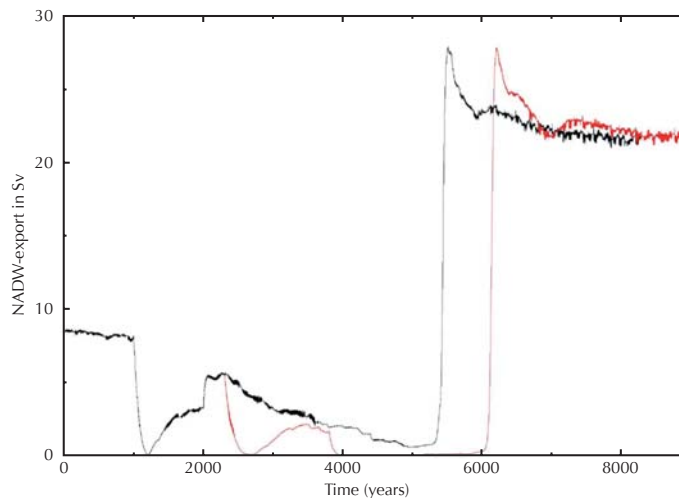


Fig. 4: Time series of the North Atlantic Deep Water export at 30° S. Global warming is simulated by a linear transition from glacial to interglacial conditions in temperature, sea ice and wind stress. In conformity with analyses of ice cores, we assume a warming of 47 % of the total termination-I temperature increase in 7000 years. This alteration corresponds to the transition from the climate during the last glacial maximum to the Bølling/Allerød warm phase in the North Atlantic region. In LGM_19ka (black curve) we simulate the melting of the ice shields in the northern hemisphere by fresh water pulses of 0.25 Sv after 1000 model years and a following permanent fresh water input of 0.05 Sv into the North Atlantic. In the experiment LGM_H (red curve) we additionally simulate a sequence of Heinrich events 1a and 1b with a strength of 0.15 Sv and a duration of 400 years centered at 2500 and 4000).

Wasserstoffisotopen-Zusammensetzung von langkettigen Alkenonen zu erforschen, die durch diese Algen biosynthetisiert wurden. Es gab keine nennenswerte Wechselbeziehung zwischen dem Fraktionierungsfaktor ($\alpha_{\text{alkenones-H}_2\text{O}}$) und der Temperatur, aber es wurde eine negative lineare Übereinstimmung beobachtet zwischen $\alpha_{\text{alkenones-H}_2\text{O}}$ und Salzgehalt mit einer 5.4 ‰ Fraktionierung pro ‰ Salzgehalt. Das zeigt, dass der Salzgehalt einen wesentlichen Einfluss auf die Zusammensetzung stabiler Wasserstoffisotope langkettiger Alkenone (Abb. 3c) in natürlicher Umgebung (δD) hat und somit δD ein großes Potential zur Rekonstruktion von Salzgehalt hat.

Paläoklimasimulationen und Klimarekonstruktionen

Die Paläoklimadynamik-Gruppe am AWI versucht, mit Hilfe von Computersimulationen und Konzeptmodellen grundlegende Mechanismen für Klimavariationen herauszufinden, die zu einem systemanalytischen Verständnis des Systems Erde beitragen. In der Modellierung werden Modelle von Komponenten des Erdsystems genutzt, um die Klimadynamik und Stoffflüsse auf kurzen bis hin zu geologischen Zeitskalen abzubilden. Dieses Verfahren liefert somit einen neuen Zugang zur Interpretation von Klimadaten.

Laufende Untersuchungen befassen sich mit der Stabilität der ozeanischen Tiefenzirkulation für vergangene und rezente Klimawechsel. Diese Arbeiten erlauben die Quantifizierung abrupter Klimaänderungen und Aussagen zur Verletzlichkeit des Klimasystems. Dabei werden die Wechselwirkungen der atmosphärischen Zirkulation, des Wasserdampftransportes und der Kryosphäre mit der ozeanischen Zirkulation herausgearbeitet. Es zeigt sich, dass für das Entstehen und Vergehen von Eiszeiten die paläokli-

Ocean gateway and basin evolution - consequences for ocean circulation and ice sheet development

During the period under review, the Geophysical group worked on the theme “Ocean gateway and basin evolution – consequences for ocean circulation and ice sheet development“. In 2004, a successful geophysical expedition was undertaken with RV Polarstern off Spitzbergen. The ice situation permitted seismic mapping of the entire western Yermak plateau and the adjacent mid-ocean ridge (Lena Trough). These data were needed for an IODP drill proposal, submitted in 2005, with the aim to describe the history of the opening of the Fram Strait. Another IODP application was submitted for the Alpha-Mendelev Ridge. Unfortunately, the Polarstern expedition, which is essential to substantiate the application, could not be realized in 2005 and is now scheduled to take place in 2008.

Projects off southeast Africa with two expeditions of RV Sonne serve an improved geodynamic reconstruction of Africa and the Antarctic as well as the development of marginal conditions for the Cenozoic ocean current history of the region around the Agulhas Plateau. In addition to these studies, crustal seismic experiments were conducted across the Agulhas Plateau, the Mozambique Ridge, the Discovery Seamounts and the Walvis Ridge in order to obtain a first budget of the magmatic activity in this region during the Mesozoic.

In East Antarctica, the geophysical flight campaign has been continued in the framework of a German-Japanese cooperative programme. In addition to mapping of the subglacial geology, an important objective is the recording of magnetic seafloor spreading anomalies off the coast. This airborne campaign

matischen Befunde aus Eiskernen und marinen Sedimenten erklärt werden können, wenn die ozeanische Tiefenzirkulation sich verringert bzw. anspringt und somit für interhemisphärische Temperaturgradienten und Verlagerungen der innertropischen Konvergenzzone sorgt.

Entwicklung von ozeanischen Meeresengen und Meeresbecken - Konsequenzen für Ozeanzirkulation und Bildung von Eisschilden

Im Berichtszeitraum bearbeitete die Geophysik das Thema „Ocean gateway and basin evolution – consequences for ocean circulation and ice sheet development“. Vor Spitzbergen wurde 2004 eine erfolgreiche geophysikalische Expedition mit FS Polarstern durchgeführt. Die Eissituation erlaubte die seismische Kartierung des gesamten westlichen Yermak-Plateaus sowie des angrenzenden mittelozeanischen Rückens (Lena Trog). Diese Daten wurden für die Erstellung eines IODP-Bohrvorschlages zur Beschreibung der Öffnungsgeschichte der Framstraße benötigt. Der Antrag wurde 2005 eingereicht. Ebenfalls wurde ein weiterer IODP-Antrag für den Alpha-Mendeleev-Rücken gestellt. Die notwendige Polarstern-Expedition, die zur Untermauerung des Antrages unbedingt erforderlich ist, konnte 2005 leider nicht durchgeführt werden und soll 2008 stattfinden.

Projekte vor dem südöstlichen Afrika mit zwei Fahrten des FS Sonne dienen einer verbesserten geodynamischen Rekonstruktion von Afrika und der Antarktis sowie der Erarbeitung von Randbedingungen für die känozoische Meeresströmungsgeschichte der Region um das Agulhas-Plateau. In Ergänzung zu diesen Arbeiten wurden krustenseismische Experimente am Agulhas-Plateau, am Mozambique-Rücken, den Dis-

will help considerably to improve the geodynamic reconstruction models of this region.

The development of sediment drifts supplies information about the palaeoceanographic and palaeoclimatic system in particular region. A sediment deposition model has been developed for a drift at the Antarctic Peninsula, showing an expansion of the ice-sheet for the period between 15 and 9 Ma and its retreat from 9 Ma onwards.

Consequences of glaciation in the northern hemisphere cannot only be identified locally, but also through the changes in ocean current systems of the southern hemisphere, which leave obvious traces in the sedimentary sequences along the southwest African continental slope. By correlating seismic data with climate information from palynological data, we succeeded in identifying a change from a humid to a dryer climate for the continent at 2.2 Ma.

Another important scientific result is the new plate-tectonic reconstruction of the South Pacific in a high temporal and spatial resolution, which now serves as the basis for a first palaeotopographic model. This development includes a nearly completed modelling of crustal development and magmatic events in the New Zealand region before, during and after the break-up of the Gondwana continent. For the first time, we also identified reactivated magmatism of the Bounty Trough in the Early to Mid-Miocene. It is likely that former fault zones from the Gondwana break-up were reactivated as channels for rising magma.

In 2005, AWI and GFZ started acquiring a new national amphibian equipment pool for broadband seismology. 30 broadband ocean-bottom seismometers (OBS) were delivered to AWI; additional 50 units

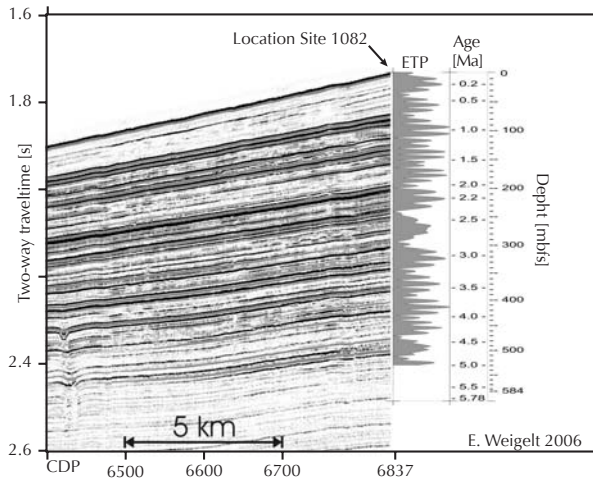


Abb. 5: Seismisches Profil am Ort der Bohrung „ODP Leg 175 Site 1082“ im Kapbecken vor Südwest-Afrika. Die graue Kurve (ETP) zeigt eine Überlagerung der Perioden von Exzentrizität, Erdachsenneigung und Präzession der Erdbahn. Aus den Bohrlochdaten wurde eine Schall-Tiefenverteilung berechnet und damit das Alter der Zyklen in Zwei-Weg-Laufzeit konvertiert. Die Verknüpfung von reflektionsseismischen Profilen mit Bohrlochdaten zeigt in den oberen seismischen Einheiten eine offensichtlich periodische Abfolge von kontinuierlichen Reflektoren hoher Amplituden. Sie sind für den Zeitraum der letzten 3,5 Millionen Jahre besonders gut ausgeprägt. Als Ursache für die Periodizität der Reflektoren vermuten wir glazial-interglaziale Zyklen. Diese stellen Klimabereiche dar, während derer sich die Zusammensetzung der Sedimente drastisch änderte. Solche Veränderungen beeinflussen auch die Dichte und P-Wellengeschwindigkeiten in den Ablagerungen, wodurch Impedanzkontraste entstehen, die sich mithin im seismischen Reflektionsmuster widerspiegeln.

Fig. 5: Seismic data close to ODP Leg 175 Site 1082 in the Cape Basin off south-western Africa. The grey curve (ETP) shows the combined cyclicity of eccentricity, tilt and precession of the earth's orbit. The cyclicity data were converted from age domain into two-way travel time domain by sonic logs calculated from P-wave velocities of the site data. The combination of reflection seismic lines with drill site records reveals an apparently regular sequence of continuous high amplitude reflectors characterizing the upper seismic units. They have been well pronounced for about the last 3.5 million years and indicate a periodicity. As a reason for the regularity of reflectors we suggest glacial to interglacial cycles as they present climate thresholds at which sediment composition drastically changes. These changes also influence density and P-wave velocity of the deposits and, consequently, find their expression in impedance contrasts and thus in the seismic reflection pattern.

covery-Seamounts und dem Walfisch-Rücken durchgeführt, um eine erste Bilanzierung der magmatischen Aktivität in dieser Region im Mesozoikum zu erstellen.

In der Antarktis wird im Rahmen eines deutsch-japanischen Programms die geophysikalische Flugkampagne der Ostantarktis fortgesetzt. Neben der Kartierung der subglazialen Geologie ist die Erfassung von magnetischen Spreizungsanomalien vor der Küste ein wichtiges Ziel. Durch die Befliegung können die geodynamischen Rekonstruktionsmodelle in dieser Region deutlich verbessert werden.

Die Entwicklung der Sedimentdrift liefert Hinweise auf das paläoozeanographische und paläoklimatische System in einem Gebiet. Für eine Drift an der Antarktischen Halbinsel ist ein Ablagerungsmodell entwickelt worden, das für den Zeitraum von 15 - 9 Ma eine Ausdehnung und ab frühestens 9 Ma einen Rückzug des Eisschildes aufzeigt.

Folgen der Vereisung in der Nordhemisphäre lassen sich nicht nur lokal, sondern auch über die Veränderungen der Meeresströmungssysteme der Südhalbkugel identifizieren, die deutliche Spuren in den sedimentären Sequenzen entlang des südwestafrikanischen Kontinentalrandes hinterlassen. Durch die Korrelation von seismischen Daten mit Klimainformationen aus palynologischen Daten ist es gelungen, eine Änderung von humidem zu eher trockenem Klima vor 2.2 Ma für den Kontinent zu identifizieren.

Ein weiteres wichtiges wissenschaftliches Ergebnis ist die neue plattentektonische Rekonstruktion des Südpazifiks in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung, die u.a. Grundlage für ein erstes paläotopographisches Modell bildet. Hierzu gehört auch die nahezu abgeschlossene Modellierung der Krustenentwicklung und magmatischen Ereignisse der neu-

will follow in 2006. It is planned to make first use of the equipment in the South Atlantic in April 2006. In May 2006, the first long-term use will start off the shores of Crete.

seeländischen Region vor, während und nach dem Aufbruch des Gondwana-Kontinents. Zusätzlich ist im Bounty Trog zum ersten Mal reaktivierter Magmatismus im frühen/mittleren Miozän identifiziert worden, der ehemalige Störungszonen des Gondwana-Aufbruchs als Aufstiegskanäle nutzte.

Im Jahr 2005 wurde mit dem Aufbau eines neuen nationalen amphibischen Gerätepools für Breitbandseismologie am AWI und GFZ begonnen. Im Jahr 2005 wurden 30 Breitband-Ozeanbodenseismometer an das AWI geliefert; weitere 50 Einheiten folgen 2006. Die ersten Einsätze dieser Geräte sind für April 2006 im Südatlantik geplant. Im Mai 2006 beginnt der erste Langzeiteinsatz vor Kreta.