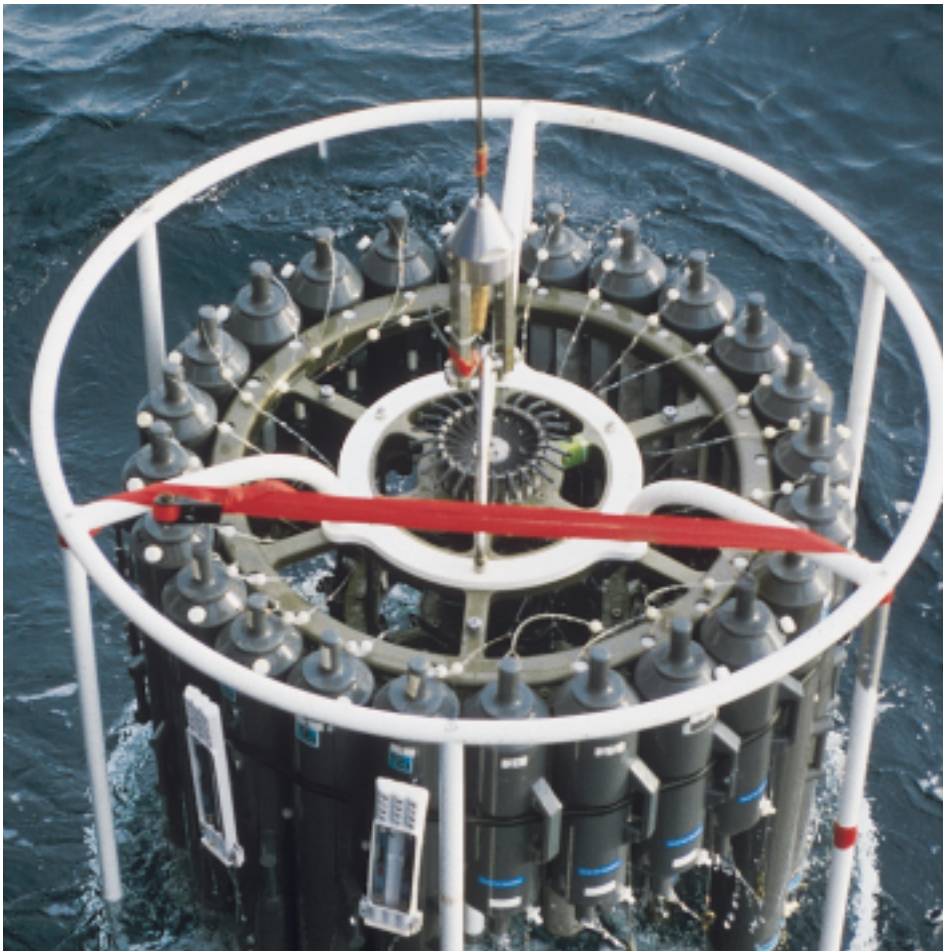




Schutzhelme und Sicherheitswesten für Arbeiten an Deck
Hard tops and life vests for work deck

Kranzwasserschöpfer
Rosette sampler

2. Ausgewählte Forschungsthemen | *Selected research topics*



Wenn ein Eisrücken dem Wind im Wege steht

Thomas Garbrecht, Christof Lüpkes

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

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

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

An ice ridge being an obstacle to the wind

Thomas Garbrecht, Christof Lüpkes

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

13. August 1996: Überströmung eines Presseisrückens

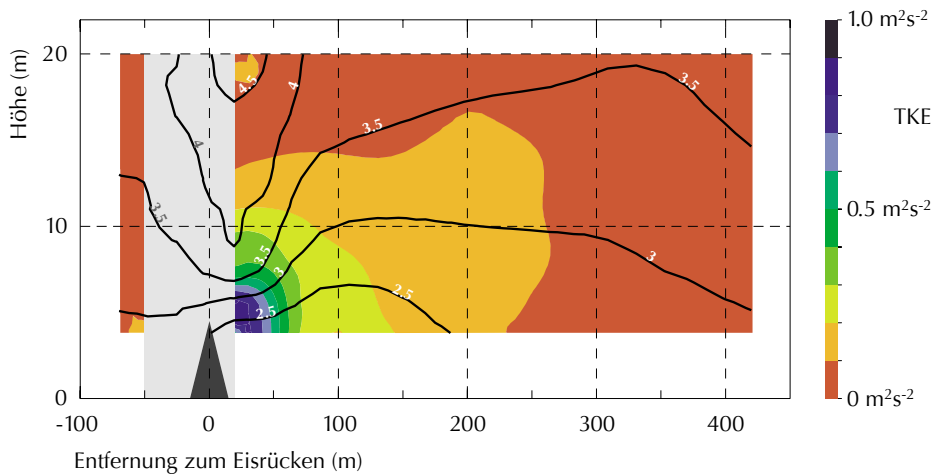


Abb. 2: Windgeschwindigkeit (Isolinien) und turbulente kinetische Energie, TKE, (farbig unterlegt) vor und hinter dem Eisrücken, dessen Position durch ein schwarzes Dreieck markiert ist. Die Windanströmung erfolgte von links. Zur Veranschaulichung wurden für den grau schraffierten Bereich zusätzliche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

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

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

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

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

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

Das Klima hat seine ganz eigene Dynamik

Natürliche, dekadische Klimavariabilität
in einer Hierarchie vereinfachter
Klimamodelle

Dörthe Handorf, Klaus Dethloff, Antje Weisheimer

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

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

The climate has its own dynamics

Decadal climate variability in a
hierarchy of simplified climate models

Dörthe Handorf, Klaus Dethloff, Antje Weisheimer

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

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

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

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

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

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

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

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

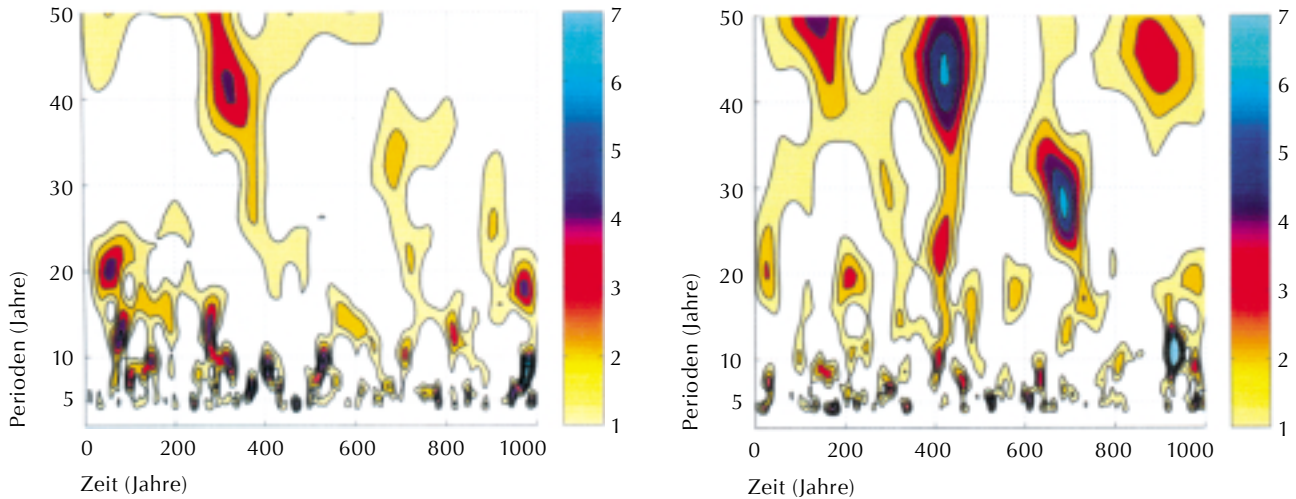


Abb. 3: Analyse der zeitlichen Entwicklung des ersten (links) und zweiten (rechts) dominierenden Musters der atmosphärischen Zirkulation nahe der Erdoberfläche (Wavelet-Methode). Hohe Werte (siehe Farbbalken) zeigen Maxima der spektralen Energie in Abhängigkeit von der Periode und der Integrationszeit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

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

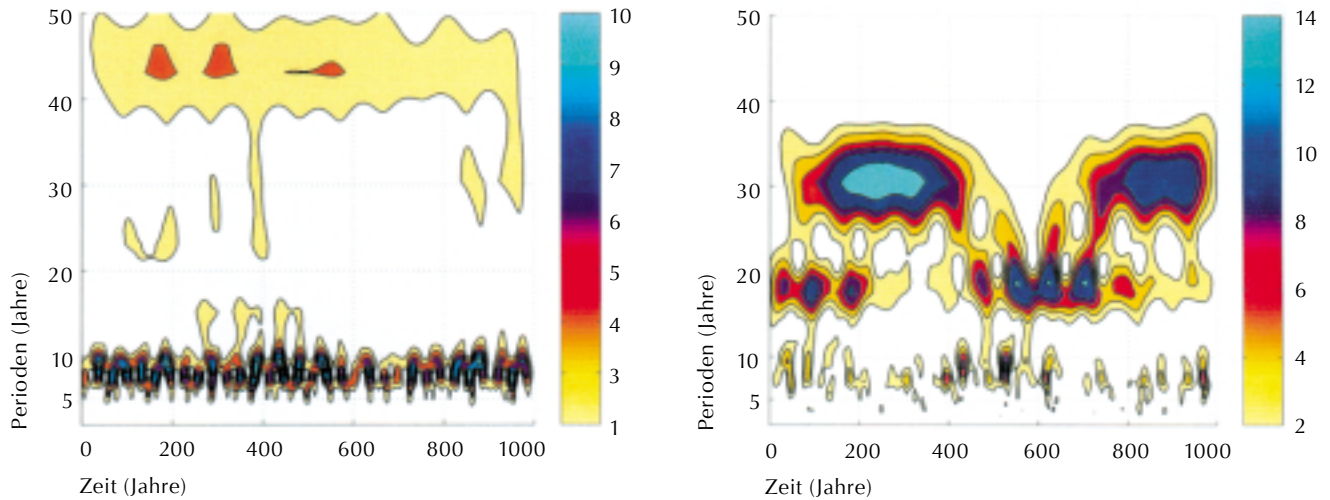


Abb. 4: Die gleiche Analyse für Daten, die mit dem gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modell berechnet wurden. Auch hier signalisieren hohe Werte maximale spektrale Energie und zeigen starke Klimavariationen an.

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

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

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

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

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

Wenn die großen Gletscher kommen

Gletscherbildung und veränderte
Meeresströmungen im Klimamodell

Katrin Meissner, Rüdiger Gerdes

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

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

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

The appearance of large glaciers

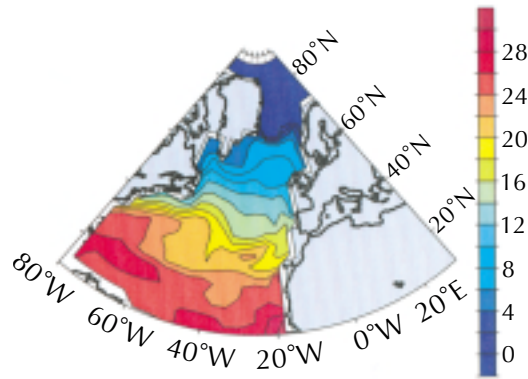
Glacier formation and changes in
oceanic circulation in climate models

Katrin Meissner, Rüdiger Gerdes

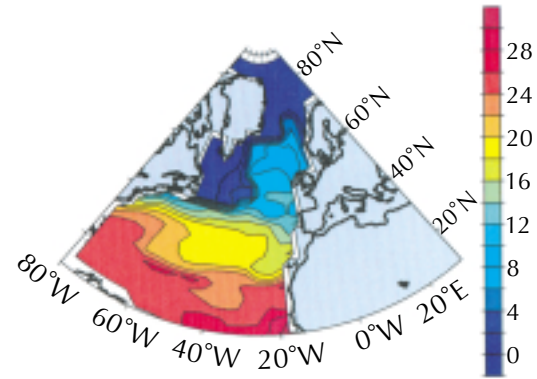
The swiss scientist Louis Agassiz presented his ice theory for the first time in 1837. He explained the apparently arbitrary distribution of erratic blocks as a leftover of an era in which a considerable part of the planet was covered with ice. Today, the existence of ice ages is proved by sediment samples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

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

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



a



c

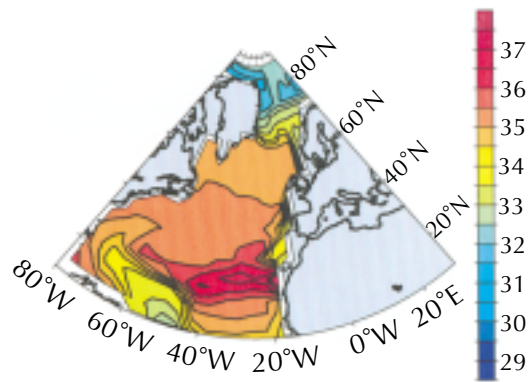
in den Sommermonaten nicht mehr gänzlich abtaut. Es käme dann zu einer Akkumulation von Schnee bzw. Eis, die die lokale Oberflächenalbedo erhöhen und zu einer weiteren Abkühlung führen würde. Durch den Aufbau von Inlandeis wird der Niederschlag gespeichert und nicht mehr über die Flüsse dem Meer zugeführt.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

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

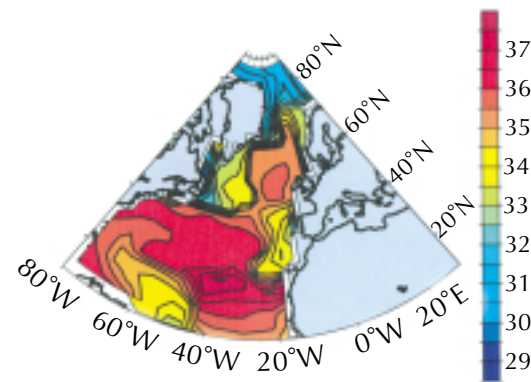
recycled to the oceans via run-off. During the last glacial maximum such a storage of fresh water led to a global increase in ocean salinity.

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

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



b



d

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

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

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

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

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

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

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