



# *Zweijahresbericht 1994/1995*



*Alfred-Wegener-Institut  
für Polar- und Meeresforschung*



Alfred-Wegener-Institut  
für Polar- und Meeresforschung  
Columbusstraße  
D-27568 Bremerhaven  
Telefon 0471 · 48 31-0  
Telefax 0471 · 48 31-149  
Telex 2 38 695 polar d

Druck: Druckhaus Lehe-Nord GmbH  
Langener Landstraße 226  
27578 Bremerhaven

Gestaltung und Satz:  
iD. Creation in Wort und Bild  
Humboldtstraße 17  
28203 Bremen

ISSN 0940-4546

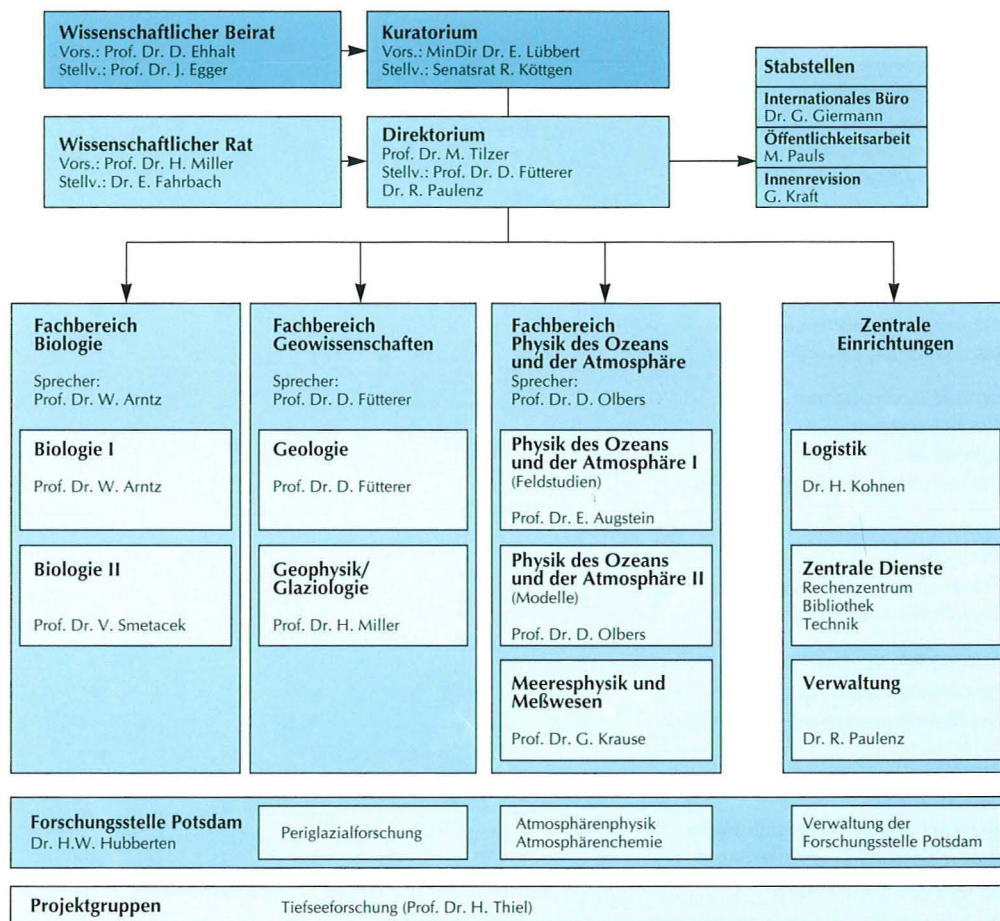
*Zweijahresbericht 1994/1995*

6	<b>1. Einleitende Übersicht</b>
14	<b>2. Ausgewählte Forschungsthemen</b>
14	Vom sibirischen Schelf zur arktischen Tiefsee: Nahrungsverfügbarkeit und mikrobielle Aktivität am Meeresboden (Boetius, Damm, Nöthig)
18	Zur Ökologie des sommerlichen Meereises (Gleitz, Kukert, Riebesell, Rutgers v. d. Loeff, Grossmann, Dieckmann)
22	Temperaturphysiologie von marinen Invertebraten und Fischen (Hardewig, Sartoris, Sommer, van Dijk, Zielinski, Pörtner)
27	Der „mehrstöckige“ Lebensraum am Meeresboden der Antarktis (Gutt)
30	Die bodennahe Luftströmung an der Neumayer-Station (Handorf)
34	Die Simulation atmosphärischer Klimaprozesse über der Arktis (Dethloff, Rinke)
40	Koordinierte Ozonsondierungen zur Bestimmung des Ozonabbaus im arktischen und subarktischen Winter (Rex, von der Gathen)
44	Der Sonnenscheinsimulator (Tüg)
48	Eisfreie Stellen im Packeis – Die Nordostwasser-Polynja in der Grönlandsee (Budéus, Schneider, Kattner, Hirche)
54	Der Austausch von Tiefenwasser über die untermeerischen Schwellen zwischen Grönland und Schottland (Beckmann, Döscher)
57	Die großräumige Verteilung des anorganischen Kohlenstoffs im atlantischen Sektor der Antarktis (Hoppema, Fahrbach)
61	Modellierung der Ozeanzirkulation unter dem Filchner-Ronne-Schelfeis (Determann, Gerdes, Grosfeld)
64	Das Filchner-Ronne-Schelfeis-Projekt (Oerter, Mayer, Hempel, Lambrecht, Nixdorf)
69	Die Plattentektonik des Bellingshausenmeeres (Gohl, Nitsche, Miller)
73	Entdeckung neuer Strukturen auf dem Meeresboden des südlichen Weddellmeeres (Schenke, Kuhn)
77	Radiolarien als Paläothermometer im Südpolarmeer (Abelmann, Brathauer, Sieger)
82	Sibirien: Ursprungsregion arktischer Sedimente (Rachold, Hoops, Hubberten)
86	Spät - und postglaziale Vegetations- und Klimageschichte des nördlichen Mittelsibiriens (Hahne, Harwart)
89	Informationssystem SEPAN (Sediment and Paleoclimate Data Network) (Diepenbroek, Grobe, Reinke, Schlitzer, Sieger, Siems)
94	<b>3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen</b>
94	3.1 Ozeanische und atmosphärische Prozesse in den Polargebieten
98	3.2 Modellierung von Prozessen und Zirkulationssystemen im Ozean
107	3.3 Meeresphysikalische Messungen und Instrumentenentwicklung
113	3.4 Der Untergrund der polaren Teile des Atlantik und seiner kontinentalen Umrandung
116	3.5 Glaziologie
120	3.6 Meeresgeologie
131	3.7 Marine Ökosystemforschung und Ökophysiologie (Sektion Biologie I)

## Inhaltsverzeichnis

142	3.8 Biologische Meereskunde (Sektion Biologie II)
152	3.9 Geowissenschaftliche Studien in Eisrandgebieten
158	3.10 Physik und Chemie der polaren Atmosphäre
167	3.11 Meereisforschung
173	3.12 Der Kohlenstoffkreislauf
<b>183</b>	<b>4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen</b>
183	4.1 „Polarstern“
199	4.2 „Victor Hensen“
202	4.3 Polarflugzeuge
208	4.4 Landexpeditionen
213	4.5 Neumayer-Station
216	4.6 Dallmann-Laboratorium
217	4.7 Koldewey-Station
222	4.8 Weitere kleine Stationen
<b>223</b>	<b>5. Logistik</b>
<b>228</b>	<b>6. Internationale und nationale Zusammenarbeit</b>
228	6.1 Nationale Zusammenarbeit
231	6.2 Internationale Zusammenarbeit
<b>237</b>	<b>7. Zentrale Einrichtungen</b>
237	7.1 Rechenzentrum
243	7.2 Bibliothek
244	7.3 Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
<b>248</b>	<b>8. Personeller Aufbau und Haushaltsentwicklung</b>
248	8.1 Personal
248	8.2 Haushalt
250	8.3 Bericht der Frauenbeauftragten
<b>252</b>	<b>9. Veröffentlichungen</b>
252	9.1 Veröffentlichungen des Instituts
255	9.2 Veröffentlichungen der Mitarbeiter
<b>280</b>	<b>Anhang</b>
280	I. Personal
283	II. Wissenschaftliche Veranstaltungen
284	III. Abgeschlossene Examensarbeiten
288	IV. „Polarstern“-Expeditionen

Alfred-Wegener-Institut  
für Polar- und Meeresforschung



### **Kuratorium**

#### **Mitglieder**

Vorsitzender bis 22.03.1994  
MinDir Dr. Jan-Baldem Mennicken  
Vorsitzender ab 22.03.1994  
bis 10.10.1995  
MinDir Dr. Reinhold Leitterstorf  
Vorsitzender ab 10.10.1995  
MinDir Dr. Eckhard Lübbert  
Stellvertr. Vorsitzender bis 11.07.1995  
Staatsrat Prof. Dr. Reinhard Hoffmann  
Stellvertr. Vorsitzender  
ab 11.07. bis 24.10.1995  
Staatsrat Dr. Hans-Henning Zietz  
Stellvertr. Vorsitzender ab 24.10.1995  
Senatsrat Rainer Köttgen  
Staatsrat Dr. Hartwig Heidorn  
(bis 18.01.1994)  
Staatsrat Dr. Günter Dannemann  
(ab 18.01.1994)  
VLR1 Dietrich Granow  
(bis 13.11.1995)  
VLR1 Dr. Jochen Trebesch  
(ab 13.11.1995)  
MinR Norbert Kleeschulte (im 2-  
jährigen Wechsel mit Dieter Stiepel)  
MinR. Dieter Stiepel (im 2-jährigen  
Wechsel mit Norbert Kleeschulte)  
Prof. Dr. Dieter Ehhalt  
Prof. Dr. Hans-Joachim Schellnhuber  
Dipl.-Ing. Conrad Naber  
Prof. Dr. Jürgen Benndorf  
Prof. Dr. Christoph Reigber  
Fred Zander

#### **Beratende Teilnehmer**

Prof. Dr. Max Tilzer  
Dr. Rainer Paulenz  
Prof. Dr. Dieter Fütterer  
Prof. Dr. Heinz Miller  
Prof. Dr. Jürgen Timm  
Günter Meyer (bis 31.07.1994)

Heino Müller (ab 01.08.1994)

#### **Wissenschaftlicher Beirat**

Prof. Dr. Dieter Ehhalt (Vorsitzender)  
Prof. Dr. Joseph Egger  
(Stellvertr. Vorsitzender)  
Der Präsident der MPG:  
Prof. Dr. Hans F. Zacher  
Ständiger Vertreter:  
Prof. Dr. Klaus Hasselmann  
Der Präsident der DFG:  
Prof. Dr. Wolfgang Frühwald  
Ständiger Vertreter:  
Prof. Dr. Erik Flügel  
Der Präsident der BGR:  
Prof. Dr. Martin Kürsten  
Ständiger Vertreter:  
Prof. Dr. Karl Hinz  
Der Leiter der BFA:  
Ständiger Vertreter:  
Dir. Prof. Dr. Gerd Hubold  
Der Rektor der Universität Bremen:  
Prof. Dr. Jürgen Timm  
Prof. Dr. Erwin Suess  
Prof. Dr. Robert Delmas  
Prof. Dr. Yngve Kristoffersen  
Prof. Dr. Bengt-Owe Jansson

#### **Beratende Teilnehmer**

Der Vorsitzende des Kuratoriums  
des AWI:  
MinDir Dr. Eckhard Lübbert  
Vom Vorsitzenden ernannter  
Vertreter:  
Dr. Ulrich Schlüter (Ref. 426)  
Stellvertr. Vorsitzender des  
Kuratoriums des AWI:  
Senatsrat Rainer Köttgen  
Vom Stellvertr. Vorsitzenden  
ernannter Vertreter:  
Dr. Holger Bienhold  
Der Direktor des AWI:

Prof. Dr. Max Tilzer  
Der Verwaltungsdirektor des AWI:  
Dr. Rainer Paulenz  
Der Vertreter des Direktors des AWI:  
Prof. Dr. Dieter Fütterer  
Der Vorsitzende des  
Wissenschaftlichen Rates des AWI:  
Prof. Dr. Heinz Miller

#### **Gäste des Wissenschaftlichen Beirats**

Prof. Dr. Jürgen Gutowski

#### **Direktorium**

Prof. Dr. Max Tilzer (Direktor)  
Dr. Rainer Paulenz  
(Verwaltungsdirektor)  
Prof. Dr. Dieter Fütterer  
(Vertreter des Direktors)

#### **Wissenschaftlicher Rat**

Prof. Dr. Heinz Miller, Vorsitzender  
Dr. Eberhard Fahrback,  
stellv. Vorsitzender  
Prof. Dr. Wolf Arntz  
Prof. Dr. Ernst Augstein  
Prof. Dr. Dieter Fütterer  
Dr. Wolfgang Hiller  
Prof. Dr. Gunther Krause  
Dr. Roland Neuber  
Dr. Eva-Maria Nöthig  
Prof. Dr. Dirk Olbers  
Prof. Dr. Victor Smetacek

#### **ständige Gäste**

Dr. Hans-Wolfgang Hubberten  
Dr. Heinz Kohnen  
Dr. Rainer Paulenz  
Prof. Dr. Meinhard Schulz-Baldes  
Prof. Dr. Hjalmar Thiel  
Prof. Dr. Max Tilzer

(Stand 31.12.1995)

## 1. Einleitende Übersicht

Die Forschungsarbeiten des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung konzentrieren sich auf beide Polarregionen. Soweit es thematisch erforderlich ist, wird die Forschung aber auch auf andere Meeresregionen ausgedehnt.

### *Übergeordnete Forschungsschwerpunkte*

Das Ziel der wissenschaftlichen Untersuchungen am Alfred-Wegener-Institut ist es, die wesentlichen physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse in den Polarregionen zu erfassen, zu beschreiben und ihre Bedeutung für die globale Umwelt einzuschätzen. Dabei besteht eine enge Wechselbeziehung zwischen Feldarbeiten und numerischen Modellen: Die Erkenntnisse der Feldarbeiten bilden die Grundlage für die numerische Modellierung von Szenarien. Mit Hilfe derartiger Szenarien lassen sich durch natürliche und durch menschliche Einflüsse verursachte Umweltveränderungen beschreiben und mögliche Langzeitwirkungen abschätzen.

Die Forschungsthemen des Alfred-Wegener-Instituts gliedern sich in die folgenden drei Arbeitsschwerpunkte:

1. *Das gekoppelte System Ozean-Atmosphäre-Kryosphäre:* Die physikalischen Prozesse in Wasser, Luft und Eis sowie deren gegenseitige Beeinflussung werden durch Felduntersuchungen und Modellrechnungen erforscht. Besonderes Interesse gilt zur Zeit den physikalischen und chemischen Prozessen in der polaren Atmosphäre, die zu den seit 20 Jahren beobachteten stratosphärischen Ozonreduktionen im Frühjahr führen. Verstärkt werden in den letzten Jahren auch die Analysen von Eisbohrkernen zur Rekonstruktion des Paläoklimas sowie die Modellierung der Massenbilanzen der Eisschilde auf Antarktika und Grönland.
2. *Marine Ökosysteme:* Umfangreiche Feld- und Laborstudien widmen sich der Untersuchung polarer mariner Lebensgemeinschaften. Hinzugekommen ist die ökophysiologische Untersuchung wichtiger Elemente der polaren Fauna, der Schwerpunkt liegt dabei auf ihren Anpassungsstrategien an die polaren Lebensbedingungen. Zunehmend mehr Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit dem Kohlenstoffkreislauf im Ozean unter Einschluß der biologischen Komponente. Auch das Zusammenwirken physikalischer und biologischer Prozesse sowie die Quantifizierung der trophischen Beziehungen innerhalb der Lebensgemeinschaften rücken stärker in das Zentrum unserer Forschungsarbeiten.



## 1. Einleitende Übersicht

3. *Der Untergrund der polaren Meere und ihre Begrenzungen:* Die Rekonstruktion vergangener Klimazustände aus Bohrkernen der polaren Eiskappen wird durch Messungen an marinen, lakustrinen und terrestrischen Sedimenten (antarktische Oasen, sibirischer Permafrost) auf geographisch größere Gebiete und erdgeschichtlich längere Zeiträume ausgedehnt. Mit geophysikalischen Methoden werden Informationen über die Erdkruste in den beiden Polargebieten gewonnen, die zeitlich noch weiter in die Erdgeschichte zurückreichen. Diese drei Themenbereiche werden von den nach Fachgebieten gegliederten wissenschaftlichen Sektionen bearbeitet.

Einige zentrale Themen werden am Institut zusätzlich von fachübergreifenden Forschungsgruppen bearbeitet, die nur befristet etabliert sind und deren Mitarbeiter jeweils einer der beteiligten Sektionen administrativ zugeordnet bleiben. Die Arbeitsgruppen verfügen über einen Leiter und einen eigenen Haushaltsansatz. Zur Zeit bestehen Forschungsgruppen zu den folgenden Themen:

### Fachübergreifende Forschungsgruppen

- *Tiefseegruppe:* Die Arbeiten im Tiefseebereich auf den Gebieten der physikalischen Ozeanographie, der marinen Geologie und der Benthos-Ökologie werden seit 1995 als spezieller Schwerpunkt koordiniert.
- *Kohlenstoffflüsse:* Die Rolle der marinen Lebensgemeinschaften im globalen Kohlenstoffkreislauf in Vergangenheit und Gegenwart soll durch experimentelle Arbeiten in Feld und Labor sowie durch Experimente mit numerischen Modellen aufgeklärt werden.

Darüberhinaus bilden sich in zunehmendem Maße am Institut lose gefügte, themenorientierte Arbeitsgruppen. In ihren Rahmen werden aktuelle wissenschaftliche Ergebnisse diskutiert und gemeinsame Forschungsprojekte geplant.

- *Meereis:* Untersuchung der Entstehung und der jahreszeitlichen Veränderungen der physikalischen Strukturen des Meereises. Erfassung der Lebensgemeinschaften, ihrer Abhängigkeit von physikalischen und chemischen Umweltbedingungen und ihrer Bedeutung für den Stoffhaushalt der Polarmeere.
- *Ozon/Ultraviolette Strahlung:* Die Auswirkungen erhöhter UV-B-Strahlenbelastung auf Organismen und Lebensgemeinschaften werden durch Feldmessungen und Laborexperimente untersucht. Eine besondere Rolle spielen dabei kontinuierliche Messungen der vertikalen Ozonverteilung, die durch Modellrechnungen ergänzt werden. Die Voraussetzung zur Quantifizierung der

UV-B-Strahlung war die Entwicklung hochempfindlicher Meßgeräte im AWI.

- *Modellierergruppe*: In allen Sektionen gewinnen numerische Modelle an Bedeutung. Um die dabei verwandten Methoden optimal zu nutzen, wird ein intensiver Gedanken- und Erfahrungsaustausch zwischen den interessierten Wissenschaftlern gepflegt.
- *Kerngruppe*: Am AWI werden Bohrkerne aus Bodensedimenten des Ozeans und von Binnengewässern sowie aus Eisschilden gewonnen. Die Ergebnisse aus diesen verschiedenen Klima-Archiven werden verglichen und miteinander verknüpft.

Da die Stelle des Leiters der Sektion Chemie zur Zeit nicht besetzt ist, wurden die Arbeitsgruppen dieser Abteilung drei verschiedenen Sektionen des Alfred-Wegener-Instituts zugeordnet, mit denen sie bereits in der Vergangenheit zusammengearbeitet hatten, und zwar:

- Die *Arbeitsgruppe Atmosphärenchemie* der Sektion Geophysik/Glaziologie, um im verstärkten Maße den Chemismus des Inlandeises zu untersuchen, der über die Niederschläge mit dem Chemismus der Atmosphäre gekoppelt ist.
- Die *Arbeitsgruppe Nährstoffchemie und Lipide* in die Sektion Biologie II (Biologische Meereskunde), um die Nährsalzverteilung zur Erkundung der trophischen Beziehungen in den polaren Meeren detailliert aufzunehmen.
- Die *Arbeitsgruppe Naturstoffchemie* in die Sektion Biologie I (Marine Ökosystemforschung und Ökophysiologie), um Produkte des Sekundärstoffwechsels sowie Pestizidrückstände in den dort lebenden Tieren zu bestimmen.

#### *Beispiele wissenschaftlicher Ergebnisse*

Im folgenden werden einige aktuelle wissenschaftliche Ergebnisse beschrieben, welche die Arbeiten in den Sektionen charakterisieren sollen:

##### *Empirische Untersuchungen des Systems Ozean – Atmosphäre*

Das Meereismodell, das an die ozeanische Deckschicht gekoppelt ist, wurde erweitert: Als zusätzliche Komponenten wurden das Eisalter und die Oberflächenrauigkeit des Meereises einbezogen. Auf diese Weise ist eine realistische Simulation der Eisentwicklung im gesamten Arktischen Ozean möglich. Insbesondere können nun auch der Eisexport durch die Framstraße und dessen Auswirkung auf die Oberflächenbedingungen in der Grönlandsee und im Nordatlantik zuverlässig eingeschätzt werden.

## 1. Einleitende Übersicht

### *Modellierung des Systems Ozean - Atmosphäre*

Anhand von Modelluntersuchungen zur langperiodischen natürlichen Klimavariabilität der ozeanischen Zirkulation konnte gezeigt werden, daß die thermohaline Zirkulation durch Rückkopplungen mit der Atmosphäre stabilisiert wird. Es wurden durch numerische Experimente mit gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Modellen Wechselwirkungsmechanismen untersucht, die den Zustand und die Variabilität der thermohalinen Zirkulation aufrechterhalten.

### *Meeresphysikalische Messungen*

Das regelmäßige Auftreten der sogenannten Nordostwasser-Polynja vor Grönland kann als Folge der Umströmung des dort aufliegenden Festeises und der Beeinflussung der Wasserströmung durch eine Bodenerhebung erklärt werden. Die lokale Abkühlung des offenen Wassers im Winter bleibt auf die Deckschicht mit einer maximalen Mächtigkeit von 150 m bis 200 m beschränkt und führt nicht - wie bisher vermutet - zur Erneuerung des Tiefenwassers.

### *Marine Geophysik*

Die seismischen Messungen vor dem Filchner-Ronne-Schelfeis haben zu grundlegend neuen Erkenntnissen über die Vereisungsgeschichte der Antarktis geführt. Sie haben vor allem die Ansicht widerlegt, daß das Filchner-Ronne-Schelfeis in Zeiten maximaler Vereisung bis zum Rand des Kontinentalschelfs auflag. Vielmehr dominiert am östlichen Rand des Schelfeises ein Eisstromsystem, das zur Ausbildung eines massiven Sedimentfächers geführt hat.

### *Glaziologie*

In größerer Tiefe werden Luftmoleküle im Kristallgitter des Eises eingeschlossen, so daß sich Clathrate bilden. Unsere Messungen im grönländischen Inlandeis zeigen, daß sowohl bei der Clathratbildung als auch bei ihrer Rücktransformation nach Druckentlastung das Verhältnis von  $O_2$  und  $N_2$  unverändert erhalten bleibt. Daraus ist zu folgern, daß die aus Eiskernen abgeleiteten Konzentrationen der Spurengase  $CO_2$  und  $CH_4$  durch den Prozeß der Clathratbildung nicht verfälscht werden. Weltweit sind dies die ersten systematischen Untersuchungen zur Clathratgenese im Eis. Damit erhöht sich auch die Aussagekraft der Analysen von Proben aus Permafrostgebieten, in denen Methan in Form von Clathraten gespeichert ist.

### *Meeresgeologie*

Im Bellingshausenmeer konnte erstmalig ein Meteoriteneinschlag in die Tiefsee detailliert dokumentiert werden. Der Meteorit, dessen Durchmesser auf 500 bis maximal 2.000 m geschätzt wird, traf vor ca. 2,4 Mio. Jahren (oberes Pliozän) auf die Erdoberfläche auf. Diese Periode ist durch drastische Änderungen des Erdklimas charakterisiert, sodaß sich die Frage ergibt, ob dieses Ereignis möglicherweise ein Auslöser für die nachgewiesenen klimatischen Veränderungen darstellt. Der Meteorit zerstörte Sedimentabfolgen bis in das mittlere Eozän (ca. 45 Mio Jahre). Aus bis zu 1,6 cm großen Bruchstücken des Meteoriten, die in verschiedenen Sedimentkernen gefunden wurden, lassen sich seine stoffliche Zusammensetzung und Hinweise über seine Herkunft ableiten.

### *Ökosystemforschung und Ökophysiologie*

Die Ernährungsstrategien dominanter bodenlebender Tierarten des antarktischen Schelfs sind überraschend vielfältig: Sie können mit dem saisonal begrenzten Eintrag aus dem Pelagial eng verknüpft oder von diesem abgekoppelt sein. Neben einer extremen Nahrungsspezialisierung wird aber auch die Nutzung eines breiten Nahrungsspektrums beobachtet. Das konnte abgeleitet werden aus den wichtigsten Mechanismen, die der Populationsdynamik zugrundeliegen (Ernährung, Wachstum, Alter, Reproduktion, Produktion und Sterblichkeit). Die Vielfalt der Ernährungsstrategien ist vermutlich ein wichtiger bestimmender Faktor für die hohe Biodiversität der Bodenfauna des Südpolarmeeres. Auf den Ergebnissen zu den Nahrungsspektren bauen erste Modelle der Energieflüsse innerhalb der benthischen Lebensgemeinschaft sowie zwischen Pelagial und Benthos auf.

### *Biologische Meereskunde*

Inzwischen ist allgemein anerkannt, daß sich das Südpolarmeer durch eine niedrige biologische Produktivität auszeichnet. Gebiete höherer Produktion sind vorübergehend meist im Bereich der schmelzenden Meereiskante zu finden. Während zweier „Polarstern“-Reisen in den atlantischen Sektor des Südpolarmeeres wurden darüberhinaus regelmäßig auftretende landferne Phytoplanktonblüten im Bereich der Polarfront dokumentiert. Messungen der Eisenkonzentrationen zeigten, daß die Polarfront erheblich höhere Eisenkonzentrationen aufwies als die südlich gelegenen Wasserkörper. Im Verlauf der Entwicklung der Blüte nehmen die Eisenkonzentrationen ab. Die Ursachen für erhöhte Eisenkonzentrationen im Bereich

## 1. Einleitende Übersicht

der Polarfront sind noch nicht geklärt. Diese Ergebnisse deuten auf einen Einfluß von Eisen auf die Aufnahmekapazität des Südlichen Ozeans für atmosphärisches CO<sub>2</sub> hin, der schon länger vermutet worden war.

### *Atmosphärenchemie und Atmosphärenphysik*

Bei Temperaturen unter -80° C können sich in der Stratosphäre polare stratosphärische Wolken (PSW) ausbilden. Es gibt Indizien, daß an den Oberflächen der Partikel in den PSW heterogene chemische Reaktionen ablaufen, die für den Ozonabbau von entscheidender Bedeutung sind. In Laborexperimenten wurden die heterogenen Reaktionen zwischen Brom-Reservoirverbindungen und Reservoirverbindungen von Distickstoff-Pentoxid (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) bzw. Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>) an polaren stratosphärischen Wolken simuliert. Dabei konnte gezeigt werden, daß die Reaktionen an Salpetersäurehydrat (PSW Typ I) geringer sind als an reinen Eisoberflächen (PSW Typ II). In beiden Fällen entstehen jedoch als Endprodukte die leicht photolysierbaren und damit für den katalytischen Ozonabbau relevanten Bromverbindungen Br<sub>2</sub> und BrNO.

### *Geowissenschaftliche Periglazialforschung*

Durch Pollenanalysen an Seesedimentkernen aus der Umgebung von Norilsk (Nordsibirien) konnte die Vegetationsgeschichte dieser Region während der letzten 17.000 Jahre detailliert rekonstruiert werden. Demnach treten Nord-Süd-Verschiebungen der Waldgrenze schon bei geringfügigen Klimaschwankungen auf. Die Bedingungen für die Vegetation haben sich seit ca. 2.500 Jahren merklich verschlechtert. Weder um Norilsk noch am Levinson-Lessing See auf der Taimyr-Halbinsel konnte die bisher vermutete, großräumige Vergletscherung Mittelsibiriens während des letzten glazialen Maximums nachgewiesen werden.

Das Alfred-Wegener-Institut unterhält Kooperationsverträge zu den Universitäten Bremen, Hamburg, Kiel und Oldenburg. Besonders hervorzuheben ist der Kooperationsvertrag mit der Universität Bremen, in dessen Rahmen die am Institut tätigen Professoren berufen werden. Diese beteiligen sich mit einem reduzierten Deputat (2 Semester-Wochenstunden) an der Lehre in mehreren naturwissenschaftlichen Fachbereichen der Universität Bremen. An der Universität Bremen bestehen in den Polar- und Meereswissenschaften „Kontakt-Professuren“, die unter Beteiligung des Alfred-Wegener-Instituts besetzt werden. Wissenschaftler des AWI und

*Nationale Zusammen-  
arbeit*

der Universität Bremen arbeiten eng zusammen. Sie tragen u.a. gemeinsam den Sonderforschungsbereich 261 „Der Südatlantik im Spätquartär: Rekonstruktion von Stoffhaushalt und Stromsystemen“. Das AWI strebt eine ähnlich enge Zusammenarbeit mit der Universität Potsdam an.

Im Rahmen seiner satzungsmäßigen Aufgaben koordiniert das AWI die Polarforschungsaktivitäten anderer deutscher wissenschaftlicher Einrichtungen. Besonders zu nennen sind die durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft und durch Projektmittel des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) geförderten Forschungsunternehmungen in den Polarregionen.

#### **Internationale Zusammenarbeit**

Im Berichtszeitraum hat die Förderung durch die Europäische Union an Bedeutung zugenommen. Eine besondere Bedeutung wird dabei dem europäischen Eisbohrprogramm in der Antarktis (EPICA) beigemessen. Der deutsche Beitrag zum World Ocean Circulation Experiment (WOCE), das Filchner-Ronne-Schelfeisprogramm des Scientific Committee for Antarctic Research (SCAR) sowie das Programme for International Polar Ocean Research (PIPOR) werden am AWI koordiniert.

Unter den zahlreichen bilateralen internationalen Kooperationen sind Projekte mit Rußland in der Arktis, der gemeinsame Betrieb des Dallmann-Labors in der Antarktis mit Argentinien, die ständige Zusammenarbeit mit dem British Antarctic Survey, der Betrieb der Koldewey-Station auf Spitzbergen mit dem Norsk Polarinstitut, gemeinsame Programme mit niederländischen Arbeitsgruppen, insbesondere dem Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, und wiederholte Kooperationen mit amerikanischen, kanadischen, japanischen, britischen und französischen Institutionen zu nennen.

Das Alfred-Wegener-Institut wirkt im Scientific Committee for Antarctic Research (SCAR), dem International Arctic Sciences Committee (IASC), dem Arctic Ocean Sciences Board (AOSB), dem European Polar Board der European Science Foundation und anderen internationalen Organisationen mit.

#### **Öffentlichkeitsarbeit**

Schwerpunkt der Öffentlichkeitsarbeit des Instituts war die Ausstellung „125 Jahre deutsche Polarforschung“. Sie wurde in Bremerhaven, Frankfurt, Potsdam, Bremen, Bonn und Rostock gezeigt und hat das Alfred-Wegener-Institut einem breiten Publikum bekannt gemacht. Sie fand an den verschiedenen Orten ein sehr positives Echo und kehrte im Juni 1995 nach 18 Monaten ins AWI zurück.

## 1. Einleitende Übersicht

Die zur Zeit und in den nächsten Jahren bevorstehenden Mittel- und Personalkürzungen werden zu einer thematischen Einschränkung des Forschungsprogramms führen müssen. Der Schwerpunkt der Arbeit des Alfred-Wegener-Instituts wird aber auch in Zukunft auf Themen der Polar- und Meeresforschung liegen. In der Antarktis wird das Europäische Eisbohrprogramm (EPICA) neu aufgenommen. Um dies zu ermöglichen, müssen andere Untersuchungen eingeschränkt werden. Die ozeanographischen und biologischen Arbeiten im Südlichen Ozean sollen möglichst planmäßig weitergeführt werden. In der Arktis werden in internationaler Zusammenarbeit, insbesondere mit Rußland, die Zirkulation des Nordpolarmeeres, das marine Ökosystem, der Periglazialraum in Nordsibirien, der Grönländische Eisschild und die Klimageschichte weiter intensiv bearbeitet. An den Stationen Neumayer und Koldewey werden die atmosphärischen und geophysikalischen Observatorien in gleichem Umfang weiter betrieben. Die vorgesehene verstärkte Hinwendung zur Tiefseeregion, insbesondere im Nordpolarmeer, hängt in hohem Maße von der Bereitstellung von Projektmitteln ab.

## *Ausblick*

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen Vom sibirischen Schelf zur arktischen Tiefsee

Antje Boetius, Ellen Damm,  
Eva-Maria Nöthig

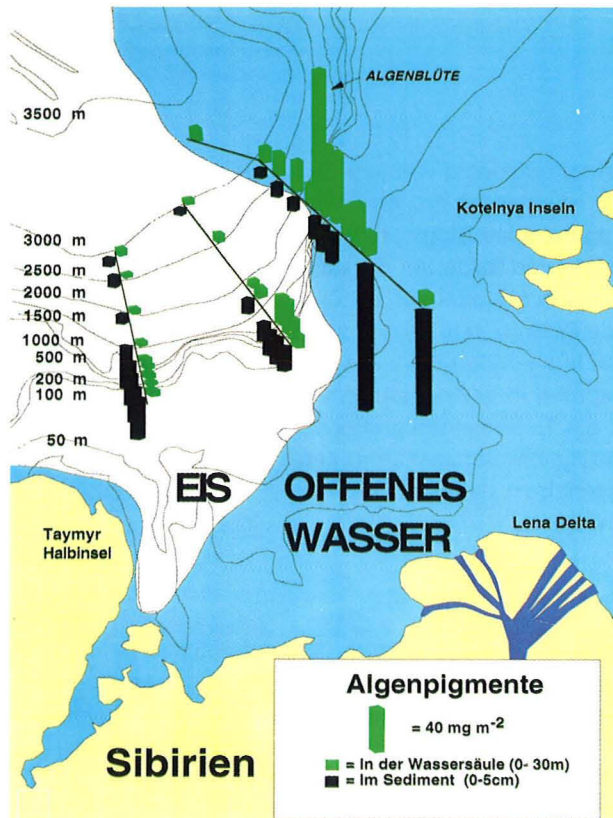
### *Nahrungsverfügbarkeit und mikrobielle Aktivität am Meeresboden*

Die Nahrungsversorgung der Organismen am Meeresboden (Benthos) in der Tiefsee hängt vollständig von der Zufuhr absinkender organischer Partikel ab. Der größte Teil der eingetragenen Nahrung stammt aus der Produktion des Phyto- und Zooplanktons in den oberen Wasserschichten über dem Meeresboden. Die Produktivität dieser Deckschicht wird in polaren Gebieten durch die Eisbedeckung wesentlich mitbestimmt, welche, bedingt durch Wind und Eisdrift, sehr variabel ist. Ein Teil der organischen Partikel, die aus der Deckschicht absinken, wird auf dem Weg durch die Wassersäule weggefressen oder zersetzt. Deshalb verringert sich der Nahrungseintrag am Meeresboden mit zunehmender Wassertiefe vom Schelfrand zur Tiefseeebene. Am Kontinentalhang kann das Benthos allerdings einen zusätzlichen Eintrag von Partikeln erhalten. Dieses organische Material stammt aus den produktiveren Schelfgebieten und wird mit Wasserströmungen in die weniger produktiven Gebiete des Kontinentalhangs und der Tiefsee transportiert. Ein Ziel unserer Expedition in die eurasische Arktis war es, herauszufinden, welche Faktoren den Eintrag von Algendetritus zum Meeresboden des Kontinentalhangs kontrollieren. Außerdem wollten wir die Auswirkung des Nahrungsangebotes auf die mikrobielle Aktivität am Meeresboden untersuchen.

### *Kopplung zwischen Wasseroberfläche und Meeresboden*

Algenblüten in der Wassersäule bewirken einen erhöhten Eintrag frischen Algenmaterials zum Meeresboden. In der nördlichen Laptewsee waren im Sommer 1993 größere Mengen pflanzlicher Biomasse allerdings nur im östlichen eisfreien Teil zu finden (Abb. 1). Dort waren im Bereich des Schelfrandes die Nährstoffe bereits aufgezehrt und die produzierte Algenbiomasse abgesunken. Etwas weiter nördlich konnten wir eine Algenblüte direkt an der zurückweichenden Eiskante beobachten. Entsprechend waren die Konzentrationen der Algenpigmente am Meeresboden des Schelfrandes und am oberen Hang der östlichen Laptewsee sehr hoch. Der westliche Teil der Laptewsee dagegen war den ganzen Sommer über fast vollständig mit Eis bedeckt. Daher traten dort viel niedrigere Algenbiomassen in der Wassersäule





und am Meeresboden auf. Insgesamt nahmen die Pigmentkonzentrationen im Sediment zur Tiefsee hin stark ab. Dies zeigt vor allem, daß sich der Eintrag von Algen zum Meeresboden mit zunehmender Wassertiefe deutlich verringert. Vermutlich wird ein großer Teil des aus der Deckschicht absinkenden organischen Materials von Zooplankton in der tieferen Wassersäule weggefressen.

Abb.1: Algenpigmente in der Wassersäule und am Meeresboden. In der Wassersäule gibt die Konzentration der Algenpigmente (Chlorophyll a = grüne Säule) Aufschluß über die vorhandene pflanzliche Biomasse. Die höchsten Chlorophyll-a-Werte waren in der östlichen Lapteewsee am Eisrand zu finden, wo sich im Wasser eine Algenblüte entwickelt hatte. Südlich vom Eisrand hatten sich hohe Konzentrationen von abgebauten Algenpigmenten (schwarze Säulen) im Sediment angesammelt, dort wo die Algen nach Aufzehrung der Nährstoffe abgesunken waren.

Ebenso wie sich der Eintrag von Algenmaterial vom Schelf zur arktischen Tiefsee verringert, nehmen auch die Konzentrationen leicht abbaubarer organischer Substanzen wie Aminosäuren und Proteine im Sediment mit zunehmender Wassertiefe stark ab, weil der größte Teil dieser leicht abbaubaren Substanzen schon beim Absinken durch die Wassersäule zersetzt wird. Daher verschlechtert sich der Nährwert der eingetragenen Partikel mit zunehmender Wassertiefe. In der eisbedeckten westlichen Lapteewsee ist die Nahrungsverfügbarkeit für das Benthos auch am Schelfrand und am oberen Hang deutlich geringer als im eisfreien Osten. Essentielle Nahrungsbestandteile wie Aminosäuren sind dementsprechend in größeren Wassertiefen knapp für das Benthos, besonders im Verhältnis zum Gesamteintrag an organischem Material. Die Bakterien im Sediment können darauf reagieren, indem sie ihr Spektrum an Enzymen für die Spaltung des organischen Materials

### Nahrungsqualität und mikrobielle Aktivität am Meeresboden

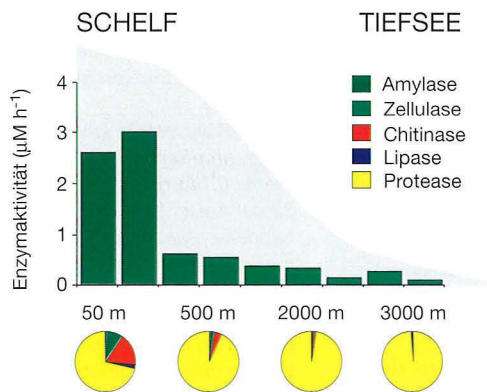


Abb. 2: Mikrobielle Enzymaktivität am Meeresboden. Vom Schelf zur Tiefsee nahm die Zellulase-Aktivität (dargestellt als grüne Säulen) stark ab. Die relativen Anteile der verschiedenen Enzymaktivitäten sind als Tortendiagramme dargestellt. Die deutlichen Unterschiede in diesen relativen Anteilen sind ein Zeichen für die Anpassung der Bakterien an die Veränderung der Nahrungsverfügbarkeit im Sediment. Der mangelnde Nährwert der organischen Substanz in den Sedimenten der Tiefsee wird durch die starke Zunahme der Protease-Aktivität mit zunehmender Wassertiefe angezeigt.

### Remineralisierungsprozesse im Sediment

Ein Teil des aufgenommenen organischen Kohlenstoffs (C) wird von den benthischen Organismen für den Baustoffwechsel (Wachstum) verwendet, der größere Teil von mehr als 70 Prozent dient aber dem Energiestoffwechsel, wobei Sauerstoff verbrannt und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in die Wassersäule zurückgeführt wird (Remineralisierung). Der Verbrauch des Sauerstoffs durch die Mikroorganismen in der oberen Sedimentschicht wurde mit Mikroelektroden gemessen. Anhand der Änderung der Sauerstoffkonzentrationen in verschiedenen Sedimenttiefen kann die Rate der Kohlenstoff-Remineralisierung abgeschätzt werden (Abb. 3). Vom Schelf der Laptevsee zur arktischen Tiefsee verringert sich diese Rate um gut eine Zehnerpotenz. Auch bei der Remineralisierung zeigt sich der Einfluß der Eisbedeckung der Wasseroberfläche auf die Abbauprozesse am Meeresboden. Die unterschiedlichen Remineralisierungsraten zwischen den Stationen gleicher Wassertiefe entsprechen den regionalen Schwankungen in der Pigmentverteilung und damit dem Eintrag von pflanzlichem Detritus in das Sediment. Das Benthos am Schelfrand der Laptevsee und auch die Organismen am Boden der arktischen Tiefsee verbrauchen die eingetragene Nahrung fast vollständig. Dies zeigt sich im Vergleich des ins Sediment eingetragenen Kohlenstoffs mit der Remineralisierung von organischem Kohlenstoff durch die benthischen Organismen. Die im Vergleich zu

verändern: sie produzieren weniger Zellulase und mehr Protease. Die Zellulase ist eines der Enzyme, welches die Bakterien zum Abbau von pflanzlicher Biomasse benötigen. Dieses spezielle Enzym wird von den Bakterien nur dann produziert, wenn zelluloseähnliches Material zur Verfügung steht. Im Gegensatz dazu wird die Protease, ein Enzym zur Spaltung von Proteinen, nur von hungrigen Bakterien im hohen Maße produziert (Abb. 2). Aufgrund ihrer Anpassungsfähigkeit machen die Bakterien in der Tiefsee einen großen Anteil der Biomasse aller benthischen Organismen aus: am unteren Kontinentalhang der Laptevsee erreichten sie ungefähr 50 Prozent der Gesamtbiomasse.

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

anderen Schelfgebieten sehr niedrige Nahrungsverfügbarkeit am eisbedeckten Schelfrand der Lapteewsee wirkt sich daher in einer starken Verringerung der mikrobiellen Aktivität und der Remineralisierungsraten der benthischen Gemeinschaft aus. Am eisfreien Hanggebiet war dagegen die Nahrungsverfügbarkeit verhältnismäßig hoch, in gleichen Tiefenzonen entsprach das arktische Benthos dort deshalb in seiner Aktivität den Gemeinschaften am Meeresgrund von Kontinentalhängen gemäßigter Breitengrade.

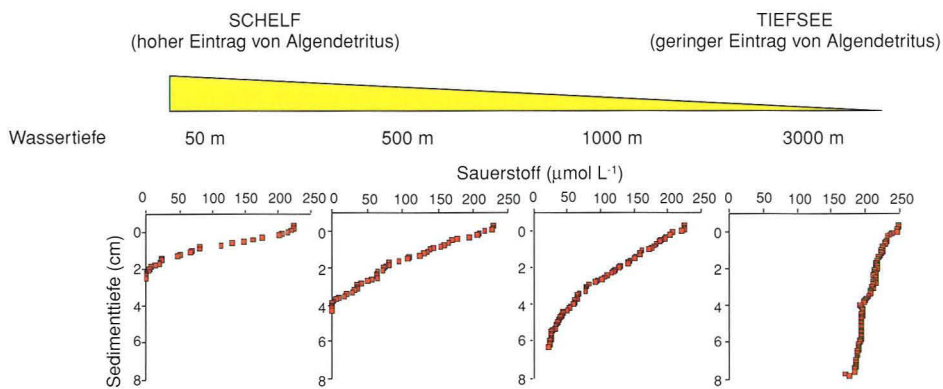


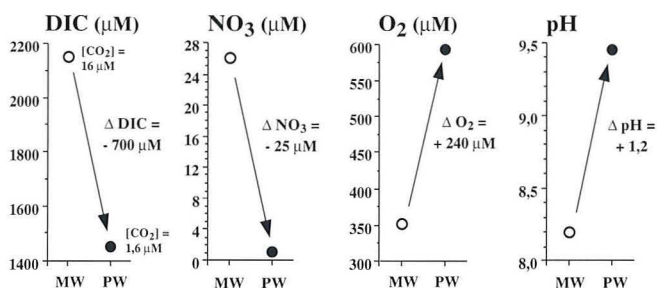
Abb. 3: Sauerstoffzufuhr im Sediment. Dargestellt sind die Veränderungen in den Sauerstoffkonzentrationen im Sediment für verschiedene Wassertiefen vom Schelf bis zur arktischen Tiefsee. Je stärker die Sauerstoffkonzentration mit zunehmender Sedimenttiefe abnimmt, umso größer ist die Sauerstoffzehrung und damit auch die Remineralisierung des organischen Materials im Sediment. Während am Schelfhang etwa 10 bis 30 Milligramm Kohlenstoff pro Quadratmeter und Tag remineralisiert werden, sind es in der Tiefsee nur 0,1 bis 1 Milligramm.

## Zur Ökologie des sommerlichen Meereises

### Das Wachstum von Eisdiatomeen bei geringen Kohlendioxid-Konzentrationen

Markus Gleitz, Helmut Kukert,  
Ulf Riebesell, Michiel Rutgers  
v. d. Loeff, Sönke Grossmann,  
Gerhard Dieckmann

Abb. 1: Vergleich der mittleren Konzentrationen von gelöstem anorganischen Kohlenstoff (DIC)/Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3$ ), und Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) sowie der pH-Werte im Meerwasser (MW) und im Porenwasser (PW). Die Porenwasserproben wurden während des Sommers dem antarktischen Meereis entnommen. Das Meerwasser wurde im gleichen Gebiet von der Oberfläche geschöpft. Die deutlichen Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung sind das Ergebnis der Stoffwechselaktivität (Primärproduktion) der im Meereis wachsenden Kieselalgen.



Mit der Bildung des Meereises entsteht ein Lebensraum für eine artenreiche mikrobielle Gemeinschaft. Ein Hauptbestandteil dieser Gemeinschaft sind Kieselalgen (Diatomeen). Ihr eigentlicher Lebensraum sind die mit Meerwasser (Lauge) gefüllten, haarfeinen Poren und Kanäle, die entstehen, wenn das Wasser gefriert. Diese Kanäle durchziehen das gesamte Meereis mit einem vielfach untereinander verbundenen Netzwerk und geben ihm eine Struktur, die einem Naturschwamm ähnelt. Sie stehen nicht in direktem Kontakt zum Meerwasser und bilden deshalb ein in sich abgeschlossenes System. Die Kieselalgen sind photosynthetisch aktiv, d.h. sie nutzen die Energie des Sonnenlichtes, das durch das Eis in die Kanälchen und Poren dringt, um Zellbiomasse aufzubauen und sich zu vermehren (Primärproduktion). Während der Primärproduktion nehmen die Algen gelösten anorganischen Kohlenstoff und anorganische Salze auf und geben im Gegenzug Sauerstoff in das Wasser ab. Nach und nach verändert sich dadurch die chemische Zusammensetzung des Porenwassers in den Kanälchen. Dies wirkt sich wiederum auf das Wachstum der Organismen aus. Diese komplexen und bisher kaum verstandenen biologisch-chemischen Wechselwirkungen sind ein Schwerpunkt der Meereisforschung am AWI.

Während des antarktischen Sommers (November bis März), der Hauptwachstumsphase der Eisalgen, wurden in der Antarktis chemische Untersuchungen an Meereisproben durchgeführt. Die Messungen zeigten, daß die Zusammensetzung des Porenwassers deutlich von der des umgebenden Meerwassers abwich. So wurden im Porenwasser im Mittel deutlich niedrigere Konzentrationen von gelöstem anorganischen Kohlenstoff, Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) gemessen. Der Sauerstoffgehalt und der pH-Wert waren deutlich höher als

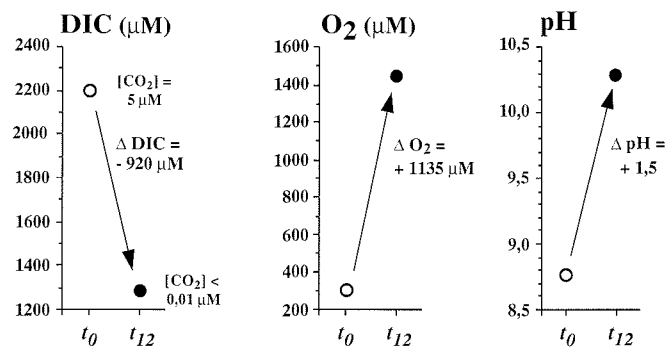
## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

im umgebenden Meerwasser (Abb. 1). Das Verhältnis der Stoffe zueinander legte die Vermutung nahe, daß das Wachstum, d. h. die Primärproduktion der Algen, die Hauptursache für die chemische Veränderung (Massenverschiebung) im Porenwasser war.

Diese Befunde untersuchten wir nach Abschluß der Felduntersuchungen in Laborstudien am AWI eingehender. Hierzu wurden vier Eisdiatomeenarten ausgewählt, die sich in Zellgröße, taxonomischer Zuordnung und auch in der Häufigkeit, mit der sie im Meereis vorgefunden werden, unterscheiden. Sie wurden unter Luftabschluß in Mischkulturen inkubiert. Dieser experimentelle Ansatz simuliert soweit als möglich die Hauptwachstumsphase der Eisalgen im antarktischen Sommer. Die Ergebnisse bestätigten weitgehend unsere Feldmessungen. Die Verschiebungen der Konzentrationen von gelöstem Kohlenstoff, Kohlendioxid, Sauerstoff und pH-Werten, die durch die Primärproduktion der Algen hervorgerufen wurden, fielen zum Teil noch deutlicher als im Feldversuch aus. (Abb. 2). Interessanterweise zeigte sich, daß nicht alle vier Algenarten gleich gut mit den chemischen Veränderungen zurechtkamen: Die beiden kleinen Arten *Fragilariopsis cylindrus* und *Chaetoceros cf. neogracile*, die im Meereis besonders häufig auftreten, hielten ihr Wachstum über 10 bzw. 12 Tage aufrecht. Die beiden größeren Algenarten *Thalassiosira antarctica* und *Porosira pseudodenticulata* wuchsen dagegen nur 8 Tage. Insgesamt waren die beiden kleinen Formen für mehr als 95 Prozent der gesamten Aufnahme von gelöstem anorganischen Kohlenstoff verantwortlich.

Als Kohlenstoffquelle wird von den Algen hauptsächlich gelöstes Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) genutzt. Einige Arten sind darüberhinaus in der Lage, Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) aktiv aufzunehmen. Biochemische Untersuchungen an den Algen können zeigen, welche Kohlenstoffquelle eine Algenart vorzugsweise zum Wachstum nutzt. Dieser Nachweis basiert darauf, daß Kohlenstoff in der Natur in verschiedenen Formen (Isotopen) vorkommt. Der „schwere“ Kohlenstoff ( $^{13}\text{C}$ ) tritt häufiger in der Verbindung Hydrogenkarbonat als in Kohlendioxid auf. Deshalb enthält die Biomasse von Algen, die sich von Hydrogenkarbonat ernähren, mehr „schweren“

Abb. 2: Veränderung der mittleren DIC-/ $\text{CO}_2$ -, und  $\text{O}_2$  Konzentrationen sowie der pH-Werte in kontrollierten



Wachstumsexperimenten mit vier Eisdiatomeenarten. Die Algen wurden in luftdicht geschlossenen Flaschen inkubiert. Im Verlauf von 12 Tagen ( $t_0$  bis  $t_{12}$ ) wurde die chemische Zusammensetzung des Probenwassers durch die Primärproduktion der Algen deutlich verändert. Insgesamt bestätigten die Ergebnisse die Hypothese, daß die in natürlichem Meereis verzeichneten chemischen Veränderungen durch die Stoffwechselaktivität der Kieselalgen hervorgerufen werden.

Kohlenstoff, als solche, die ausschließlich Kohlendioxid aufnehmen. Um einen Hinweis darauf zu erhalten, welche Kohlenstoffquelle die Algen während des Experiments nutzten, haben wir jeden zweiten Tag den Gehalt der Algenbiomasse an dem „schweren“ Kohlenstoffisotop  $^{13}\text{C}$  gemessen.

Der  $^{13}\text{C}$ -Gehalt einer Substanzmenge wird üblicherweise in der delta ( $\delta$ ) $^{13}\text{C}$ -Notation angegeben (vgl. Abb. 3B). Der Wert von  $\delta^{13}\text{C}$  beschreibt keine absolute Stoffmenge, sondern den Gehalt an  $^{13}\text{C}$  in der Probe im Vergleich zu dem Gehalt an  $^{13}\text{C}$  in einem bestimmten Karbonatgestein. Der Gehalt an  $^{13}\text{C}$  in diesem Karbonatgestein gilt als „Nullwert“. Das  $\delta^{13}\text{C}$  von Hydrogenkarbonat ist (bei null Grad Celsius) 11,9 ‰ positiver als das von Kohlendioxid, dementsprechend steigt der  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert der Biomasse bei der Aufnahme von Hydrogenkarbonat an.

Innerhalb von acht Tagen hatten die Algen in den Versuchsgefäßen einen Großteil des freien Kohlendioxids verbraucht. Die Kohlendioxidkonzentration sank ab diesem Tag unter 0,5 Mikromol pro Liter. Gleichzeitig stieg der pH-Wert auf über 9,5 (stark basisch) an. Ab diesem achten Tag stellten wir auch einen starken Anstieg von  $^{13}\text{C}$  in der Algenbiomasse fest (Abb. 3B). Nach dem achten Versuchstag wurden mehr als 90 Prozent des Kohlenstoffs von der Algenart *Chaetoceros cf. neogracile* aufgenommen (Abb. 3A). Damit liegt ein deutlicher Hinweis vor, daß diese kleine Algenart, die auch im natürlichen Meereis sehr häufig ist, spezifisch Hydrogenkarbonat aufnimmt.

Zusammenfassend zeigen diese Untersuchungen, daß die chemische Zusammensetzung des Porenwassers während der Hauptwachstumsphase (Algenblüte) im antarktischen Sommer maßgeblich durch das Wachstum der Algen (Primärproduktion) verändert wird. Vor allem sinkt die Kohlendioxid-Konzentration, und der pH-Wert steigt stark an. Außerdem zeigt sich, daß offenbar nicht alle Algenarten in der Lage sind, bei niedrigen  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen sowie hohen pH-Werten photosynthetisch aktiv zu bleiben und zu wachsen.

Die Fähigkeit, aktiv Hydrogenkarbonat aufzunehmen, spielt offensichtlich in den Laugenkanälen eine besondere Rolle, da diese vom umgebenden Meerwasser weitgehend isoliert sind und daher kein Kohlendioxid nachgeliefert wird. Bei pH-Werten über 9,5 ist praktisch kein gelöstes Kohlendioxid mehr vorhanden, und die Algen sind auf Hydrogenkarbonat als Kohlenstoffquelle angewiesen. Hydrogenkarbonat kann nur durch aktiven (enzymkatalysierten) Transport von den Algen

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

aufgenommen werden. Daher scheint es möglich, daß die im Meereis wirksamen Umweltfaktoren (z.B. starke  $\text{CO}_2$ -Zehrung) für die stammesgeschichtliche Entwicklung artspezifischer physiologischer Anpassungen bei polaren Kieselalgen von wesentlicher Bedeutung sind.

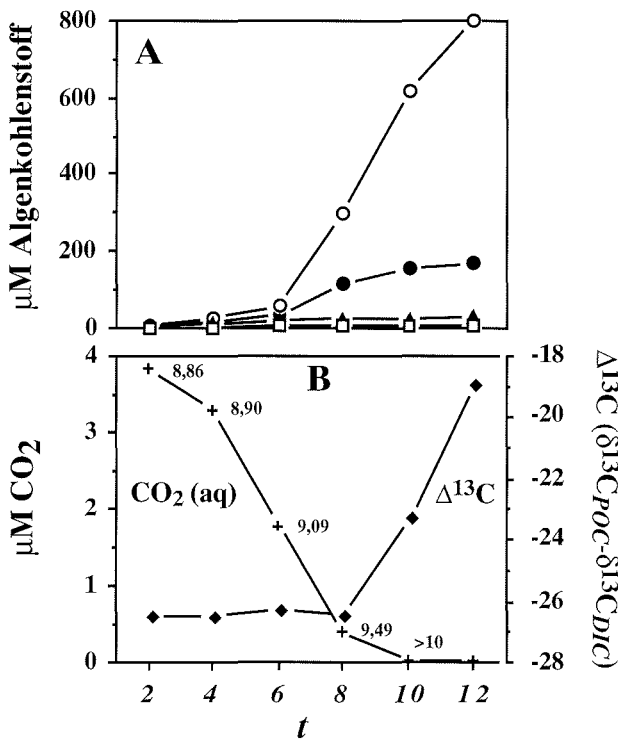


Abb. 3: A: Zunahme der Biomasse (aufgetragen als Kohlenstoffkonzentration) der im Wachstumsexperiment verwendeten Kieselalgenarten im Verlauf von 12 Tagen (Quadrats: *Thalassiosira antarctica* [Zellvolumen  $14400 \mu\text{m}^3$ ], Dreiecke: *Porosira pseudodenticulata* [ $113000 \mu\text{m}^3$ ], gefüllte Kreise: *Fragilariopsis cylindrus* [ $20 \mu\text{m}^3$ ], offene Kreise: *Chaetoceros cf. neogracile* [ $100 \mu\text{m}^3$ ]). *T. antarctica* und *P. pseudodenticulata* wuchsen 8 Tage, *F. cylindrus* 10 Tage, und *C. cf. neogracile* 12 Tage. Die typischen Meereisalgen *F. cylindrus* und *C. cf. neogracile* waren für mehr als 95 Prozent der gesamten Aufnahme an gelöstem Kohlenstoff (DIC) verantwortlich.

B: Veränderung der  $\text{CO}_2$ -Konzentration sowie des  $^{13}\text{C}$ -Gehalts der gebildeten Biomasse (POC), aufgetragen als  $\Delta^{13}\text{C}$ . Dieser Auftrag ist ein Maß für die bevorzugte Aufnahme von  $^{13}\text{C}$  gegenüber  $^{12}\text{C}$  und berücksichtigt die Veränderung des  $^{13}\text{C}$ -Gehalts des DIC in einem geschlossenen Gefäß durch photosynthetische DIC-Aufnahme. Die Zahlen an der  $\text{CO}_2$ -Kurve bezeichnen den zu diesem Zeitpunkt gemessenen pH-Wert. Ein starker Anstieg des  $^{13}\text{C}$ -Gehalts der Biomasse wurde nach dem 8. Versuchstag beobachtet, als die  $\text{CO}_2$ -Konzentration unter  $0,5 \mu\text{M}$  gefallen war ( $\text{pH} > 9,5$ ). Da nach diesem Zeitpunkt fast ausschließlich *C. cf. neogracile* gelösten anorganischen Kohlenstoff (DIC) aufnahm, ist der Anstieg ein Hinweis auf die artspezifische, aktive Aufnahme von Hydrogenkarbonat (vgl. Text).

## Temperaturphysiologie von marinen Invertebraten und Fischen

### Auf der Suche nach verbreitungsbestimmenden Kriterien

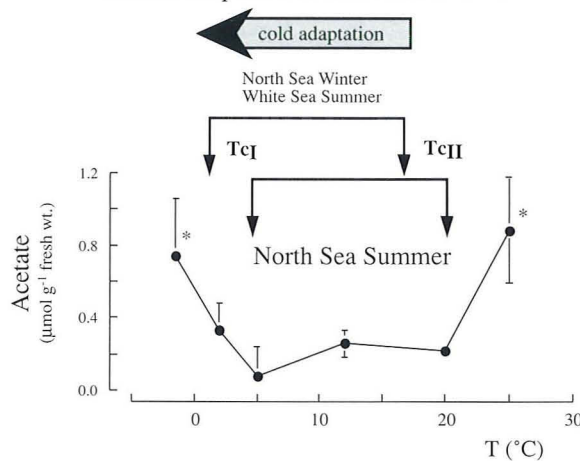
Iris Hardewig, Franz-Josef Sartoris, Angela Sommer, Peter van Dijk, Susanne Zielinski, Hans-Otto Pörtner

Abb. 1: Die untere ( $T_{cl}$ ) und obere ( $T_{ch}$ ) kritische Temperatur des Wattwurms *Arenicola marina* ist durch die Anhäufung anaerober Endprodukte (insbesondere Acetat) charakterisiert. Bei Kälteanpassung der Tiere während des Winters verschieben sich  $T_{cl}$  und  $T_{ch}$  mehr oder weniger parallel zu niedrigeren Temperaturen. Eine solche Verschiebung beobachtet man auch bei Tieren aus höheren Breitengraden, z.B. aus dem Weissen Meer, was auf metabolische Kälteanpassung hindeutet (\* signifikant von den Kontrollwerten verschieden). In polaren Tieren würde man eine Verschiebung des  $T_{cl}$  auf Werte unterhalb des Gefrierpunktes erwarten.

Die Temperatur kann als einer der wichtigsten abiotischen Faktoren in marinen Ökosystemen betrachtet werden, da alle biologischen Prozesse eine starke Temperaturabhängigkeit aufweisen. Hohe und niedrige Temperaturextreme in einer Region charakterisieren daher die geographischen Verbreitungsgrenzen vieler mariner Tierarten. Unsere Arbeiten beschäftigen sich mit den physiologischen Auswirkungen von Grenzbedingungen, d.h. mit der Frage, welche physiologischen und biochemischen Prozesse für die verminderte Überlebensfähigkeit eines Organismus bei solchen Extremtemperaturen verantwortlich sind. Unsere Untersuchungen konzentrieren sich dabei auf polare Arten, schließen aber auch Tiere aus gemäßigten Zonen ein, um durch den Vergleich allgemein gültige Anpassungsmechanismen

an sich ändernde Temperaturen herausarbeiten zu können.

Critical temperatures in *Arenicola marina*



### Kritische Temperaturen

In den letzten Jahren konnten wir für verschiedene Wirbellose hohe und niedrige Temperaturgrenzen (kritische Temperaturen =  $T_c$ ) definieren. Werden diese Temperaturen über- bzw. unterschritten, so setzt neben dem aeroben ein anaerober Stoffwechsel



## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

ein (Abb. 1), d.h. die Tiere beginnen, zusätzliche Energie ohne den Verbrauch von Sauerstoff zu gewinnen. Diese temperaturinduzierte Anaerobiose ist nicht auf mangelndes Sauerstoffangebot im Biotop zurückzuführen. Sie kann vielmehr durch unzureichende Aufnahme von Sauerstoff im Blut, oder aber durch eine temperaturbedingte Desintegration von oxidativen, energieliefernden und energieverbrauchenden Prozessen hervorgerufen werden. Das Erreichen der kritischen Temperatur ( $T_c$ ) ist außerdem durch einen Abfall des Energiegehalts des ATP auf niedrige, möglicherweise kritische Werte charakterisiert (Abb. 3). ATP wirkt in der Zelle als Energieträger. Sinkt sein Energiegehalt, so können lebenswichtige Leistungen unterbrochen werden.

Kritische Temperaturgrenzen verschieben sich in Anpassung an bestimmte Breitengrade oder Jahreszeiten. Kalt-adaptierte Würmer der Art *Arenicola marina* aus dem Weissen Meer (Subarktis) besitzen einen niedrigeren oberen  $T_c$  ( $T_{cH}$ ) als Tiere aus der Nordsee. Diese Verschiebungen sind auf genetische Unterschiede zwischen den Populationen zurückzuführen. Untere Temperaturgrenzen in der Nähe des Gefrierpunktes ( $T_{cL}$ ), wie sie bei Arten aus gemäßigten Zonen beobachtet werden, sind bei polaren ektothermen Tieren offensichtlich durch evolutionäre Anpassung an niedrige Temperaturen aufgehoben worden. Dies ist allerdings mit einer höheren Sensitivität gegenüber hohen Temperaturen verbunden, d.h. es findet eine Verschiebung beider  $T_c$ 's zu niedrigeren Temperaturen statt (Abb. 1).

### **Mechanismen der Anpassung an Kälte**

Die molekularen Mechanismen, die diesen Schwellenwerten zugrunde liegen, werden derzeit von uns untersucht. Unser besonderes Interesse gilt dabei der Frage, wodurch bei polaren Arten der untere  $T_c$  auf Werte unter den Gefrierpunkt verschoben werden kann. Die möglichen Anpassungsmechanismen umfassen unter anderem eine Erhöhung der aeroben Kapazität des Gewebes (durch eine Erhöhung der Mitochondriendichte), die Verbesserung von Muskelfunktion und nervöser Leitfähigkeit, sowie die Anpassung des Stoffwechselapparates (z.B. Erhöhung der Enzymmenge und Veränderung der kinetischen Eigenschaften der

### Temperature dependent oxygen consumption in *Zoarcetes viviparus* (North Sea)

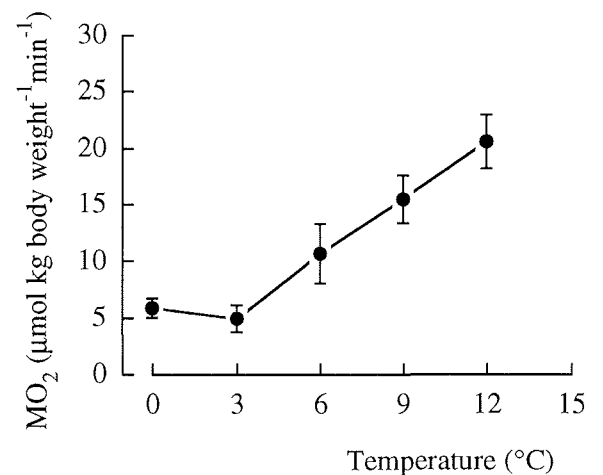


Abb. 2: Temperaturabhängigkeit des Sauerstoffverbrauchs der Aalmutter *Zoarcetes viviparus* aus der Nordsee. Diese Tiere bewohnen die Flachwasserzone und sind jahreszeitlichen Temperaturschwankungen zwischen 2 und 22° C ausgesetzt. Eine akute Erniedrigung der Umgebungstemperatur führt zu einer starken Abnahme der Stoffwechselrate, bis bei 3° C ein Wert erreicht ist, der offensichtlich trotz weiterer Abnahme der Temperatur nicht unterschritten werden kann.

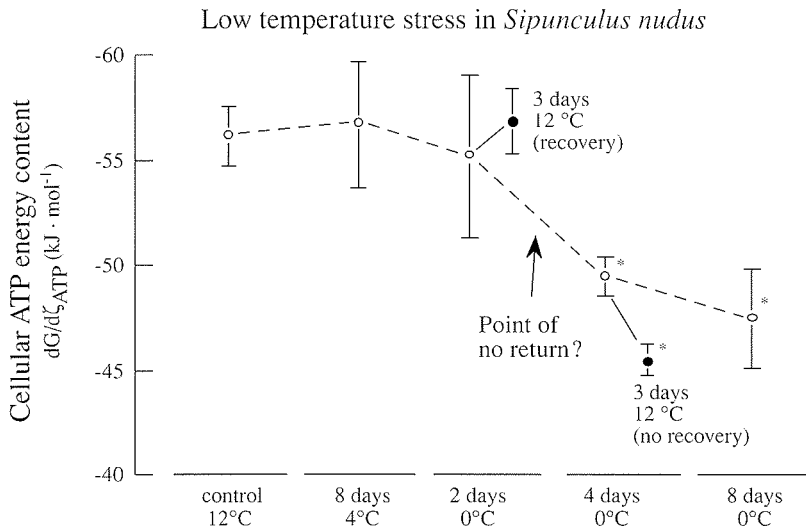


Abb. 3: Energiegehalt des ATP's (= Gibb's freie Energie der ATP Hydrolyse  $dG/dx_{ATP}$ ), im Hautmuskelschlauch des Spritzwurms *Sipunculus nudus* (Bretagne, Frankreich) nach Langzeitinkubation bei niedrigen Temperaturen und anschließender Erwärmung auf 12° C. Das Erreichen der kritischen Temperatur ist auch durch die Abnahme des Energiegehalts gekennzeichnet. Nach zweitägiger Inkubation bei 0° C sind die Tiere nicht mehr in der Lage, sich zu erholen.

Energieaufwand wieder aus dem Körper des Fisches hinaus transportiert werden. Die Energiekosten für die Aufrechterhaltung der Ionenbalance sind demnach weitgehend unabhängig von der Körpertemperatur, so daß marine Fische auch in der Kälte einen relativ hohen Energieumsatz aufrechterhalten müssen. Dies spiegelt sich im Sauerstoffverbrauch, der bei der Aalmutter *Zoarcis viviparus* unterhalb von 3° C trotz fallender Temperatur nicht weiter absinkt (Abb. 2).

Bei auftretenden Änderungen der Körpertemperatur ist die Erhaltung der Funktionalität der Proteine für einen Organismus unerlässlich. Temperaturveränderungen bewirken eine Veränderung der Säureeigenschaften (= pK-Wert) des Imidazolrestes von Histidin. Da diese Aminosäure am Aufbau aller Proteine beteiligt ist, können Änderungen ihres Protonierungszustandes ( $\alpha$ ) zu Instabilität und Funktionsverlust der Proteine führen. Durch eine entsprechende Verschiebung des intrazellulären pH-Werts, wie er bei vielen wechselwarmen Organismen beobachtet wird ( $\Delta pH/\Delta T = -0,018$ , Abb. 4A), können temperaturbedingte Änderungen so kompensiert werden, daß  $\alpha$  konstant gehalten wird (alphastat-Hypothese). Es sind jedoch bei verschiedenen Arten bzw. Geweben Abweichungen von diesem Verhalten beobachtet worden. Daher interessieren uns nicht nur die

Enzyme). Diese Mechanismen können unter dem Begriff „metabolic cold adaptation“ zusammengefaßt werden.

Diese Definition des Begriffs ist umfassender als die historische Definition, wonach Kälteanpassung stets durch eine erhöhte Stoffwechselrate bei niedrigen Temperaturen charakterisiert ist. Diese klassische Form der Kälteanpassung spielt sicherlich bei marinen Fischen eine Rolle, ob sie auch bei Wirbellosen auftritt, ist bisher nicht eindeutig geklärt. Meerestische sind, anders als marine Invertebraten, hypoosmotisch zum umgebenden Meerwasser, d. h. sie besitzen niedrigere Ionenkonzentrationen in ihren Körperflüssigkeiten als das umgebende Wasser. Da Diffusionsprozesse nur eine geringe Temperaturabhängigkeit aufweisen, ist die Diffusion von Ionen aus dem Wasser in das Tier bei niedrigen Temperaturen nur wenig verlangsamt. Die einströmenden Ionen müssen unter

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

Mechanismen, die zur alaphastat-Regulation führen, sondern auch, wie sie durch Änderungen der Umgebungsbedingungen (vor allem Temperatur) beeinflusst werden.

Bisher konnten wir den Beitrag aktiver und passiver Mechanismen an der temperaturabhängigen Verschiebung des intrazellulären pH-Werts quantifizieren (Abb. 4B und C). Aktive Mechanismen sind ATP-abhängige Ionentransportprozesse, während die passiven Mechanismen die temperaturbedingte Abgabe bzw. Aufnahme von Protonen durch intrazelluläre Puffersubstanzen umfassen. Unsere Untersuchungen zeigen, daß die Geschwindigkeit und die relative Beteiligung von aktiven Prozessen an der Verschiebung des intrazellulären pH-Werts bei verschiedenen Arten, aber auch innerhalb einer Art mit der geographischen Herkunft variiert (Abb. 4). Bei der Aalmutter *Zoarces viviparus* werden 65 % der beobachteten Verschiebung des pH-Werts durch aktive, energieverbrauchende Prozesse hervorgerufen, während nur 35 % auf passiven Mechanismen beruhen. Bei der eurythermen Garnele *Crangon crangon*, sowohl vom Weissen Meer als auch aus der Nordsee, tragen aktive Prozesse zu 50 % bei, während die aktive Komponente bei der stenothermen arktischen Tiefseegarnele *Pandalus borealis* nur 10 % der pH-Verschiebung ausmacht. Bei *Crangon* aus dem Weissen Meer läuft die aktive Anpassung des pH-Werts schneller ab, und der angestrebte pH-Wert wird eher erreicht als bei den Nordseetieren (Abb. 4C). Unsere Daten deuten also daraufhin, daß der aktive Beitrag zur pH-Regulation bei Arten, die weite Temperaturbereiche tolerieren (eurytherme Tiere), eine größere

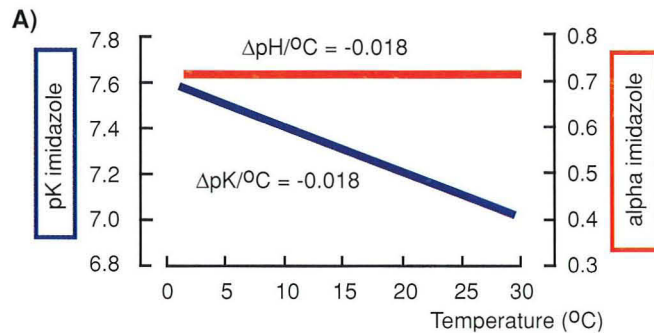


Abb. 4: Die Einstellung eines neuen pH-Werts in Körperflüssigkeiten in Abhängigkeit von der Temperatur ist wichtig für die Aufrechterhaltung von Proteinfunktionen.

Abb. 4A: Temperatureinfluß auf die Säureeigenschaften (pK) des Imidazolrestes von Histidin, einer in allen Proteinen auftretenden Aminosäure. Eine parallele Verschiebung des pK-Wertes und des intrazellulären pH-Wertes um  $-0,018^{\circ}\text{C}^{-1}$ , wie sie für kaltblütige Tiere postuliert wird, würde zu einem Erhalt des Protonierungszustandes des Imidazols führen, verbunden mit dem Erhalt von Struktur und Funktion der Proteine.

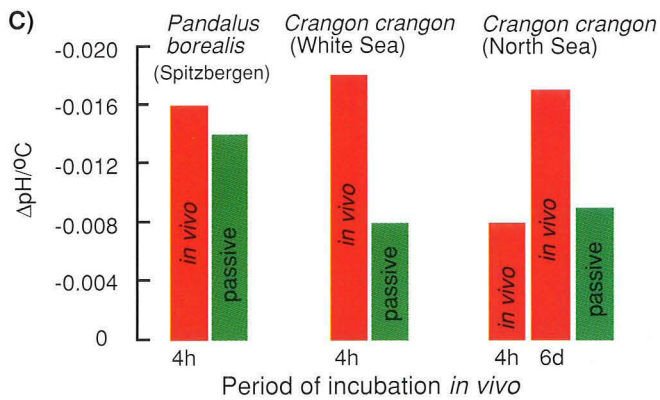
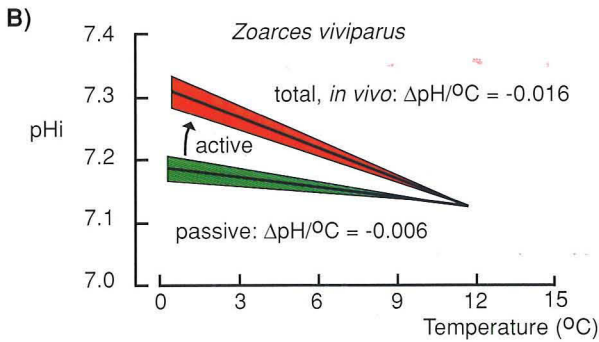


Abb. B: Anteile von aktiven und passiven Prozessen an der pH-Regulation nach Temperaturänderung in weißer Muskulatur der Aalmutter *Zoarces viviparus*. Der  $\text{pH}_i$  sinkt mit steigender Temperatur um  $-0,016^\circ\text{C}^{-1}$ . Die bunt unterlegten Felder entsprechen dem Standardfehler der Geradensteigung. Rot: pH/Temperatur Beziehung in vivo. Diese

Kurve gibt die Summe der beteiligten aktiven und passiven Prozesse wieder. Grün: Passive Reaktion des  $\text{pH}_i$  auf Temperaturänderungen (in vitro bestimmt). Diese Reaktion wird durch Temperatureffekte auf intrazelluläre Puffersubstanzen hervorgerufen.

Abb. 4C: Beteiligung von aktiven und passiven Prozessen an der Verschiebung des intrazellulären pH-Wertes nach Temperaturänderung in Populationen von *Crangon crangon* (Nordsee) und *Pandalus borealis* (Weisses Meer). Rot: in vivo gemessener pH-Wert. Grün: Anteil passiver Mechanismen an der Veränderung des pH-Wertes. Der intrazelluläre pH wurde 4h (*Pandalus* und *Crangon* aus dem Weissen Meer) oder 4h und 6

Tage (*Crangon* aus der Nordsee) nach Temperaturänderung bestimmt. Es ist zu beachten, daß der angestrebte pH-Wert in Tieren aus dem Weissen Meer bereits nach 4h erreicht wurde, während dieser Prozeß in Nordsee-tieren erst nach 6 Tagen abgeschlossen war.

Bedeutung hat als bei stenothermen Tieren (Tiere, die in engen Temperaturbereichen leben), und daß ihre Geschwindigkeit bei Tieren kalter Herkunftsgebiete als eine Konsequenz der „metabolic cold adaptation“ erhöht ist. Weitere Arbeiten werden zeigen, ob die relative Beteiligung von aktiven und passiven Prozessen an der pH-Regulation die Temperaturtoleranz einer Art mitbestimmt und damit für die geographische Verbreitung wichtig ist.

Die Arbeitsgruppe Ökophysiologie am Alfred-Wegener-Institut hat erste Schritte getan, um die Mechanismen physiologischer Temperaturadaptation aufzuklären. Wir haben gezeigt, daß anaerobe Mechanismen der Energiebereitstellung genutzt werden, sobald ein Tier Temperaturen oberhalb oder unterhalb kritischer Schwellenwerte ausgesetzt wird. Außerdem haben wir begonnen, das regulatorische Zusammenspiel verschiedener biochemischer Prozesse in Abhängigkeit von der Temperatur zu untersuchen. Dabei ist der pH-Wert in der Zelle sowohl als regulierender aber auch als regulierter Parameter von besonderem Interesse. Zukünftige Arbeiten sollen klären, inwieweit kritische Temperaturschwellen einer Art mit den thermischen Bedingungen an ihren jeweiligen geographischen Verbreitungsgrenzen korrelieren.

## Der „mehrstöckige“ Lebensraum am Meeresboden der Antarktis

Julian Gutt

Eine Diversitätsstudie



Abb. 1: Auf einem tonnenförmigen Glasschwamm (Höhe etwa 35 cm) siedeln im Bereich der Ausstromöffnung ein Haarstern (*Pomachocrinus kerguelensis*) und eine Seegurke (*Abyssocucumis liouvillei*). Die weißen Punkte auf

der Oberfläche des Schwammes sind Schnecken der Gattung *Margarella*. Der Meeresboden ist weitgehend mit Moostierchen bedeckt, dazwischen lebt eine eher seltene Seegurke (*Psolus charcoti*).

Der Begriff „mehrstöckige“ Besiedlung zieht sich wie ein roter Faden durch die Literatur, wenn antarktische Lebensgemeinschaften am Meeresboden (Benthos) beschrieben werden. Gemeint ist damit, daß manche Tiere als sogenannte Epibionten andere kaum bewegliche oder festsitzende (sessile) Tiere besiedeln (Abb.1). In diesem Merkmal ähnelt das Benthos des kalten antarktischen Ozeans Lebensgemeinschaften von Riffen in warmen, subtropischen Meeren, wie beispielsweise vor der Küste Kaliforniens. Nur direkte Beobachtungen an den Tieren in ihrer natürlichen Umgebung liefern einen Einblick in diese vielfältige Lebensweise. Deshalb wurde die „mehrstöckige“ Besiedlung im Südpolarmeer insbesondere durch die Einführung der Unterwasserfotografie vor ungefähr 40 Jahren bekannt. Unterhalb der Tauchgrenze bei etwa 30 m Tiefe wird heute vom AWI ein ferngesteuertes Unterwasserfahrzeug eingesetzt, um die Tiere und ihr Zusammenleben zu filmen und zu fotografieren.

Ungefähr 4.000 Unterwasserphotos wurden in den letzten Jahren von der Arbeitsgruppe „Vergleichende Benthosökologie“ im Weddellmeer und im östlich angrenzenden Lazarewmeer in bis zu 500 m Tiefe aufgenommen. Diese Photos ermöglichen erstmals eine umfassende quantitative Analyse der mehrstöckigen, epibiontischen Wechselbeziehungen zwischen Tieren am Grunde der antarktischen Meere. Die Aufnahmen geben auch Aufschlüsse darüber,

Epibionten \ Substrate	<i>Abyssocucumis liouvillei</i> (Seegurke)	Crinoidea spp. (Haarsterne)	<i>Ekmocucumis steineni</i> (Seegurke)	<i>Taeniogyrus contortus</i> (Seegurke)
unstrukturiertes Sediment	Meidung	Meidung	Meidung	Meidung
<i>Thouarella</i> spp. (Hornkorallen)	Bevorzugung	Bevorzugung	Meidung	Meidung
tonnenförmige Schwämme	Bevorzugung	Bevorzugung	Bevorzugung	Bevorzugung
andere Schwämme (>10cm)	weder Bevorzugung noch Meidung	weder Bevorzugung noch Meidung	Bevorzugung	Bevorzugung
Moostierchen	Meidung	weder Bevorzugung noch Meidung	weder Bevorzugung noch Meidung	Bevorzugung
andere Substratorganismen (>10cm)	weder Bevorzugung noch Meidung	Meidung	Meidung	Meidung
kleine Steine (<10cm) und Schill	Meidung	weder Bevorzugung noch Meidung	Meidung	Meidung
große Steine (>10cm)	Meidung	Bevorzugung	Meidung	Meidung

■ Bevorzugung   
 ■ Meidung   
 ■ weder Bevorzugung noch Meidung

Abb. 2: Nutzung der verschiedenen, überwiegend lebenden Substrattypen, durch die vier häufigsten Epibionten. Alle Epibionten meiden das unstrukturierte Sediment. Die anderen Substrate nutzen sie in sehr unterschiedlicher Weise.

Schwämme und größere Steine. Andere Substratorganismen meiden sie. Ähnlich verhält sich die sessile Seegurke *Abyssocucumis liouvillei*, die jedoch gar nicht auf Steinen lebt. Die ihr sehr nah verwandte Art *Ekmocucumis steineni* zeigt hingegen ein anderes Verhalten: sie meidet Hornkorallen und bevorzugt verschiedene Schwammarten sowie Moostierchenkolonien als Substrat. Die dritte Seegurkenart *Taeniogyrus contortus* lebt im Gegensatz zu den beiden anderen, ähnlich einer Baumschlange, zwischen den Ästen von Moostierchenkolonien. Dementsprechend

welche Rolle diese Vergesellschaftungen sowohl für die einzelnen daran beteiligten Tierarten als auch für die Funktion und Biodiversität des Benthos spielen.

Als erstes zählten wir auf 3.823 m<sup>2</sup> Meeresboden 5.256 Fälle, bei denen ein Tier auf einem anderen siedelte. Wir fanden 378 verschiedene Kombinationen aus Epibiont und besiedeltem Tier. Die häufigsten Vergesellschaftungen sind der Schwamm *Iophon radiatus*, der stets einen Schlangensterne überwächst, die Muschel *Lissarca notorcadensis* auf dem Lanzenseegel *Notocidaris* sp. und der Haarsterne *Pomachocrinus kerguelensis* auf Kolonien des Moostierchens *Cellarinella* sp. Der Glasschwamm *Rossella racovitzae* dient besonders vielen verschiedenen Epibionten (24 Arten) als Substrat. Die Haarsterne (*Crinoidea*) besiedeln die größte Anzahl verschiedener Substratorganismen (63 Arten).

In einem zweiten Schritt konnte statistisch bewiesen werden, daß die häufigsten Epibionten lebende Substrate, Steine und biogenes Schillsubstrat gegenüber dem unstrukturierten Sediment bevorzugen (Abb. 2).

Der statistische Vergleich zwischen der Bedeckung des Meeresbodens mit besonders strukturierten, überwiegend lebenden Substraten und der Häufigkeit der Epibionten auf den jeweiligen Substraten, erbrachte folgende Ergebnisse: Haarsterne besiedeln besonders häufig Hornkorallen, große tonnenförmige

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

sind die Moostierchen auch ihr bevorzugtes Substrat. Interessanterweise bevorzugt bzw. meidet *Taeniogyrus contortus* fast dieselben Substrate wie *Ekmcocumis steineni*, obwohl sie mit dieser Seegurke nur entfernt verwandt ist.

Welchen Vorteil bietet die „mehrstöckige“ Besiedlung den daran beteiligten Tieren? Die häufigen Epibionten sind sogenannte Filtrierer. Die Abbildung 1 zeigt einen rötlichen Haarstern, der seine verzweigten Arme in die Strömung hält. Solche Filtrierer sind auf eine gewisse Wasserbewegung angewiesen, die immer wieder neue Nährstoffe in Form organischer Partikel in ihre Nähe bringt. Schon in geringer Höhe über dem Meeresboden wird die Strömung stärker und damit die Nahrungsversorgung besser. Offensichtlich profitieren die häufigen Epibionten dadurch von der „mehrstöckigen“ Lebensweise. Die meisten Substratorganismen nehmen wahrscheinlich weder Schaden noch genießen sie einen Vorteil.

Einige Epibionten nutzen viele unterschiedliche Substratorganismen. Sie sind dadurch recht gleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt und gehören zu den häufigsten Tieren im antarktischen Benthos. Andere sind vor allem oder ausschließlich an eine einzige Tierart als Substrat angepaßt, wodurch ihr lokales Vorkommen stark schwankt. Die Gründe für Bevorzugen und Meiden von Substraten können vielfältig sein. Vermutlich spielt die Oberflächenstruktur der Substratorganismen eine wesentliche Rolle.

Die „mehrstöckige“ Besiedlung prägt die Lebensgemeinschaft am Meeresgrund in zweifacher Hinsicht: Zum einen beeinflußt sie die Zusammensetzung des Benthos, weil bestimmte Organismen häufig zusammen auftreten. Zum anderen erhöht sich dadurch die Artenvielfalt, im Vergleich zu anderen Meeren, weil durch die lebenden Substrate zusätzliche ökologische Nischen zur Verfügung stehen. Der Anteil der strukturierten, beziehungsweise lebenden Sedimente ist in der Antarktis relativ hoch, verglichen beispielsweise mit der Nordsee.

Solange keine vergleichbaren Ergebnisse vorliegen, wäre es verfrüht, grundsätzlich von einer deutlichen Ähnlichkeit zwischen hochantarktischem und subtropischem Benthos auszugehen. Ein vorläufiger Vergleich zeigt jedoch, daß die oben beschriebenen Vergesellschaftungen im Weddell- und Lazarewmeer häufiger als auf der gegenüberliegenden Seite der Antarktischen Halbinsel sind. Ähnlich häufig beobachteten wir solche Vergesellschaftungen bei Süd Georgien, ebenfalls südlich der Antarktischen Konvergenz. Relativ selten fanden wir sie dagegen in den etwas wärmeren Gewässern der Magellanischen Region Südamerikas und auf der Nordhalbkugel vor Ostgrönland.

## Die bodennahe Luftströmung an der Neumayer-Station

Dörthe Handorf

*Meßkampagnen in der Antarktis führen zum besseren Verständnis der physikalischen Prozesse in der Nähe des Erdbodens*

Eine wichtige Voraussetzung zur Verbesserung von Wetter- und Klimavorhersagen ist eine genaue Kenntnis der physikalischen Prozesse in der bodennahen atmosphärischen Strömung sowie deren adäquate Darstellung in den Vorhersagemodellen.

Die Schicht unmittelbar über der Erdoberfläche wird von der Oberfläche durch Reibung sowie durch Erwärmung und Abkühlung direkt beeinflusst. Diese Schicht wird als Grenzschicht bezeichnet. Charakteristisch für die Strömung in der Grenzschicht sind turbulente Bewegungen. Wenn die Erdoberfläche kälter als die darüberliegende Luft ist, bilden sich Grenzschichten mit stabiler Dichteschichtung aus. Dieser Fall ist an der Neumayer-Station in der Antarktis vor allem im Winter, d. h. von Mai bis Juli, häufig zu beobachten. In einer stabil geschichteten Strömung werden vertikal ausgelenkte Luftteilchen durch die Auftriebskraft wieder in ihre Ruhelage zurückgetrieben und damit turbulente Bewegungen gedämpft. Infolge dieser Gegebenheiten bilden sich nur sehr dünne Grenzschichten aus.

Derartige Bedingungen sind über dem antarktischen Kontinent weit verbreitet, jedoch auch für mitteleuropäische Verhältnisse relevant, da z. B. bei typischen Smogwetterlagen die Grenzschicht auch hier stabil geschichtet ist. Da bis heute stabile Grenzschichten noch nicht zufriedenstellend erforscht sind, wurden Meßkampagnen und Modellstudien durchgeführt, um theoretische Konzepte zur Darstellung der stabilen Grenzschicht in Atmosphärenmodellen und zum Verständnis der physikalischen Prozesse in der Nähe des Erdbodens zu entwickeln. Dieses Wissen ist nicht nur für die Modellierung kleinräumiger Prozesse (z. B. Ausbreitung anthropogen erzeugter Spurenstoffe), sondern, wie eingangs erwähnt, auch für das Verständnis und die Modellierung der großräumigen Strömungen in Wettervorhersage- und Klimamodellen wichtig.



## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

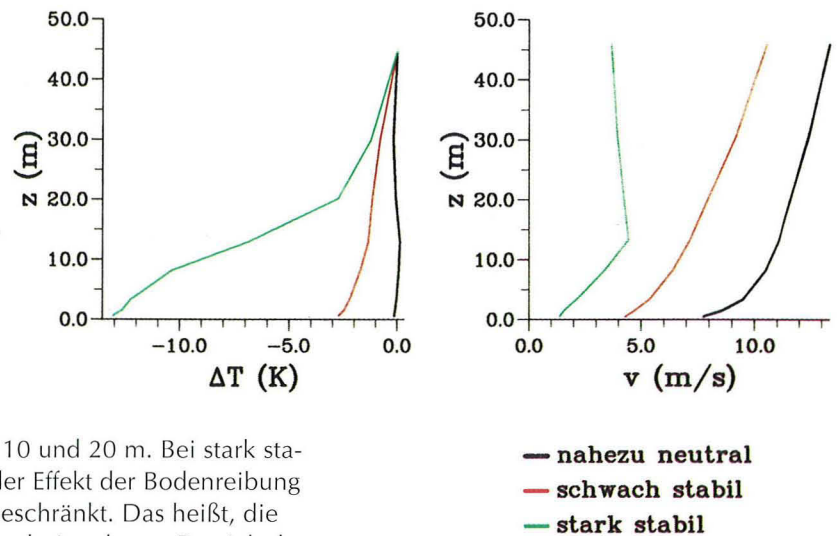
Um bisherige Untersuchungen zu erweitern, wurden zwei umfangreiche Meßprogramme an der Neumayer-Station auf dem Ekström-Schelfeis bearbeitet. Aufgrund der äußeren Bedingungen kann dieser Ort als „natürliches Labor“ angesehen werden, da die Schneeoberfläche sehr homogen ist, stabile Schichtungen häufig auftreten und man während der Polarnacht die bodennahe Luftströmung ohne den Einfluß von Tagesschwankungen untersuchen kann.

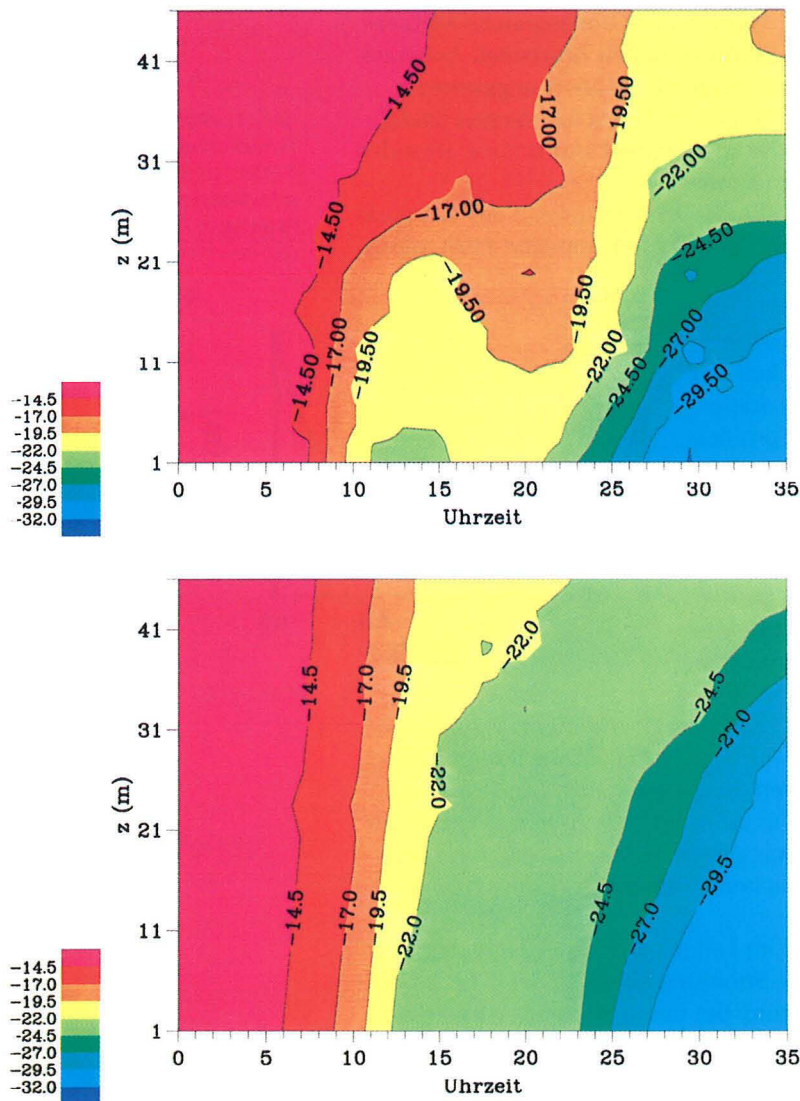
Im Jahre 1983 wurden die vertikalen Profile der Temperatur und des Windvektors an einem 45 m hohen Mast und während der Sommerkampagne 1994 neben den mittleren Profilen auch die turbulenten Schwankungen der Temperatur und des Windvektors in drei Höhen von einem 10 m hohen Mast aus gemessen.

Charakteristika der mittleren Vertikalstruktur der bodennahen Luftströmung an der Neumayer-Station ergeben sich aus den Wind- und Temperaturprofilen für das Jahr 1983. Sie sind in der Abbildung 1 nach der Jahreszeit und der statischen Stabilität klassifiziert. In den Wintermonaten Mai bis Juli treten neben östlichen Luftströmungen mit nahezu neutraler Dichteschichtung und sehr hohen Windgeschwindigkeiten sehr oft südliche Abflußströmungen mit stark stabiler Schichtung auf. In den letzteren Fällen zeigt die Temperaturkurve einen dreischichtigen Aufbau mit den größten Gradienten in der mittleren Schicht zwischen 10 und 20 m. Bei stark stabiler Schichtung ist die Abkühlung der Luftsäule und der Effekt der Bodenreibung auf die Windgeschwindigkeit auf die untersten 20 m beschränkt. Das heißt, die Grenzschicht ist in diesen Fällen im Mittel nur 20 m hoch. Im oberen Bereich der Grenzschicht, in etwa 15 m Höhe, bilden sich Windmaxima aus. Während des Übergangs zwischen den östlichen und südlichen Strömungen stellt sich eine schwach stabile Dichteschichtung ein.

Da der Meßmast 45 m hoch war, wurde im Fall der stabilen Schichtung nicht nur die Grenzschicht, sondern auch die freie Strömung oberhalb der Grenzschicht erfaßt. Es stellte sich heraus, daß die Schichtung der freien Strömung Auswirkungen auf die Höhe und Struktur der Grenzschicht hat.

Abb. 1: Mittlere Profile der Temperaturdifferenz  $T(z)$  bis  $T(45\text{m})$  und der Windgeschwindigkeit für die Zeit der Polarnacht für verschiedene Dichteschichtungen.





Anhand dieser Meßwerte und der Turbulenzdaten wurden sowohl vorliegende theoretische Konzepte zur Darstellung der Grenzschicht in Rechenmodellen überprüft als auch neue Ansätze entwickelt. Durch den Vergleich von Ergebnissen numerischer Modellexperimente mit gemessenen Daten läßt sich entscheiden, welches der Grenzschichtschemas die beste Simulation der Realität erlaubt.

In den Abbildungen 2 und 3 werden gemessene und modellierte Zeit-Höhen-Schnitte der Temperatur dargestellt. Daraus läßt sich erkennen, daß das verbesserte, neue Grenzschichtkonzept die Beobachtungen wesentlich besser reproduziert als die bisher angewandte Formulierung. Die generelle

Abb. 2: Höhen-Zeit-Schnitte der gemessenen Temperatur (in ° C) vom 29.6.1983, 0.00 Uhr bis 30.6.1983, 11.00 Uhr. B: Höhen-Zeit-Schnitte der modellierten Temperatur (in ° C) vom 29.6.1983, 0.00 Uhr bis 30.6.1983, 11.00 Uhr. Die Modellergebnisse wurden mit einer üblicherweise verwendeten Turbulenzschließung erzielt.

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

Abkühlung der Luft an der kalten Erdoberfläche und selbst die leichte Erwärmung zwischen 14 Uhr und 20 Uhr werden zwar von beiden Modellrechnungen nachgebildet, aber die vertikale Ausdehnung der Grenzschicht wird durch die alte Modelldarstellung deutlich überschätzt. Die Modellverbesserung beruht im wesentlichen darauf, daß die Wirkung der Stabilität der freien Strömung auf die Turbulenz in der Grenzschicht in unserem Ansatz passend berücksichtigt wurde.

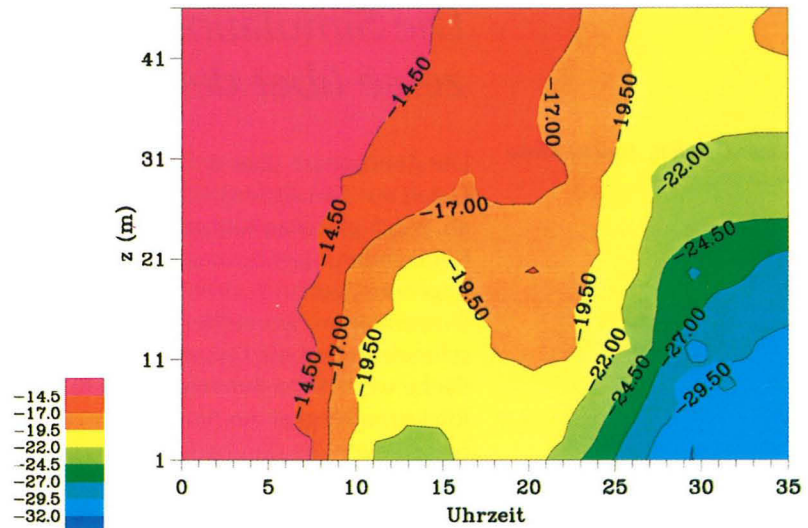
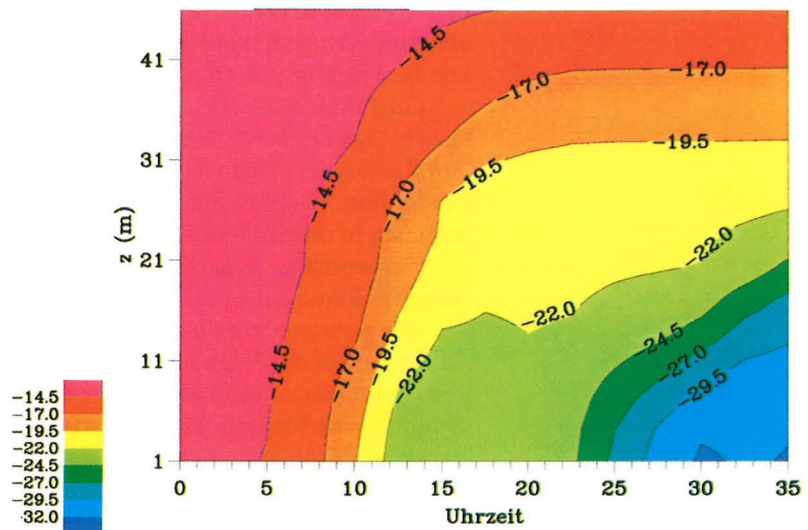


Abb. 3: Höhen-Zeit-Schnitte der gemessenen Temperatur (in ° C) vom 29.6.1983, 0.00 Uhr bis 30.6.1983, 11.00 Uhr.

B: Höhen-Zeit-Schnitte der modellierten Temperatur (in ° C) vom 29.6.1983, 0.00 Uhr bis 30.6.1983, 11.00 Uhr. Die Modellergebnisse wurden mit der erweiterten Turbulenzschließung erzielt. Die modellierte Temperaturstruktur der Grenzschicht stimmt wesentlich besser mit der gemessenen Struktur überein als in 2 A.



## Die Simulation atmosphärischer Klimaprozesse über der Arktis

*Klaus Dethloff, Annette Rinke*

Die Atmosphäre über der Arktis ist für Klimamodellierer ein harter Brocken: Die Daten aus Simulationsrechnungen weichen hier meist stark von der Wirklichkeit ab. Nach globalen Klimamodellen sollte die Atmosphäre über der Arktis auf Klimaänderungen besonders empfindlich reagieren. Die Modellrechnungen sagen folgendes Szenario vorher: Durch den Treibhauseffekt steigt zunächst die Lufttemperatur an, woraufhin Teile des Meereises auf dem Arktischen Ozean abschmelzen und die Eisbedeckung der Kontinente abnimmt. Land- und Meeresoberfläche werfen das Sonnenlicht nicht so stark zurück wie Eis – ihre „Albedo“, die Rückstreuungsfähigkeit für Sonnenlicht, ist geringer. Statt dessen erwärmen sie sich und heizen auch die darüberliegenden Luftschichten auf. Noch mehr Eis wird geschmolzen, und es kommt zu einer positiven Rückkopplung; der Vorgang verstärkt sich immer mehr. Nach den Modellrechnungen sollte die Atmosphäre über der Arktis als erstes auf den weltweiten Treibhauseffekt reagieren. Doch bis jetzt geben die verfügbaren Daten keinen Hinweis darauf, daß die Ausdehnung des Meereises abnimmt, da auch durch natürliche Klimaschwankungen die Meereisbedeckung von Jahr zu Jahr variiert.

Über dem Arktischen Ozean gibt es nur sehr wenige meteorologische Meßstationen. Das erschwert Modellrechnungen, in die gemessene Daten als Anfangs- und Randwerte eingehen. Aus den gemessenen Daten werden Werte für Gebiete extrapoliert, in denen keine Meßwerte vorliegen. Sie heißen Analysedaten und stammen in diesem Modell vom Europäischen Zentrum für Mittelfristprognose.

Gegenwärtige Modelle weisen große Mängel in der physikalischen Beschreibung des Klimas polarer Breiten auf.

Wir wenden deshalb ein regionales Klimamodell mit sehr hoher horizontaler Auflösung auf die Arktis an, um die über einen Monat gemittelte Luftzirkulation über der Arktis zu simulieren. Durch den Vergleich mit Analysedaten lassen sich systematische Mängel des Modells erkennen. Unser Modell hat eine im Vergleich zu den globalen Modellen stark erhöhte horizontale Auflösung: Der Abstand

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

zwischen zwei Gitterpunkten beträgt 50 km statt 250 bis 500 km bei globalen Modellen. An den seitlichen Rändern des modellierten Gebietes werden Analyse-  
daten des Europäischen Zentrums für Mittelfristprognose vorgegeben. Durch diese  
beiden Verbesserungen können die bestehenden Modelldefizite verringert werden.

Infolge der höheren Auflösung wirkt dieses regionale Klimamodell wie ein  
Vergrößerungsglas. Es ist ein wirkungsvolles Hilfsmittel, um das Klima in der  
arktischen Troposphäre und Stratosphäre zu modellieren. Physikalische Parameter,  
die dabei nötig sind, können mit seiner Hilfe überprüft und angepaßt werden.  
Wenn man die natürlichen Vorgänge in der arktischen Atmosphäre besser versteht,  
dann können globale Modelle vervollkommenet und die vom Menschen verursach-  
ten Veränderungen besser abgeschätzt werden.

### *Modellierung*

Unser Modell verwendet das dynamische Gerüst des hochauflösenden Wetter-  
vorhersagemodells HIRLAM (High Resolution Limited Area Model). Die phy-  
sikalischen Parameter für Strahlung, Grenzschicht, Wolkenbildung, Konvektion,  
Niederschlags- und Bodenprozesse stammen aus dem Klimamodell ECHAM3  
(European Centre Hamburg Atmospheric Model Version 3). Unser Modell berech-  
net die monatsgemittelten Temperaturen und Luftströmungen der Troposphäre und  
Stratosphäre in einem Modellgebiet in der Arktis. Die Analysedaten am seitlichen  
Rand werden alle sechs Stunden vorgegeben. Am unteren Rand werden aktuelle  
Ozeanoberflächentemperaturen und die beobachtete Meereisbedeckung vorgege-  
ben, wobei eine konstante Eisdicke angenommen wird.

Auf der Abbildung 1a ist das Monatsmittel der Modelltemperaturen zu sehen,  
die im Januar 1990 auf einer Fläche gleichen Drucks (850 Hektopascal) herrschten.  
Die tiefsten Temperaturen treten über der kanadischen Arktis, Grönland und  
Sibirien auf. Der Einfluß des warmen Golfstroms mildert das Klima Skandinaviens.  
Die Abbildung 1b zeigt die Differenz zwischen Modellsimulation und Analyse-  
daten. Über den Kontinenten ergibt die Simulation um bis zu 2° C höhere, über  
dem Arktischen Ozean um bis zu 6° C niedrigere Werte als die Analyse. Diese  
Temperaturdifferenzen zwischen Modell- und Analysedaten hängen mit Luftströ-  
mungen über der Kara- und Barentssee zusammen. Die vom Modell berechneten  
Luftströmungen weichen dort großskalig von den Analysedaten ab. Auf der Ab-

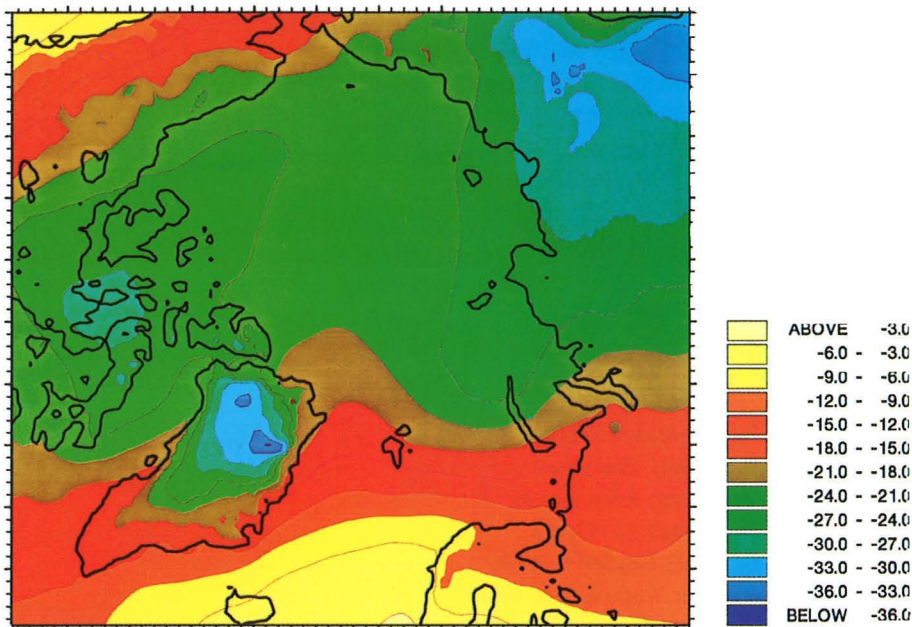


Abb. 1a: Modellsimuliertes Monatsmittel der 850 Hektopascal-Temperatur in Grad Celsius für Januar 1990. Die Farbschattierungen geben die Temperaturverteilung an.

bildung 2a ist das Monatsmittel der Modelltemperatur zu sehen, die im Juli 1990 im arktischen Sommer auf einer Fläche gleichen Drucks (850 Hektopascal) herrschte. Die tiefsten Temperaturen in der sommerlichen Arktis treten über dem Arktischen Ozean auf, während die Kontinente jetzt zu den wärmeren Gebieten zählen. Die Abbildung 2b zeigt die Differenz zwischen Modellsimulation und Analysedaten. Vor der sibirischen Küste treten die stärksten Unterschiede zwischen Simulation und Analysedaten auf. Die Simulation ergibt hier um 5° C niedrigere Temperaturen. Diese Temperaturdifferenzen hängen mit Luftströmungen über der Laptewsee zusammen. Die vom Modell berechneten Luftströmungen weichen dort großskalig von den Analysedaten ab.

Die Modellsimulationen sind über den Kontinenten sowohl im Winter als auch im Sommer deutlich besser als über dem eisbedeckten Arktischen Ozean.

Die Abbildung 3 stellt die über den Monat und das gesamte Modellgebiet gemittelte, höhenabhängige Temperaturdifferenz zwischen Modellsimulation und Analysedaten für

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

13 Monate von Januar 1990 bis Januar 1991 dar. Die stärkste Abweichung tritt von Februar bis Juni über den Meereispunkten in der atmosphärischen Grenzschicht auf. Hier überschätzt das Modell die Wärmeflüsse aus dem eisbedeckten Ozean in die Atmosphäre.

Daraus ergeben sich Hinweise auf notwendige Modellverbesserungen: Es könnten veränderliche Eisdicken über dem Arktischen Ozean berücksichtigt oder die physikalischen Größen für den vertikalen Wärmetransport in die Atmosphäre besser angepaßt werden.

### Parametrisierungen

Die diagnostizierten Abweichungen der Modellsimulation von den Analysedaten haben mehrere Ursachen. Einerseits treten Fehler in den gemessenen Daten auf. Außerdem sind die Anfangsbedingungen nur ungenau bekannt. Infolge der nichtlinearen Modelldynamik verstärken sich diese Ungenauigkeiten. Auch Eisdicken und physikalische Parametrisierungen sind fehlerbehaftet. Um die Fehler in den Analysedaten zu verringern, sind Daten mit verbesserter horizontaler und vertikaler Auflösung in polaren Breiten erforderlich.

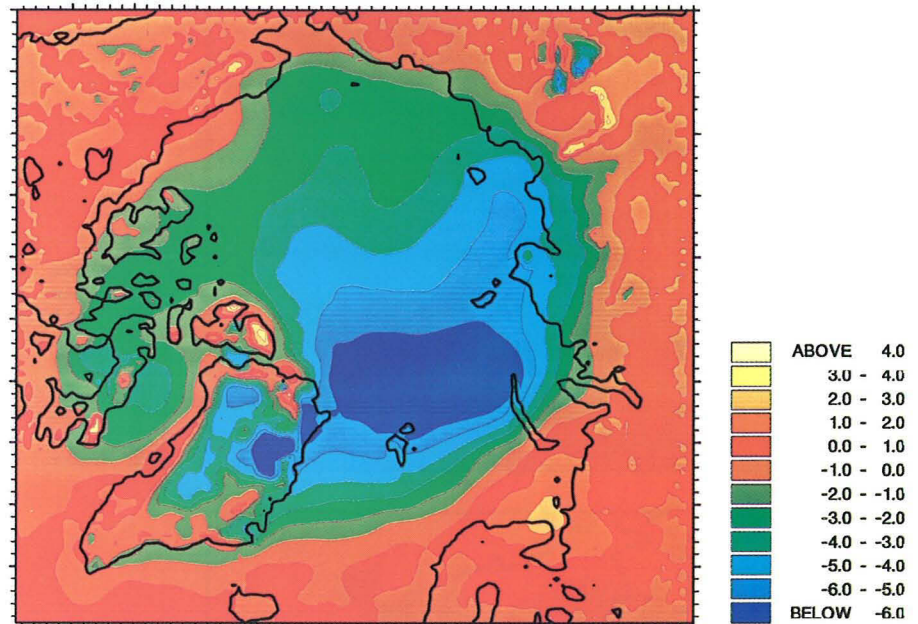


Abb. 1b: „Modellsimulation minus Analysedaten“ für das Monatsmittel der 850 Hektopascal Temperatur in Grad Celsius für Januar 1990. Die Farbschattierungen geben die Temperaturdifferenz an.

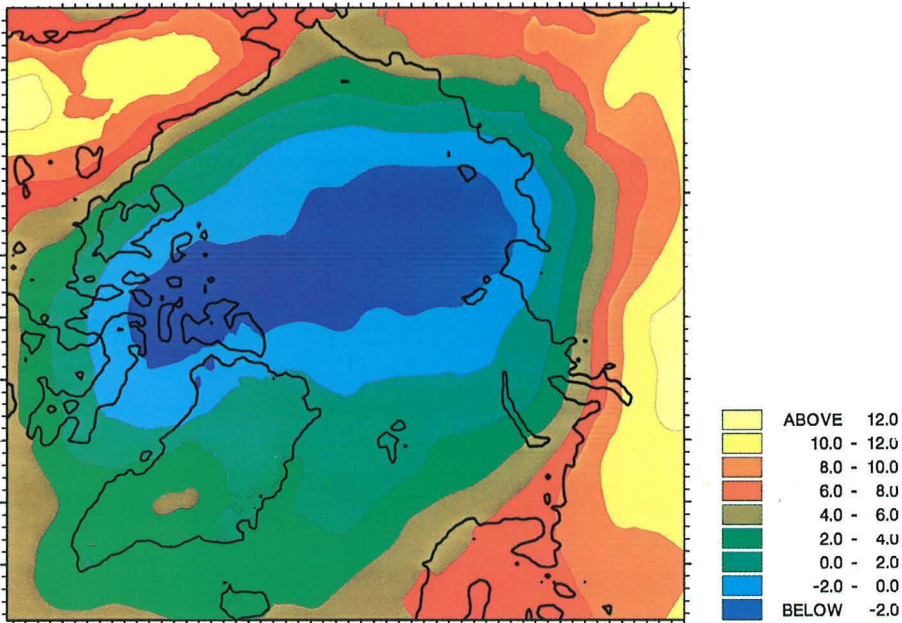


Abb. 2a: Modellsimuliertes Monatsmittel der 850 Hektopascal-Temperatur in Grad Celsius für Juli 1990. Die Farbschattierungen geben die Temperaturverteilung an.

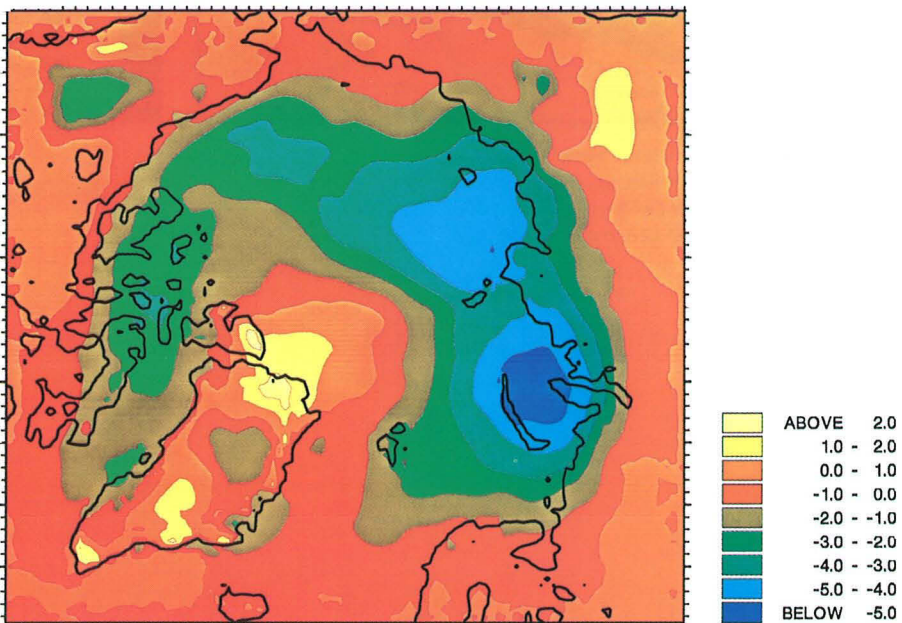


Abb. 2b: Differenz „Modellsimulation minus Analysedaten“ des Monatsmittels der 850 Hektopascal-Temperatur in Grad Celsius für Juli 1990. Die Farbschattierungen geben die Temperaturdifferenz an.



## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

Um die Abweichungen zwischen Modellsimulation und Daten zu verringern, sind verbesserte Parametrisierungen erforderlich. Das gilt vor allem für den vertikalen Wärme- und Feuchtetransport in der atmosphärischen Grenzschicht und für die Kopplung der Atmosphäre mit den Eisflächen und offenem Wasser.

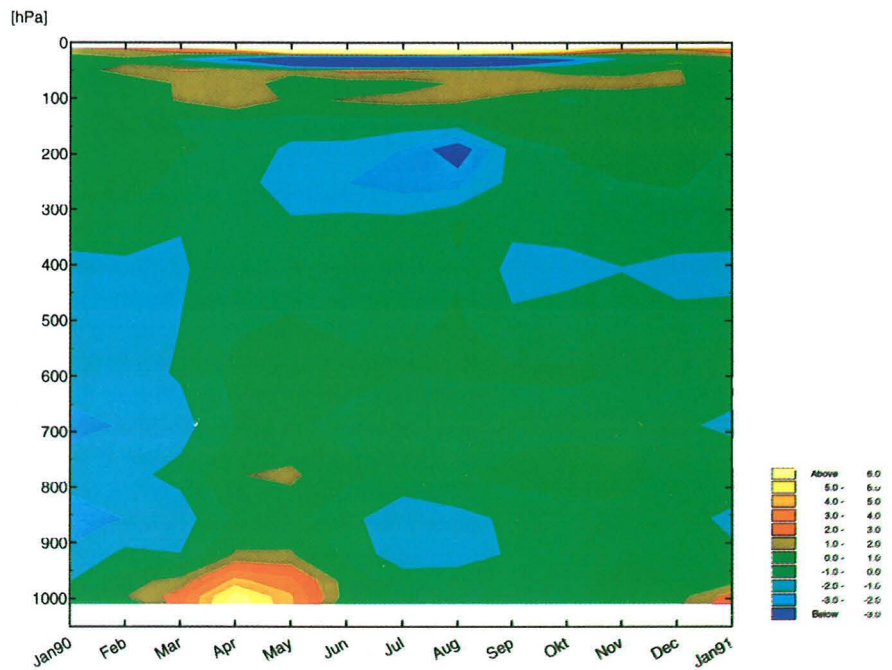


Abb. 3: Jahresgang der vertikalen Temperaturdifferenz in Grad Celsius „Modellsimulation minus Analysedaten“ als Monats- und Flächenmittel. Die Farbschattierungen geben die Temperaturdifferenz an.

Markus Rex , Peter von der  
Gathen

## *Koordinierte Ozonsondierungen zur Bestimmung des Ozonabbaus im arktischen und subarktischen Winter*

Eine besondere Rolle in der globalen Ozonbilanz spielen die Vorgänge in den großen Tiefdruckgebieten, die sich in jedem Winter in der polaren Stratosphäre ausbilden. Die Luftmassen rotieren dann in einem sogenannten Polarwirbel horizontal um dessen Zentrum in Nähe des Pols. Dadurch bleiben einerseits die Luftmassen im Innern des Wirbels für lange Zeit von der Umgebung isoliert, andererseits kühlt die Stratosphäre unter den Bedingungen der Polarnacht stark ab. Bei Temperaturen unter  $-80^{\circ}\text{C}$  können sich polare stratosphärische Wolken (PSW) ausbilden. Es gilt als erwiesen, daß an den Oberflächen der Partikel, aus denen die PSW bestehen, heterogene chemische Reaktionen ablaufen, die für den Ozonabbau von entscheidender Bedeutung sind.

Anthropogen erzeugte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Halone gelangen seit einigen Dekaden in die Troposphäre und reichern sich dort aufgrund ihrer langen natürlichen Lebenszeiten, die im Bereich mehrerer Jahrzehnte liegen, an. Ein Bruchteil wird durch Austauschprozesse jedes Jahr in die Stratosphäre getragen. Wenn sie in großen Höhen angekommen sind, vermag die dort einfallende harte UV-Strahlung der Sonne die sonst so stabilen Moleküle aufzubrechen. Durch Reaktionen der Fragmente mit den Luftmolekülen werden neue Chlor- und Bromverbindungen erzeugt. Der weit überwiegende Anteil der neuen Verbindungen, die schließlich das Reservoir an Chlor und Brom bilden und deshalb Reservoirgase genannt werden, ist inaktiv und kann den Ozonhaushalt kaum beeinflussen. Bei den kalten Temperaturen der Polarnacht werden die Reservoirverbindungen jedoch durch heterogene Reaktionen mit den PSW-Partikeln in reaktive Chlor- und Bromverbindungen überführt. Im folgenden Polarfrühling kann das Licht der wiederkehrenden Sonne diese Verbindungen leicht photolytisch spalten. Dadurch werden ozonzerstörende katalytische Reaktionszyklen in Gang gesetzt. In der Antarktis führt dies alljährlich zum saisonalen Ozonloch in den Monaten September/Oktober.

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

Die in diesem Zusammenhang wichtigen Fragen lauten: Findet auch auf der Nordhemisphäre ein Ozonabbau nach diesem Mechanismus statt, und wenn ja, in welchem Ausmaß?

Der arktische Polarwirbel ist kleiner, weniger stabil und löst sich früher auf als sein antarktisches Pendant. Deswegen können dort die Temperaturen nicht so tief sinken und sich die PSW weniger häufig ausbilden. Gleichwohl wurden auch hier in der Vergangenheit mehrmals hohe Konzentrationen an reaktiven Chlorverbindungen gemessen. Da sie aber bereits vor Ende der Polarnacht wieder stark abgenommen hatten, blieb der Ozonabbau bislang vergleichsweise niedrig.

Der Ozongehalt in der arktischen Stratosphäre kann neben der beschriebenen Chemie auch aus Transportgründen zeitlich variieren. Er schwankt lokal über einer Meßstation schon alleine aufgrund der stratosphärischen Winde. Diese bewirken, daß ständig neue Luftmassen erscheinen, die zueinander Ozonunterschiede aufweisen, die vormals natürlich entstanden sind. Diese Schwankungen erreichen gerade in der Arktis beträchtliche Ausmaße. Ferner können aus mittleren Breiten Luftmassen mit niedrigem Ozongehalt in die Arktis eindringen und sich mit den Luftmassen am Rande des Polarwirbels mischen. Auch dies bedeutet eine natürliche Schwankung des Ozongehalts. Die dynamischen Effekte überlagerten in der Vergangenheit jeden chemischen Verlust, weshalb der Nachweis und die Quantifizierung des Ozonabbaus über der Arktis schwerer nachzuweisen war als über der Antarktis.

Eine erfolgreiche Methode, den chemischen Ozonabbau nachzuweisen, wurde erstmals für den Winter 1991/92 vom AWI und der Universität Bremen entwickelt und im Winter 1994/95 unter dem Projektnamen „Match“ in größerem Umfang weitergeführt. Während der Match-Kampagne wurden international ca. 1000 Ozonsonden von über 30 Stationen um den Nordpol und in den mittleren Breiten koordiniert eingesetzt. Zu diesem Zweck wurden die Bewegungen (Trajektorien aus Berechnungen der FU Berlin) von Luftmassen analysiert und prognostiziert, um Ozonsonden derart einzusetzen, daß bestimmte Luftpakete gezielt mehrmals beprobt werden konnten (Abb. 1). Eine gemessene Abnahme der Ozonkonzentrationen in der Zeitspanne zwischen zwei Sondenflügen ist dann einem chemischen Abbau zuzuschreiben. Es gelang, durch die große Anzahl der erzielten Sondenpaare die chemischen Abbauprozesse direkt nachzuweisen und statistisch signifikant zu quantifizieren.

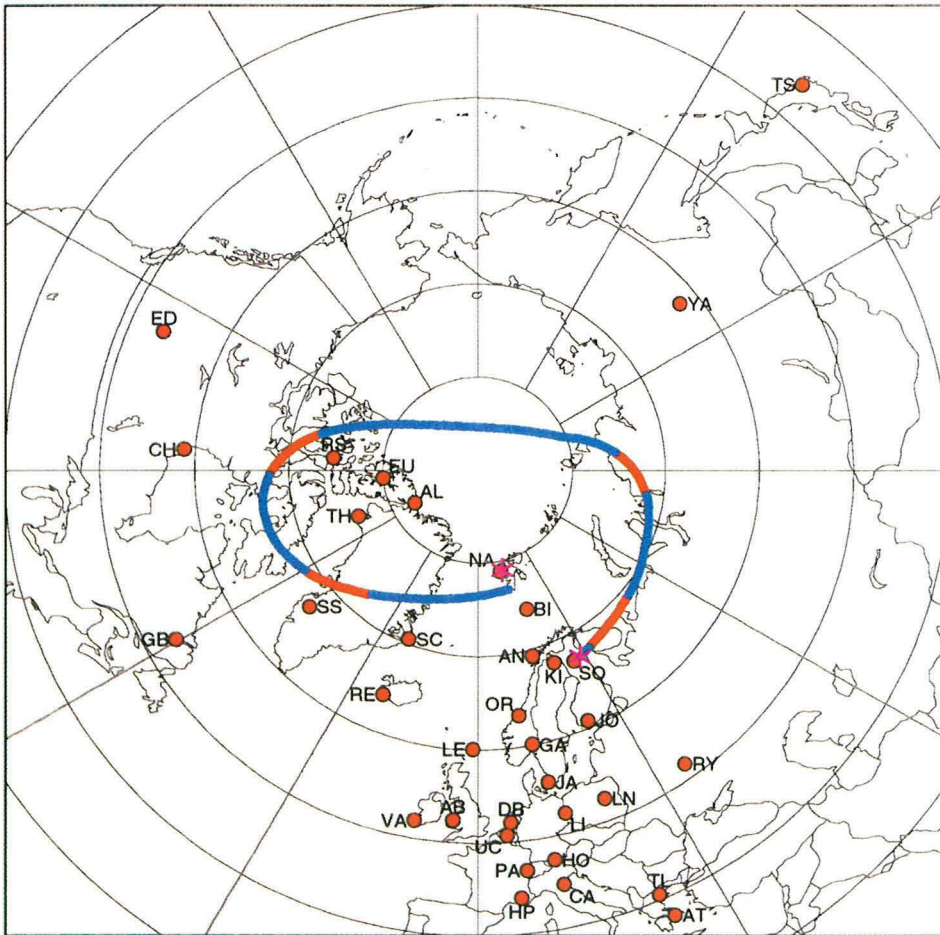


Abb. 1: Landkarte mit den an der Match-Kampagne beteiligten Ozonsondenstationen. Zudem ist eine Trajektorie eingezeichnet, die ein Luftpaket beschreibt, das am 14.2.1995 in Sodankylä

(Finnland) gestartet ist und am 18.2.1995 in die Nähe der Koldewey-Station gerät. Sonnenbeschienene Teile der Trajektorie sind rot gezeichnet.

Die Abbildung 2 zeigt in zeitlicher Auflösung für drei verschiedene Höhen-niveaus die Ozonverluste im Polarwinter, die aus der Statistik vieler solcher Sondenpaarungen berechnet worden sind. Sie machen deutlich, daß gerade in jenem Winter die chemisch bedingten Reduktionen ein bislang noch nie über der Arktis nachgewiesenes Ausmaß erreichten. In einigen Höhenbereichen war während des Winters ca. 60 % des Ozons verschwunden. Man sieht auch deutlich, daß der zeitliche Verlauf der Verluste wie erwartet stark mit dem Auftreten der PSW korreliert. Eine weitere Analyse der Daten bestätigt zudem, daß nur in den von der Sonne beschienenen Teilen der Trajektorien Ozon zerstört werden konnte.

Die Ozonabbauraten beim Entstehen des antarktischen Ozonlochs sind nicht viel größer. Dort findet der Ozonverlust allerdings über ein größeres Höhenintervall und über einen längeren Zeitraum statt, insbesondere bis in den sonnenreichen Frühling hinein, was zu den wesentlich größeren Gesamtverlusten führt.

Die Entwicklung des arktischen Polarwirbels ist von Jahr zu Jahr starken Schwankungen unterworfen. Entsprechend können sich die Bedingungen für den Ozonabbau verändern. Für die kommenden Jahre wird erwartet, daß

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

der stratosphärische Chlorgehalt noch weiter ansteigt. Da die chemischen Reaktionen, die zur Ozonzerstörung führen, quadratisch von der Chlorkonzentration abhängen, muß daher mit einer Zunahme der Ozonabbauraten gerechnet werden. Dies bedeutet einen weiteren Anstieg der UV-B-Belastung der nordhemisphärischen Biosphäre. Da sich die Luftmassen des Polarwirbels im Laufe des Frühlings mit den Luftmassen der mittleren Breiten vermischen, sind von der erhöhten UV-B-Belastung auch die Menschen in den bevölkerungsreichen Gebieten Europas und Nordamerikas betroffen.

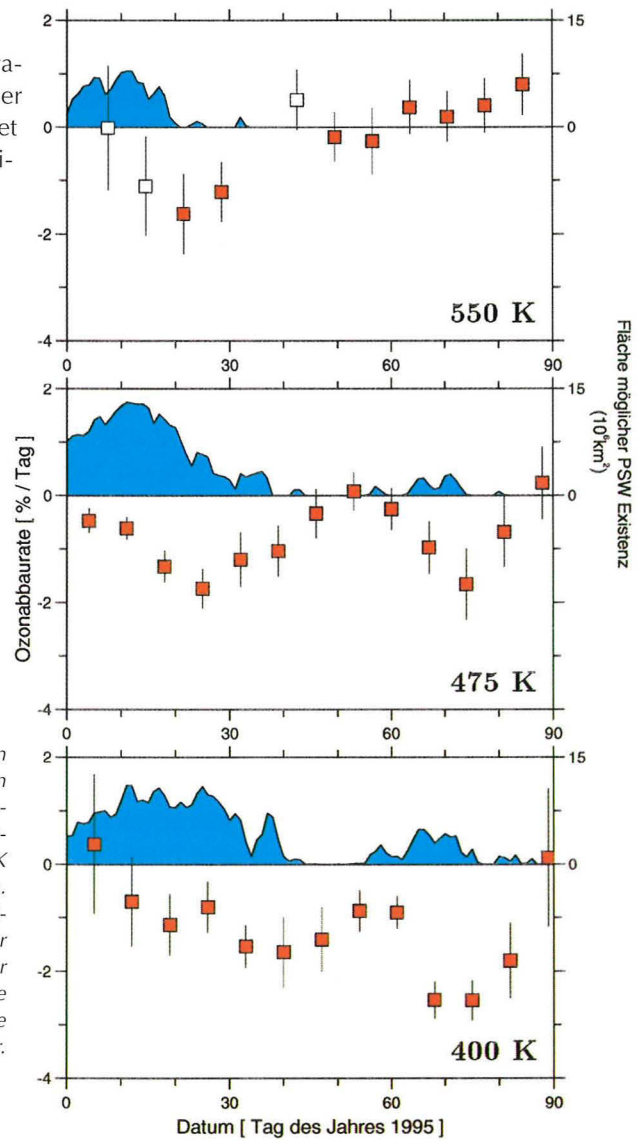


Abb. 2: Ozonverlustraten in drei Niveaus der potentiellen Temperatur im Zeitraum 1.1.-31.3.1995. Dabei entsprechen 400 K ca. 16 km, 475 K ca. 20 km, und 550 K ca. 23 km Höhe. Die blauen Flächen geben die Areale in der entsprechenden Höhe über der Arktis an, in denen die Temperatur tief genug für die Ausbildung von PSW war.

## Der Sonnenscheinsimulator

### *Ein Gerät zur Simulation unterschiedlicher Tageslichtbedingungen im Labor*

**Helmut Tüg**

Das Eindringen der lebensfeindlichen ultravioletten (UV) Sonnenstrahlung in die Erdatmosphäre wird hauptsächlich durch die die Erde umspannenden schützenden Ozonschicht verhindert. Für Wellenlängen unterhalb von 320 Nanometer nimmt die Absorption des ultravioletten Lichtes durch das Ozon so stark zu, daß von einer spektralen Abbruchkante gesprochen wird. Unterhalb von 280 Nanometer werden auch die anderen Atmosphärgase UV-undurchlässig. Der Wellenlängenbereich zwischen 280 und 320 Nanometer, in dem vor allem das Ozon die ultraviolette Strahlung absorbiert, wird als UV-B-Bereich bezeichnet.

Da der Anteil des UV-B seit Jahrtausenden nur etwa ein Prozent an der Sonneneinstrahlung ausmacht, sind die Organismen evolutionsbedingt nicht an eine höhere Strahlungs-dosis in diesem Wellenlängenbereich angepaßt. Dies hat zur Folge, daß sie mit hoher Empfindlichkeit auf geringfügige Verschiebungen der Abbruchkante reagieren.

Der in den letzten Jahren beobachtete Abbau des stratosphärischen Ozons hat zwangsläufig eine Erhöhung der ultravioletten Sonneneinstrahlung zur Folge. Die Wissenschaftler sind deshalb bemüht, schon jetzt zuverlässige Aussagen über mögliche Auswirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze zu machen.

Im Freiland können solche Untersuchungen nur bedingt durchgeführt werden, weil sich die atmosphärischen Bedingungen ständig ändern, so zum Beispiel Sonnenstand, Wolken, Aerosole, Ozonschicht etc.. Bei der Untersuchung möglicher Auswirkungen auf die marine Nahrungskette kommt noch der Einfluß der Wassersäule mit ihren variierenden optischen Eigenschaften hinzu.

Aus direkten Messungen der aktuellen Sonneneinstrahlung alleine lassen sich nur schwer Vorhersagen über mögliche Auswirkungen machen. Deshalb ist man auf Experimente im Labor angewiesen, bei denen ein Abbau der Ozonschicht unter Beibehaltung der übrigen Strahlungsbedingungen simuliert werden kann.

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

Die Zielvorstellung war, ein Gerät zu entwickeln, mit dem im Labor die Strahlung der Sonne einschließlich ihrer Beeinflussungen durch Atmosphäre und Wassersäule weitgehend simuliert und vor allem konstant gehalten werden kann.

Der daraufhin entwickelte Sonnenscheinsimulator (SONSI) ist in der Abbildung 1 dargestellt. Er wird für Arbeiten an Phytoplankton, Makroalgen und Fischlarven eingesetzt und gestattet es, ein Probenvolumen von etwa einem Liter zu bestrahlen. Mit dem Gerät kann eine Vielzahl natürlicher Lichtverhältnisse nachgeahmt werden. Die Einflüsse von Sonnenstand, Wolken, Aerosole und Ozon in der Erdatmosphäre sowie die Wassertiefe können stufenlos simuliert und ihr Einfluß getrennt untersucht werden.

Das Gerät wurde ursprünglich nur für Untersuchungen im UV-B-Bereich (280 bis 320 Nanometer) entwickelt. Es wird aber inzwischen auch zur Variation der Bestrahlung in den Wellenlängenbereichen UV-A (320 bis 400 Nanometer) und dem Bereich des photosynthetisch aktiven Lichtes (400 bis 700 Nanometer) eingesetzt.

### Gerätebeschreibung

Als Lichtquelle wird eine 400 Watt Metallogenlampe verwendet, die durch Beimischung seltener Erden ein der Sonne verwandtes Spektrum erzeugt. Das Licht dieser Lampe fällt zunächst durch einen variablen, von der Wellenlänge unabhängigen Abschwächer. Er dient zur Simulation von Wolken.

Danach folgen drei hintereinandergeschaltete Flüssigkeitsfilter mit Quarzfenstern und eine Streuscheibe (Diffusorscheibe). Die Filter sind in ihrer Schichtdicke variabel. Sie enthalten wässrige Lösungen aus Kupfersulfat, Kaliumnitrat und Kaliumchromat.

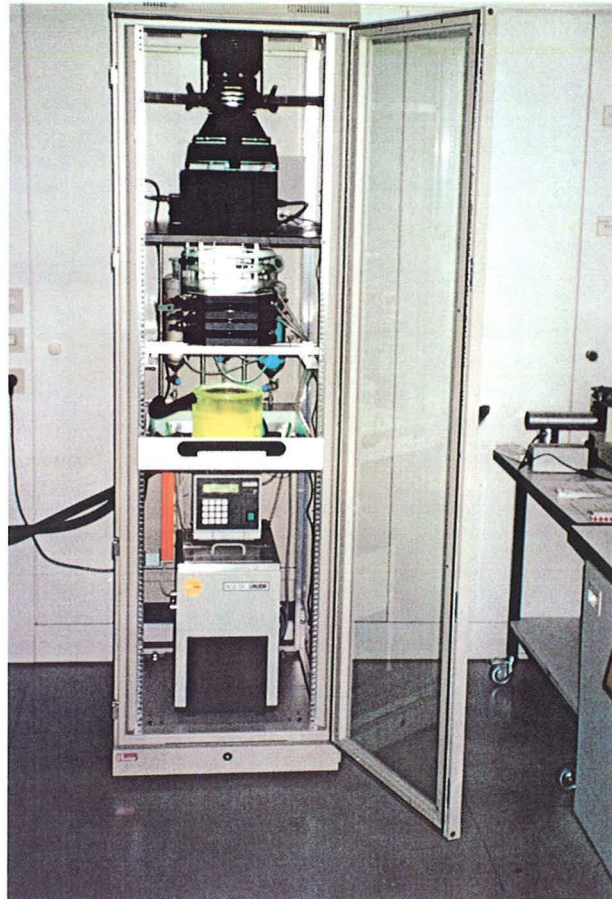


Abb. 1: Sonnenscheinsimulator. Für ein Probenvolumen von 1 Liter können nahezu alle natürlich vorkommenden Strahlungsbedingungen simuliert werden.

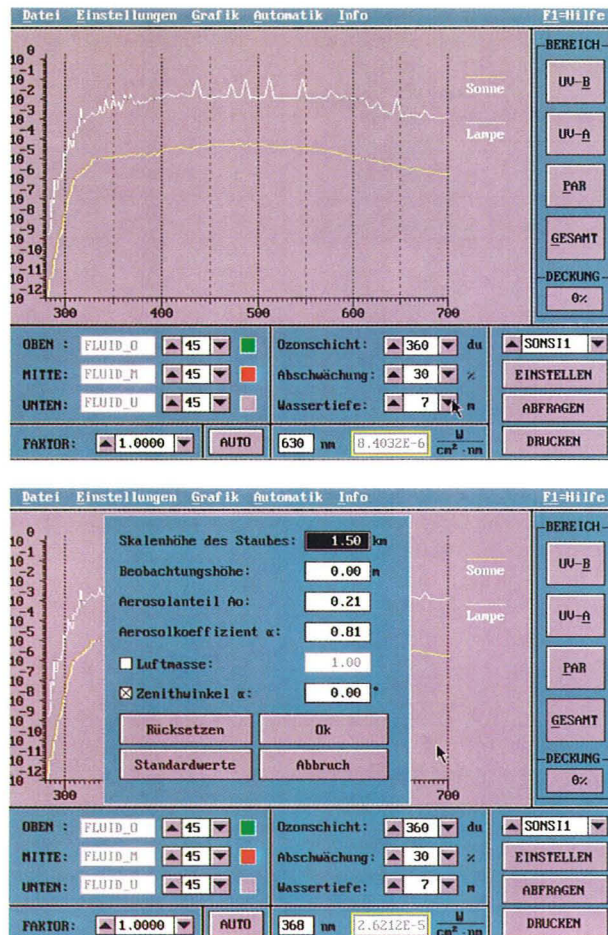


Abb. 2: Menügesteuerte Software des Simulators. Durch Vergleich von Soll- und Istspektrum werden die Simulatoreinstellungen für eine optimale Angleichung an das natürliche Sonnenspektrum ausgerechnet.

Durch Kombination der Schichtdicken beziehungsweise Konzentrationen kann man, bedingt durch die unterschiedliche Absorptionscharakteristik der Flüssigkeiten, das Spektrum der Lampe an die meisten natürlich vorkommenden Strahlungssituationen angleichen. So ist beispielsweise Kupfersulfat gut zur Simulation der ozonbedingten Abbruchkante (cut-off) des Sonnenspektrums im UV-B-Bereich geeignet.

Das doppelwandige Probengefäß kann über einen geregelten Thermostaten auf die gewünschte Wassertemperatur gebracht werden. Das komplette Gerät ist in einem 19"-Schrank mit einer UV-undurchlässigen Fronttür untergebracht. Zur Kalibrierung wird an die Stelle des Probengefäßes ein hochauflösendes Spektralradiometer eingesetzt. Die Strahlungsmessung erfolgt zwischen 280 und 700 Nanometer mit 1,5 Nanometer Auflösung bei einer Dynamik der Bestrahlstärke von 10<sup>6</sup>.

Mit dem Radiometer ist sowohl die natürliche Sonneneinstrahlung als auch die simulierte Sonneneinstrahlung meßbar. Dadurch ist ein Vergleich zwischen künstlicher Lichtquelle und der Sonne jederzeit möglich.

### Software

Die Berechnung der gewünschten Einstellungen des Simulators geschieht mit dem Computer. Sonnen- und Lampenspektrum werden gleichzeitig auf einem Bildschirm dargestellt. Der Benutzer gibt über das Menü (Abb. 2) die gewünschten atmosphärischen Bedingungen, wie beispielsweise Wolkenbedeckung, Sonnenstand etc. ein und legt die Wassertiefe fest.



## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

Das Programm errechnet aus diesen Vorgaben über ein Atmosphärenmodell das Spektrum, welches unter den vorgegebenen Bedingungen am Boden bzw. im Wasser auftreten würde. Als Berechnungsgrundlage dient in dem Modell die Sonneneinstrahlung außerhalb der Erdatmosphäre. Aus diesem Sonnenspektrum (Soll-Spektrum) werden nun die Einstellungen der Filterdicken und des neutralen Abschwächers am Simulator berechnet.

Dazu vergleicht der Rechner das bekannte Lampenspektrum (Ist-Spektrum) mit dem Sollspektrum und verändert solange Filterdicken und die neutrale Abschwächung, bis Sonnen- und Lampenspektrum soweit wie möglich übereinstimmen (Abb. 3). Bei Bedarf können die berechneten Einstellungen auch manuell nachgebessert oder modifiziert werden. Die so gefundenen Einstellungen werden am Bedienteil des Simulators über Kippschalter vorgenommen. Die jeweilige Filterdicke ist dabei auf einer LED-Anzeige abzulesen. Mit einer Steuerelektronik wird in Kürze das Bedienen des Simulators auch vom Computer aus möglich sein.

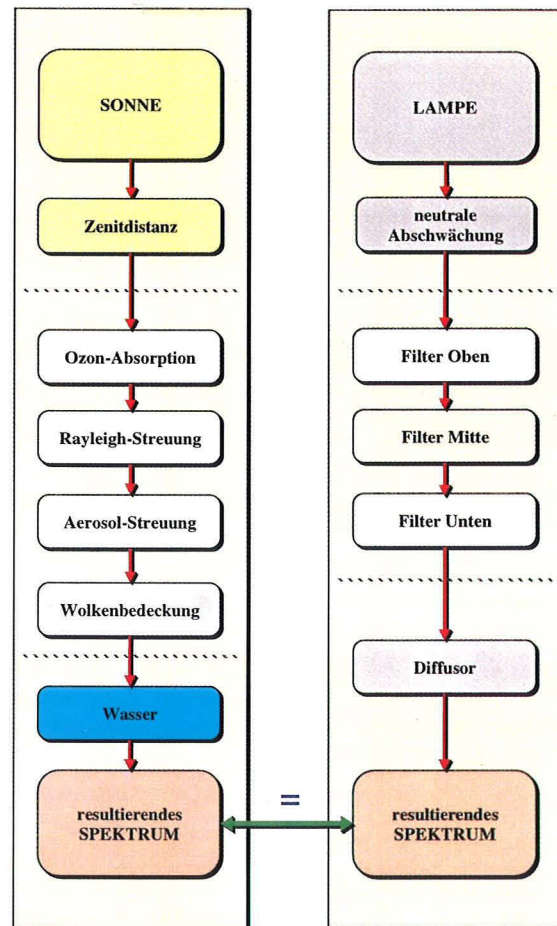


Abb. 3: Modell zur Simulation des Sonnenspektrums.

## *Eisfreie Gebiete im Packeis – Die Nordostwasser-Polynja in der Grönlandsee*

*Gereon Budéus, Wolfgang  
Schneider, Gerhard Kattner,  
Hans-Jürgen Hirche*

### *Der Einfluß ihres Entstehungsprozesses auf die oberste Wasserschicht*

Im Packeis der Arktis gibt es mitunter inmitten völlig eisbedeckter Gebiete auch solche, die aus verschiedenen Gründen eisfrei bleiben, sogenannte Polynjas. Eine regelmäßig im Sommer auftretende Polynja auf dem Schelf Nordostgrönlands erhielt die Bezeichnung Nordostwasser (Abb. 1). Ihre Umgebung ist mit Packeis bedeckt, das vom südwärts fließenden Ostgrönlandstrom mitgeführt wird. Das Nordostwasser war 1993 Gegenstand einer dreimonatigen internationalen und multidisziplinären Untersuchung, an der das AWI mit dem Forschungsschiff „Polarstern“ teilnahm. Die Arbeitsgruppe „Nordostwasser“ untersuchte Nährstoffchemie, Zooplankton sowie Hydrographie des Gebietes, dem bis zu dieser Feldkampagne soviel weniger Interesse als der tieferen Hälfte der Framstraße entgegengebracht wurde, daß selbst die Struktur und Tiefe des Meeresbodens (Bathymetrie) im Untersuchungsgebiet kaum bekannt war.

Dementsprechend lagen zum Entstehungsmechanismus der Polynja, deren regelmäßiges Auftreten gleichwohl durch Fernerkundung belegt war, Konzepte eher spekulativen Charakters vor. Erst durch die Feldkampagne 1993 konnte gezeigt werden, daß das Nordostwasser durch eine spezielle Kombination bathymetrischer, hydrographischer und glaziologischer Faktoren verursacht wird, die auch die Lebensbedingungen im Gebiet der Polynja entscheidend beeinflussen.

#### *Entstehung der Polynja*

Eine wesentliche Voraussetzung für die Bildung der Polynja ist eine küstennahe Strömung, die im Gegensatz zur herkömmlichen Auffassung nicht südwärts, sondern nordwärts gerichtet ist und mittlere Geschwindigkeiten von etwas über 10 cm/s erreicht. Aus etwa 300 hydrographischen Vertikalprofilen, die 1993 gemessen wurden, konnte abgeleitet werden, daß sich diese Strömung bei etwa 80°30' N nach Osten wendet und am Schelfabhang zusammen mit anderen Teilen des Ostgrönlandstroms nach Süden fließt. Hierdurch entsteht eine große antizyklonale

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

(im Uhrzeigersinn orientierte) Wasserbewegung auf dem Schelf.

Mit der küstennahen Strömung wird auch Packeis transportiert, welches im Falle geringer Windgeschwindigkeiten exakt den lokalen Strömungen folgt und daher auch die gesamte Schelfregion bedecken sollte. In den küstennahen Nordstrom hinein ragt nun bei etwa 79° N, am südlichen Ende der Nordostwasser-Polynja, eine Festeisbarriere mit einer Ost-West-Ausdehnung von 60 bis 100 km (vgl. Abb. 1). Ihre durchgängige Existenz ist für die letzte Dekade durch Satellitenbilder belegt. Einzelbeobachtungen geben Hinweise darauf, daß sie bereits seit den dreißiger Jahren besteht. Die große Beständigkeit der Festeisbarriere erklärt sich dadurch, daß sie Fixpunkte nicht nur an der Küste besitzt, sondern außerdem an ihrem östlichen Ende auf Grund liegt. Zwischen der Küste und dem Fixpunkt in der Untiefe im Osten befindet sich ein Graben mit Minimaltiefen von 250 Metern.

Durch diese Konstellation können einerseits die nordwärts fließenden Wassermassen unter der Eisbarriere durchströmen, während andererseits das mittransportierte Packeis zurückgehalten wird (Abb. 2). Stromabwärts (nördlich) der Festeisbarriere bildet sich dadurch ein eisfreies Gebiet, solange die Eisbewegung von der Strömung und nicht durch starke Winde, bestimmt wird und sich kein Neueis bildet. Dieses eisfreie Gebiet nördlich der sogenannten „Norske-Oer-Eis-Barriere“ ist die Nordostwasser genannte Sommerpolynja.

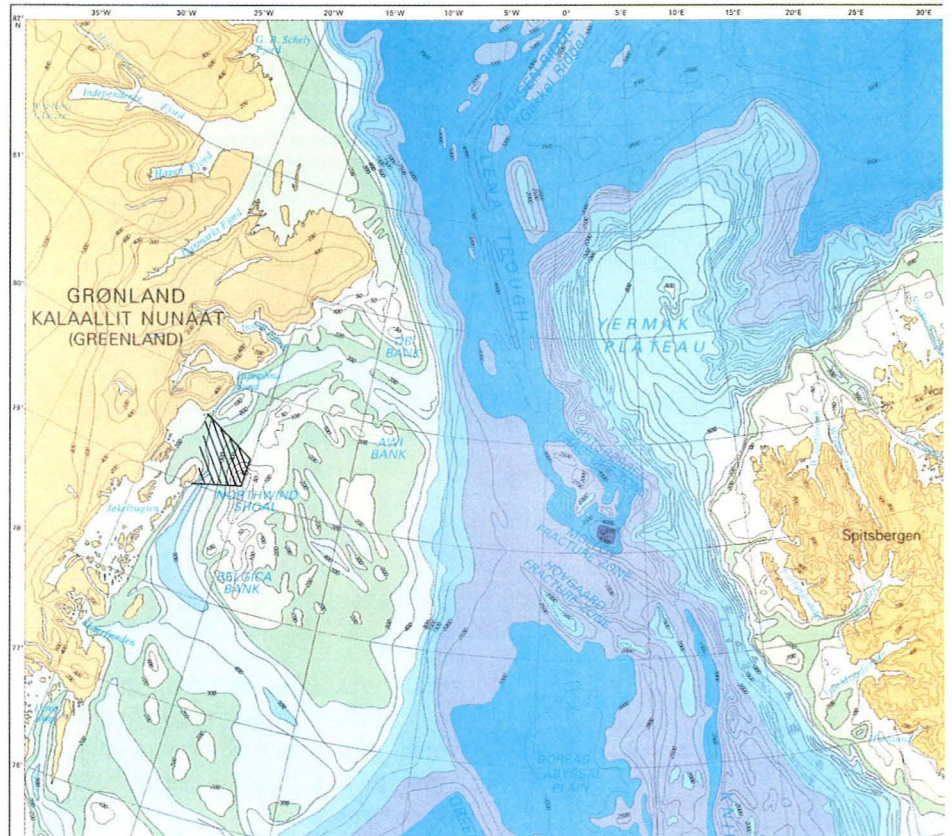


Abb. 1: Bathymetrie der Framstraße und des Ostgrönländischen Schelfs, auf welchem sich die Nordostwasser-Polynja nördlich von etwa 79° N befindet. Das persistente Eisfeld ist schraffiert.

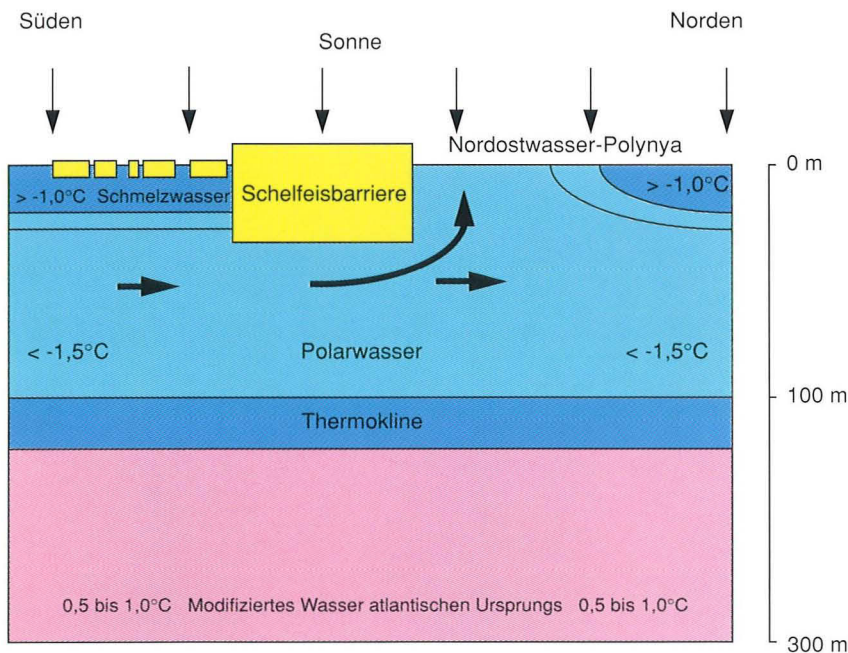


Abb. 2: Konzept zur Entstehung der Polynja: Die Eisbarriere hält Packeis sowie eine Schicht oberflächennahen Schmelzwassers zurück, während darunterliegendes Wasser die Barriere passiert. Nördlich der Eisbarriere entsteht ein eisfreies Gebiet.

reiches Wasser an die Oberfläche. Die Sonneneinstrahlung setzt schon früh vergleichsweise stark ein, weil die Eisbedeckung fehlt. Für das Wachstum von Phytoplankton ist jedoch außerdem auch eine vertikale Stabilität in der Wassersäule erforderlich. Sie wird in der Nordostwasser-Polynja durch den Eintrag von Schmelzwasser erzeugt.

### Lebensbedingungen in der Polynja

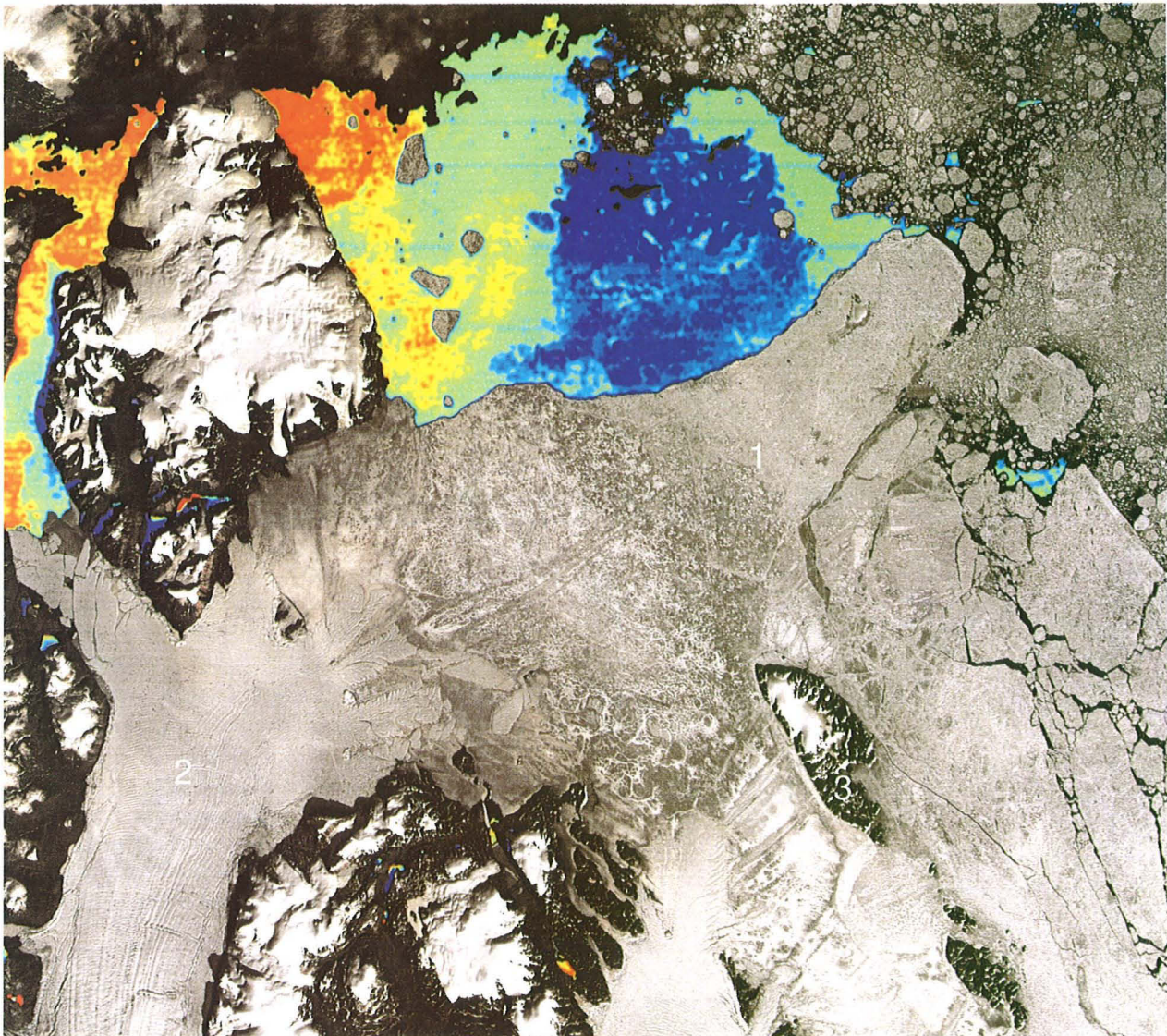
Entgegen ersten Erwartungen stellt die Eisbarriere kein vom im Küstenhintergrund liegenden mächtigen Gletscher 'Nioghalvfjærdsbræen' ausgehendes Schelfeis mit großem Tiefgang dar, sondern besteht in einer Kernzone aus nur etwa 3 m starkem Meereis (Abb. 3). Trotzdem wird durch die Barriere neben den Packeismassen auch eine mehrere Meter starke Oberflächenschicht sommerlichen Schmelzwassers im Süden zurückgehalten, so daß nördlich von ihr kaltes und ungeschichtetes, jedoch nährstoffreiches Wasser an die Oberfläche gelangt.

Dieser Effekt bestimmt maßgeblich die Lebensbedingungen des Planktons in der Polynja: Durch die Entfernung der nährstoffarmen Oberflächenschicht gelangt in der Polynja ständig nährstoff-

Abb. 3: Satellitenbild (Landsat) der Eisbarriere vom 06.09.1993. Temperaturen im Wasser sind farbig (kalt als blau) dargestellt. Die Kernzone (1) der Eisbarriere zeigt wie ein Finger gegen Osten. Man erkennt, daß die Gletscherkante des Gletschers Nioghalvfjærdsbræen (2) noch

westlich der als Fixpunkt dienenden Insel Norske Oer (3) liegt. Die Eisbarriere selbst besteht aus Meereis. Im Wasser erkennt man den Effekt der Eisbarriere an den im Vergleich zur Umgebung kalten Temperaturen nördlich von ihr.

2. Ausgewählte Forschungsthemen



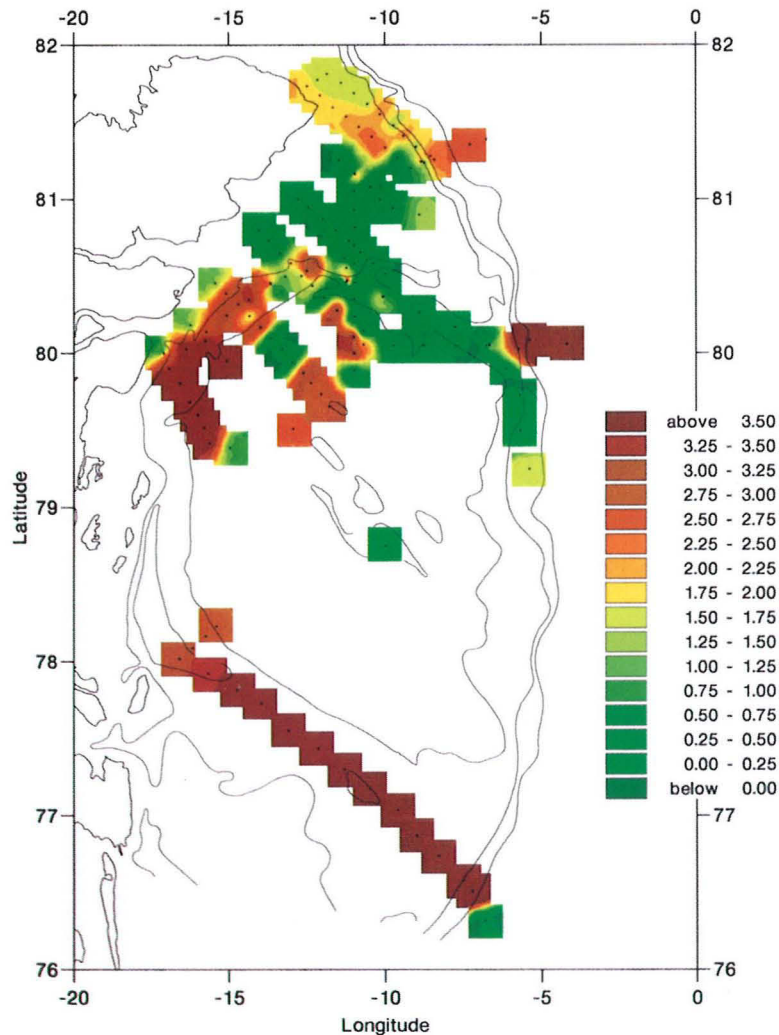


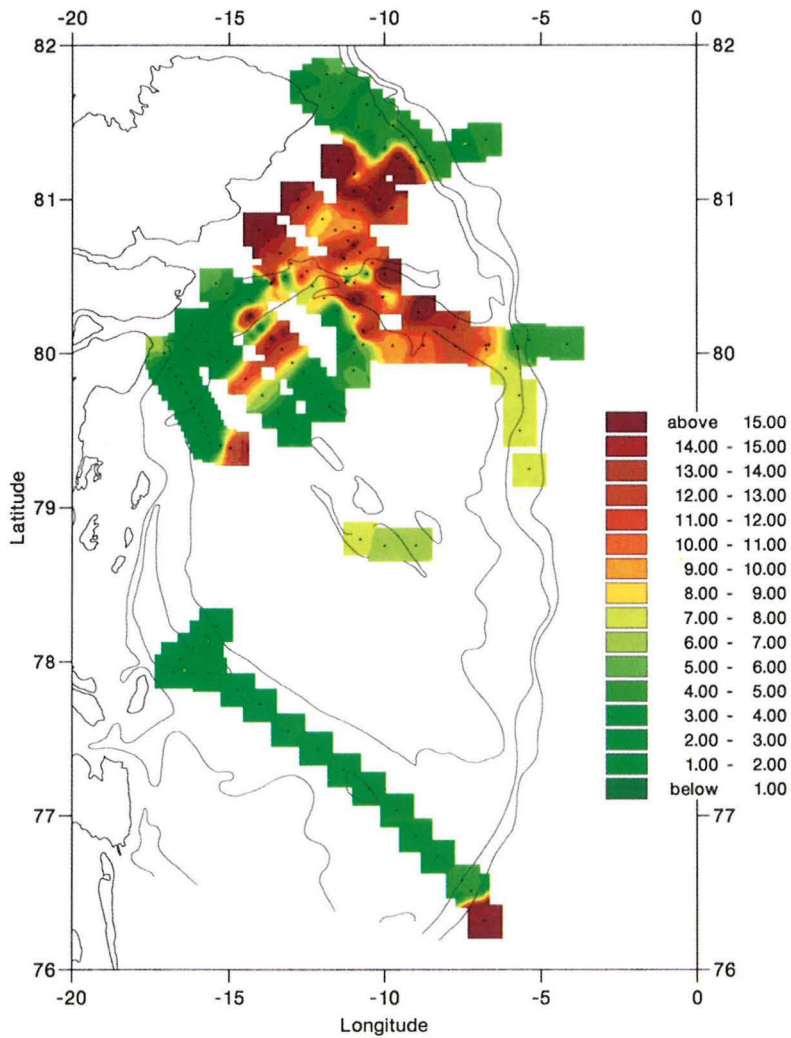
Abb. 4a: Nitratkonzentrationen in der Oberflächenschicht in Mikromol pro Liter. Nährstoffreiches Wasser taucht nördlich der Eisbarriere auf.

Dies erfolgt landseitig durch den Abfluß von Schneeschmelze, seeseitig durch Packeis schmelze. Man erkennt diesen Effekt deutlich in der Abbildung 3. Die durch Sonneneinstrahlung erwärmte Schmelzwasserschicht (rot, gelb und grün) flankiert beidseitig das kalte, ungeschichtete Wasser (blau), welches nördlich der Eisbarriere auftaucht.

Nach Norden hin steigt der Gehalt an vom Festland abfließendem Schmelzwasser, und die Lebensbedingungen für das Plankton verbessern sich aufgrund der erhöhten vertikalen Stabilität in der Wassersäule.

So findet man die höchsten Phytoplanktonkonzentrationen im nördlichen Teil der Polynja bei etwa 81° N (Abb. 4b), wo die Nährstoffe entsprechend ausgezehrt sind (Abb. 4a). Die Wassermassen, die die Eisbarriere von Süden her unterströmen, liefern aber ständig Nachschub. Den Einfluß der durch Eisbedeckung reduzierten Sonneneinstrahlung auf das Planktonwachstum kann man auch an der scharfen nördlichen Grenze des planktonreichen Polynjagebietes erkennen: Die nördlichsten Stationen der Expedition weisen trotz vorhandener Nährstoffe sehr geringe Konzentrationen von Phytoplankton auf.

2. Ausgewählte Forschungsthemen



Hydrographisch ist bemerkenswert, daß die hier ausschließlich behandelte obere Wasserschicht mit Mächtigkeiten zwischen 70 und 150 Metern einem lokalen Bildungsprozeß unterliegt und nicht direkt aus dem polaren arktischen Becken importiert wurde. Indikatoren für dieses Resultat finden sich sowohl in den physikalischen als auch in den chemischen Daten.

Abb. 4b: Chlorophyllfluoreszenz (relative Einheiten) in der Oberflächenschicht als Maß für die Phytoplanktonkonzentration. Die höchsten Konzentrationen findet man im nördlichen Teil der Polynja, während im ungeschichteten Wasser nördlich der Eisbarriere und im eisbedeckten Gebiet der nördlichsten Stationen trotz ausreichender Nährstoffe nur geringe Konzentrationen zu finden sind.

## *Der Austausch von Tiefenwasser über die untermeerischen Schwellen zwischen Grönland und Schottland*

*Aike Beckmann, Ralf Döscher*

Die thermohaline Zirkulation im Ozean wird durch das Absinken kalten Wassers in hohen Breiten angetrieben. Zu der beobachteten weltumspannenden Tiefenströmung kommt es aber nur dadurch, daß untermeerische Schwellen, welche die Tiefseebecken voneinander trennen, überströmt werden. Damit kommt den physikalischen Prozessen in Meerengen und Meeresstraßen eine wesentliche Bedeutung für die Rolle des Ozeans im Klimasystem zu.

Das untermeerische Schwellensystem zwischen Grönland und Schottland stellt ein komplexes Nebeneinander von Rücken, Senken und Rinnen dar, in dem es zu einem quasi-stationären Transfer von Tiefenwasser mit eindeutig identifizierbaren Wassermasseneigenschaften kommt. Von hier aus beginnt das Nordatlantische Tiefenwasser (NADW) seinen Weg in Richtung Äquator. Die numerische Modellierung dieses klimarelevanten Prozesses hat sich leider als schwierig erwiesen. Zum einen wird die Überströmung von Schwellen qualitativ und quantitativ von sehr kleinskaliger Topographie bestimmt. Überdies sind die für ein Überströmen notwendigen dynamischen Verhältnisse entweder nur in Ansätzen bekannt (Reibungsprozesse) oder schwer zu erfassen (Nichtlinearität, hydraulische Kontrolle).

Heutige Standard-Ozeanmodelle unterschätzen daher den Austausch zwischen den Becken des Nordmeeres und des Atlantik. Besondere Maßnahmen sind erforderlich, um die Modellergebnisse den Beobachtungen stärker anzugleichen. Dabei ist für Klimastudien zu beachten, daß nicht nur die aktuelle Situation adäquat beschrieben wird, sondern auch die Simulation zeitlicher Variationen möglich bleibt.

Einer unserer konzeptionellen Ansätze basiert auf einer transformierten Vertikalkoordinate, die der geneigten Topographie nicht stufenartig (wie in den weithin verwendeten z-Koordinaten), sondern kontinuierlich folgt. In einem relativ einfachen Zwei-Schichten-Modell mit sehr dünner unterer Schicht werden physikalische Prozesse in Bodennähe gesondert erfaßt; die Ausbreitung von Wassermassen über Schwellen hinweg kann auf diese Weise leichter parametrisiert werden.

Durch Kopplung dieses Modells mit unserem Standardmodell werden die Effekte einer Bodengrenzschicht auch im z-Koordinaten-Modell berücksichtigt. Für



## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

die Anwendung dieses Konzeptes in einem grobauflösenden Modell spielt die Advektion eine untergeordnete Rolle. Es ist aber andererseits eine spezielle diffusive Parametrisierung von „Overflow“ notwendig, um deutliche Effekte zu erzielen. Dabei wird in der Bodenschicht nur dann vermischt, wenn sich in benachbarten Gitterboxen dichteres Wasser über leichterem befindet.

Die Auswirkungen einer solchen Parametrisierung von Konvektion über einem geneigten Boden („slope convection“) innerhalb des Modells der Bodengrenzschicht soll hier anhand einer relativ einfachen, nicht-wirbelaflösenden ( $2 \times 2$  Grad) Simulation der nordatlantischen Zirkulation gezeigt werden. Das Modellgebiet reicht vom Äquator bis 80 Grad Nord und ist vertikal in 28 Schichten variabler Dicke (50 – 300 m) unterteilt.

Verschiedene Versionen dieses Modells mit und ohne Bodengrenzschichtmodell wurden für jeweils zehn Jahre integriert, bis ein quasi-stationärer Zustand erreicht war. Zur Veranschaulichung der Überstömung der Grönland-Island-Schottland-Schwellen im Modell dient ein künstlicher passiver Spurenstoff, der die Ausbreitung von Wasser arktischer Herkunft anzeigt. Die Abbildung 1a zeigt die Verteilung dieses Spurenstoffs auf einem meridionalen Schnitt bei  $31^\circ$  W ohne Bodengrenzschichtmodell. Der Einfluß von Wasser arktischer Herkunft bleibt auf die oberen 2.500 m Wassersäule beschränkt, obwohl das überströmende Wasser sich aufgrund seiner Dichte in etwa 3.000 m Tiefe einschichten sollte. Statt dessen erfolgt die Ausbreitung weitgehend horizontal ins Innere des Nordatlantik mit maximalen Konzentrationen zwischen 1.000 und 2.000 m Tiefe. Die Abbildung 1b zeigt die Tracerverteilung im gekoppelten Modell, um der besseren Vergleichbarkeit willen wurde das Gitter des Standardmodells beibehalten. Aufgrund des Bodengrenzschichtmodells treten außerhalb der Schwellenregion Veränderungen im gesamten Tiefenbereich auf: während die Konzentration in mittleren Tiefen deutlich reduziert ist, findet man nun einen keilförmigen Einschub höherer Konzentration am Boden. Das Bodenwasser stammt zu 35 % aus dem Arktischen Ozean.

In ähnlicher Weise breiten sich auch die Temperatur und Salz in Bodennähe über die Schwelle hinweg in das Nordatlantische Becken aus. Durch die lokalen Dichteänderungen erhöht sich der horizontale Massentransport im subpolaren Wirbel um etwa 20 %, ebenso verstärkt sich die großräumige meridionale Umwälzbewegung um etwa diese Größenordnung, beides in besserer Übereinstimmung mit Beobachtungen.

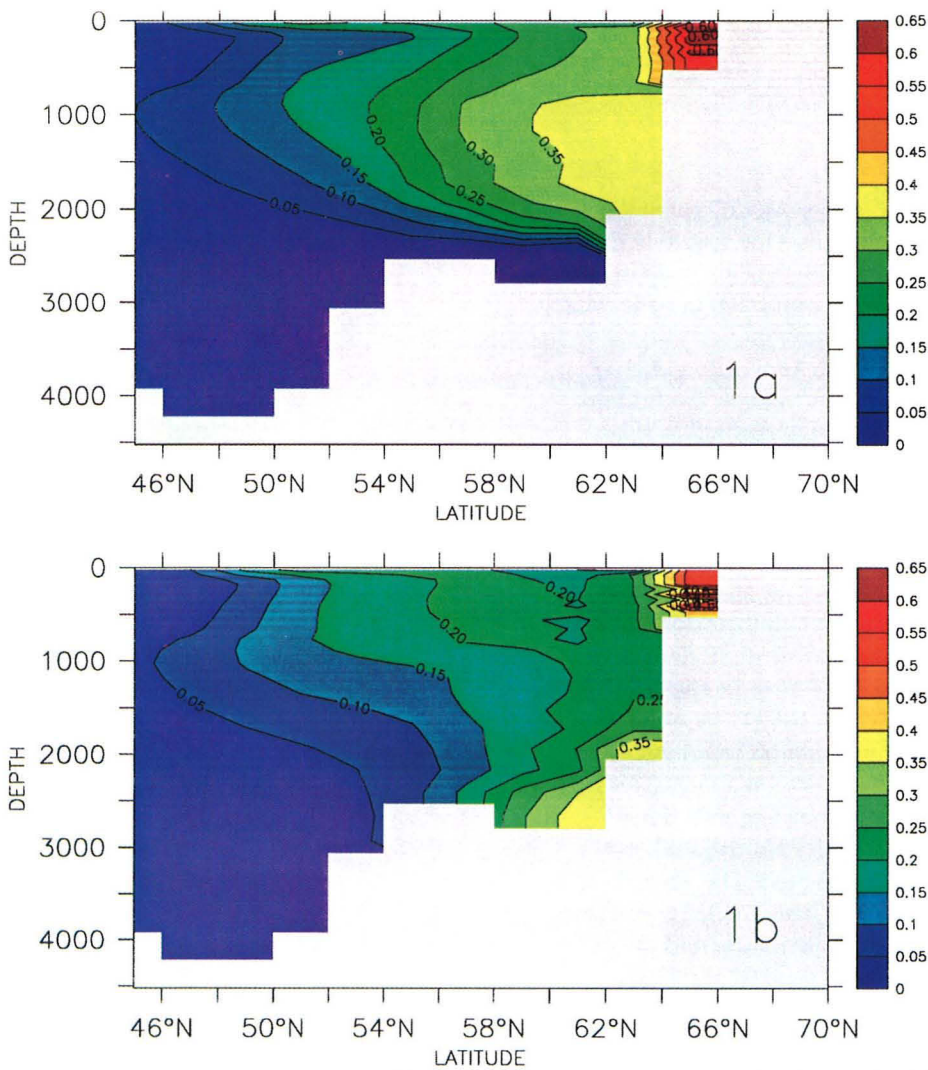


Abbildung 1: Verteilung eines künstlichen passiven Spurenstoffs auf einem Meridional-schnitt bei 31° W in einer nicht-wirbelauflösenden Simulation der nordatlantischen Zirkulation. Der Tracer zeigt die Ausbreitung von

Wasser arktischer Herkunft im Nordatlantik nach 10 Jahren Modellintegration an. Nördlich der Grönland-Island-Schottland Schwellen wird die Tracerkonzentration 1 vorgeschrieben.

Für das hier benutzte grobauflösende und sehr diffusive Ozean-Modell ist die Kopplung mit dem Bodengrenzschichtmodell eine kostengünstige und effektive Methode zur Verbesserung der thermohalinen Komponente der Zirkulation. Nach Abschluß einer eingehenden Testphase soll dieses Verfahren in ein globales Modell der windgetriebenen und thermohalinen Zirkulation (einschließlich Kohlenstoffkreislauf) eingebaut werden.

(a) Standardfall: nach der Überströmung des Schwellensystems vermischen sich die arktischen mit den nordatlantischen Wassermassen und schichten sich gemäß ihrer Dichte ein. Konzentrationen von bis zu 65 % findet man in unmittelbarer Nähe der Schwellen; eine Zunge mit etwa 30 % Traceranteil breitet sich oberhalb von 2.000 m Tiefe am Kontinentalhang entlang nach Süden aus.

(b) Modelllauf mit gekoppeltem Bodenreibungsschichtmodell: Wie erwartet, ist die Konzentration des arktischen Tracers insbesondere in Bodennähe deutlich höher, in besserer Übereinstimmung mit Beobachtungen.

## Die großräumige Verteilung des anorganischen Kohlenstoffs im atlantischen Sektor der Antarktis

Mario Hoppema, Eberhard  
Fahrbach

### Alter und Wege der Wassermassen im Weddellmeer

Anorganischer Kohlenstoff kommt im Ozean hauptsächlich in ionischer Form vor, insbesondere als Bikarbonat und Karbonat, und zu einem sehr kleinen Teil als gelöstes Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ). Die Konzentration des gesamten anorganischen Kohlenstoffs, genannt  $\text{TCO}_2$ , unterliegt relativ geringen räumlichen und zeitlichen Variationen, die aber mit der relativ neuen und hochgenauen Meßmethode der Coulometrie erfaßt werden können. Entscheidend für den Austausch von  $\text{CO}_2$  zwischen Atmosphäre und Ozean ist der Partialdruck des gelösten  $\text{CO}_2$  in der ozeanischen Deckschicht. Nur wenn diese relativ zur Atmosphäre untersättigt ist, kann  $\text{CO}_2$  durch Lösung im Wasser aufgenommen werden. Intensive Photosynthese führt zu einer  $\text{CO}_2$ -Untersättigung. Auftrieb von  $\text{CO}_2$ -reichem Tiefenwasser kann zu Übersättigung führen. Aus der Deckschicht kann  $\text{CO}_2$  durch die sogenannte Kohlenstoffpumpe in tiefere Schichten transportiert werden. Dies erfolgt entweder durch Wassermassentransport oder durch Sinkstofffluß von kohlenstoffhaltigem Material (Kalkschalen oder organischer Kohlenstoff). Da der Ozean nicht gesättigt ist, kann er erhebliche Mengen an  $\text{CO}_2$  aufnehmen und ist in der Lage, der Atmosphäre einen Teil des durch menschliche Aktivität zugeführten  $\text{CO}_2$  zu entziehen.

Der Vertikalschnitt durch den Antarktischen Zirkumpolarstrom gibt die großräumige Verteilung des  $\text{TCO}_2$  im atlantischen Sektor des Südpolarmeeres wieder (Abb. 1 und 2). In der ca. 100 m dicken Oberflächenschicht ist die  $\text{TCO}_2$ -Konzentration infolge der dort hohen biologischen Aktivität am niedrigsten. Nördlich von  $50^\circ\text{S}$  sinkt das Oberflächenwasser als Subantarktisches Zwischenwasser ab, so daß die geringen  $\text{TCO}_2$ -Konzentrationen des Oberflächenwassers bis in 1.000 m Tiefe mitgeführt werden. Zwischen dem Subantarktischen Zwischenwasser und dem Nordatlantischen Tiefenwasser in 2.500 bis 3.000 m Tiefe ist Oberes Zirkumpolares Tiefenwasser mit relativ hohen  $\text{TCO}_2$ -Konzentrationen eingeschichtet (1.500 m). Diese Struktur ist eine Folge des unterschiedlichen Alters der beiden Wasserkörper, d. h. des Zeitraums seit ihrem letzten Kontakt mit der Atmosphäre. Die

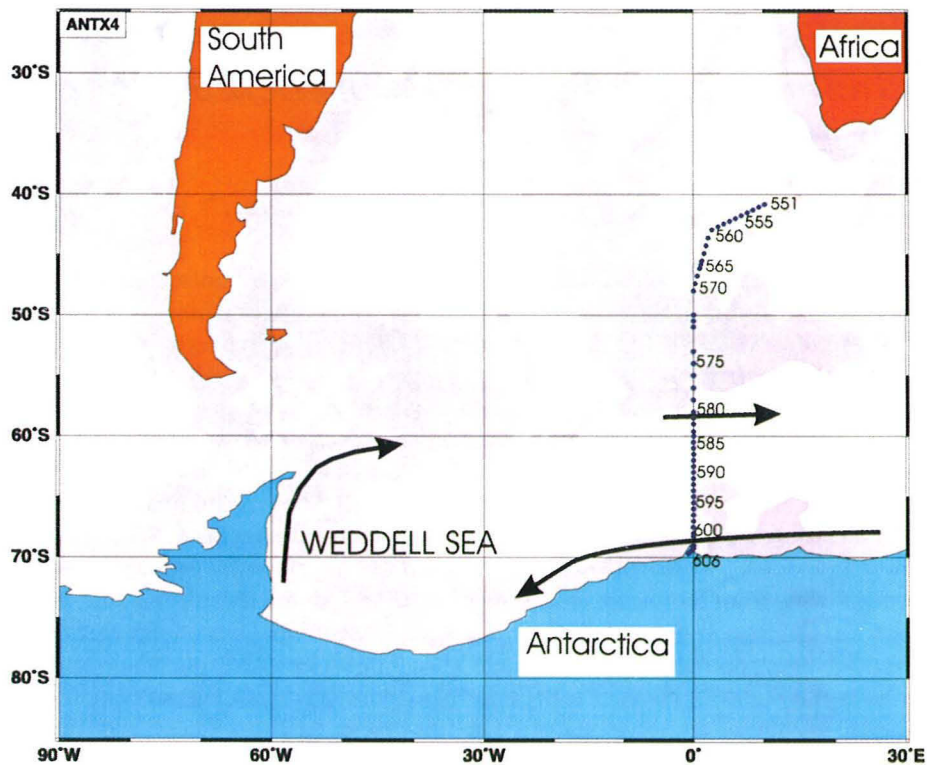


Abb. 1: Karte des atlantischen Sektors der Antarktis mit der Lage der Messungen. Die Zirkulation des Weddellwirbels ist schematisch mit Pfeilen dargestellt.

lung wird durch relativ junges Bodenwasser hervorgerufen, das durch einen Eintrag von Oberflächenwasser mit einer niedrigen TCO<sub>2</sub>-Konzentration im südlichen Weddellmeer entstanden ist. Die Reduktion der TCO<sub>2</sub>-Konzentration ist noch bis in das Niveau des Weddellmeer-Tiefenwassers festzustellen, das zwischen dem Bodenwasser und dem Warmen Tiefenwasser zu finden ist. Das Warme Tiefenwasser leitet sich von Zirkumpolarem Tiefenwasser ab, das im östlichen Weddellmeer aus dem Zirkumpolarstrom einströmt und mit dem großräumigen zyklonalen Wirbel durch das Weddellmeer zirkuliert. In diesem Strömungssystem bewegen sich die Wassermassen entlang der antarktischen Küste nach Westen bis zur Antarktischen Halbinsel, an deren Küste sie zuerst nach Norden und dann nach Osten

TCO<sub>2</sub>-Konzentration einer tiefen Wassermasse nimmt durch Mineralisation von abgesunkenem organischen Material mit der Zeit zu. Demnach ist das Obere Zirkumpolare Tiefenwasser, das seinen Ursprung weitgehend im Pazifischen und Indischen Ozean hat, älter als das Nordatlantische Tiefenwasser. Durch seinen Einfluß nimmt die TCO<sub>2</sub>-Konzentration im Antarktischen Zirkumpolarstrom nach Süden zu.

Im Weddellmeer, südlich von 55° S, wird, abgesehen von der oberflächenschicht, die niedrigste TCO<sub>2</sub>-Konzentration in Bodennähe gefunden. Diese Verteilung

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

zurückschwenken. Dies hat zur Folge, daß die  $\text{TCO}_2$ -Konzentration auf dem meridionalen Vertikalschnitt durch das östliche Weddellmeer (Abb. 2) im Niveau des Bodenwassers von Süden nach Norden abnimmt, da im Westen zunehmend neu gebildetes Bodenwasser zugemischt und im nördlichen Arm des Weddellwirbels nach Osten geführt wird. Ferner kann anhand der  $\text{TCO}_2$ -Konzentration jüngerer, vor relativ kurzer Zeit aus dem Zirkumpolarstrom eingeströmtes Warmes Tiefenwasser im Süden, von älterem weiter nördlich unterschieden werden. Im letzteren ist die  $\text{TCO}_2$ -Konzentration durch Abbau von organischem Material erkennbar angestiegen. Während die obere Grenze des Warmen Tiefenwassers als Temperaturmaximum erkennbar ist (Abb. 3), läßt sich die Untergrenze besser anhand eines Maximums der  $\text{TCO}_2$ -Konzentration identifizieren. Dies entsteht durch unterschiedliche Schichtung im Zirkumpolaren Tiefenwasser und dem darunterliegenden Wasser des Weddellmeeres. Nordatlantisches und Weddellmeer-Tiefenwasser überschichten sich mit entgegengesetzten Vertikalgradienten, was zu einem Maximum in der Übergangszone führt (Abb. 3). Das tiefe  $\text{TCO}_2$ -Maximum erlaubt, die Ausbreitung des Warmen Tiefenwassers durch das Weddellmeer zu verfolgen. Im Inneren des Weddellmeeres wird Warmes Tiefenwasser in die Oberflächenschicht eingemischt, wodurch dort  $\text{TCO}_2$  angereichert wird. Andererseits führt die Primärproduktion zur

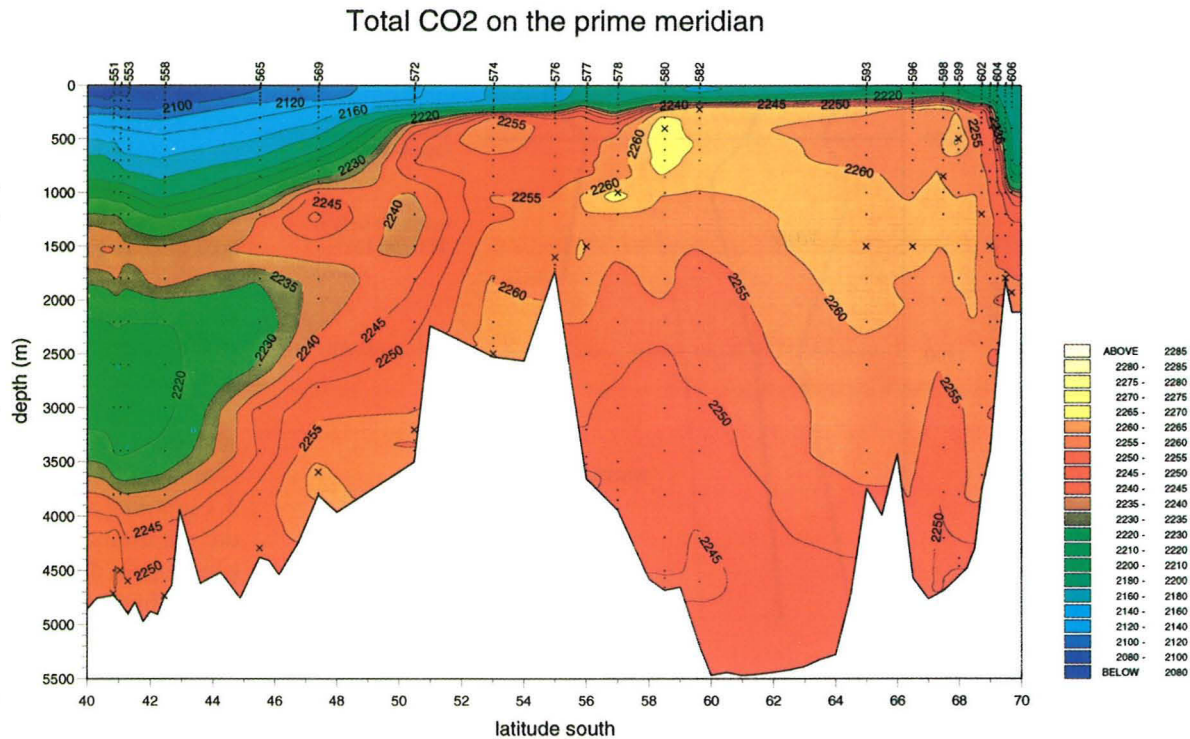


Abb. 2: Vertikalschnitt des Gesamt- $\text{CO}_2$  ( $\text{TCO}_2$ ) entlang des Meridians von Greenwich durch das östliche Weddellmeer.

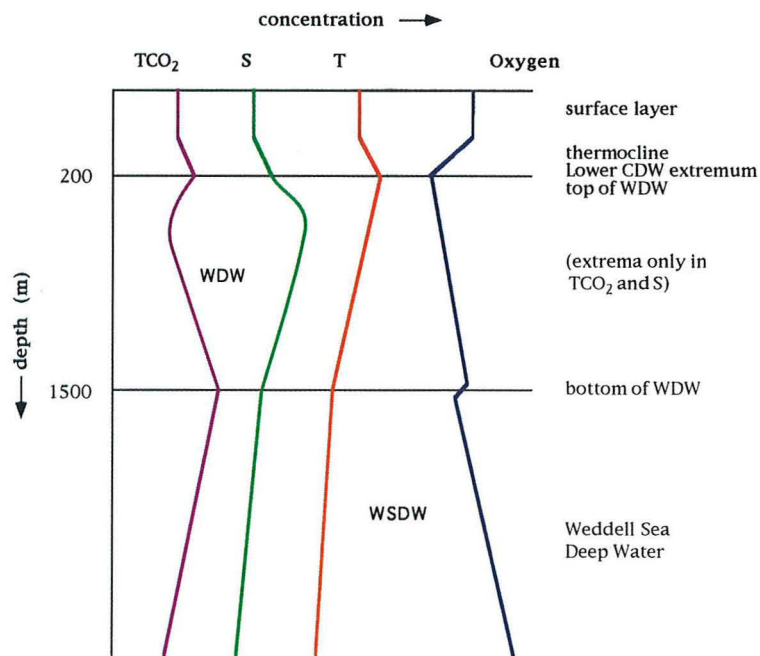


Abb. 3: Schematische Darstellung der Vertikalprofile von  $\text{TCO}_2$ , Salzgehalt, Temperatur und gelöstem Sauerstoff im Weddellmeer bei  $63\text{-}68^\circ\text{S}$ , welche die Entstehung der unterschiedlichen Strukturen an der Untergrenze des Warmen Tiefenwassers verdeutlichen sollen.  
 WDW: Warmes Tiefenwasser;  
 WSDW: Weddellmeer Tiefenwasser.

Abnahme der Konzentration. Diese Prozesse verursachen Konzentrationsunterschiede zwischen Ozean und Atmosphäre, die durch den  $\text{CO}_2$ -Austausch ausgeglichen werden. Im Winter ist dieser infolge der Eisbedeckung stark reduziert. Daten aus dem zentralen Weddellmeer zeigen eine Abnahme der  $\text{TCO}_2$ -Konzentration in der Deckschicht um  $2,3 \mu\text{mol/kg}$  vom Winter zum Sommer. Aus modellhaften, durch Messungen gestützte Rechnungen läßt sich ableiten, daß Auftrieb eine Zunahme der  $\text{TCO}_2$ -Konzentration der Deckschicht von  $8,5 \mu\text{mol/kg}$  bewirkt und daß durch biologische Aktivität  $13,9 \mu\text{mol/kg}$  entzogen werden. Demnach müßte der Ozean nach dem Winter  $3,1 \mu\text{mol/kg}$  aus der Atmosphäre aufnehmen, um die Bilanz zu schließen. Diese Überlegungen zeigen, daß die Primärproduktion in der Deckschicht für den Austausch zwischen Wasser und Luft im Weddellmeer eine entscheidende Rolle spielt, obwohl dieses Seegebiet mit  $16\text{-}38 \text{ g Kohlenstoff pro Quadratmeter pro Jahr}$  nur eine vergleichsweise geringe Primärproduktion aufweist.

## Modellierung der Ozeanzirkulation unter dem Filchner-Ronne-Schelfeis

Jürgen Determann, Rüdiger Gerdes, Klaus Grosfeld

### Die Umlagerung von Eis treibt die Meereszirkulation an

Der antarktische Kontinent ist von einem bis zu 4.000 m mächtigen Eisschild bedeckt. Vom Landesinneren fließt das Eis beständig zum Meer hin. Dort bricht es nicht gleich ab, sondern schwimmt als sogenanntes Schelfeis auf dem Wasser. Wenn genug Eis ins Meer strömt, können sich riesige Buchten mit Eis füllen, wie beim 470.000 qkm großen Filchner-Ronne-Schelfeis, dem zweitgrößten Schelfeis der Antarktis. Am Übergang zum Festland, der Aufsetzlinie, ist das Schelfeis 1.500 m dick. Zum offenen Ozean hin wird es immer dünner. An der Schelfeiskante mißt es nur noch 200 m.

Das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Schelfeis und Ozean ist für Glaziologen und Ozeanographen gleichermaßen von Bedeutung. Der Nachweis einer bis zu 350 m mächtigen Schicht marin gebildeten Eises unter dem Filchner-Ronne-Schelfeis deutet auf umfangreiches Anfrieren an der Schelfeisunterseite hin (siehe folgender Beitrag von Oerter et al.). Daß es außerdem zu hohen Schmelzraten kommt, belegen glaziologische Feldmessungen und ozeanographische Beobachtungen vor der Schelfeiskante. Hier zeugen niedrigere Wassertemperaturen als  $-1,9^{\circ}\text{C}$ , dem Gefrierpunkt von Meerwasser unter Atmosphärendruck, davon, daß Schmelzprozesse in großen Tiefen zur Bildung kalter, schwerer Wassermassen beitragen. Diese gelten als eine Quelle für das Weddellmeer-Bodenwasser, das als Komponente des Antarktischen Bodenwassers weltweit große Teile der Tiefsee ausfüllt.

Anfrieren und Schmelzen verändern die Massenbilanz und die Fließeigenschaften eines Schelfeises. Seine Ausdehnung und seine Dynamik beeinflussen die Lage der Übergangszone vom Schelfeis zum Eisschild. Die Lage der Aufsetzlinie ergibt sich durch ein Gleichgewicht zwischen Eisschild, Schelfeis und Ozean. Verändert sich eine der drei Komponenten, so wirkt sich das auch auf die anderen beiden aus. Das Volumen des antarktischen Inlandeises hängt also auch vom Zustand des Schelfeises ab. Indirekt kann das schwimmende Schelfeis somit zu Meeresspiegeländerungen beitragen.

Das Meer unter dem Filchner-Ronne-Schelfeis ist für Messungen nur schwer zugänglich. Um die Prozesse unterhalb des Eises dennoch verstehen zu können, sind Modellsimulationen sinnvoll und notwendig. Die komplexe Topographie des Meeresbodens und die räumliche Variation der hydrographischen Randbedingungen erfordern ein Modell mit hoher räumlicher Auflösung. Das Modell muß auch den ablenkenden Effekt der Erdrotation berücksichtigen.

Das von uns entwickelte dreidimensionale Ozeanmodell wird in dieser Anwendung lediglich durch horizontale Dichteunterschiede angetrieben. Sie entstehen durch die Temperatur- und Salzgehaltsverteilung. Aus Temperaturunterschieden zwischen der obersten Meeresschicht und dem Schmelzpunkt an der Eisunterseite lassen sich Schmelz- und Anfrierraten diagnostizieren. Der Schmelzpunkt nimmt mit zunehmendem Druck ab. Schmelzen und Anfriern verändern Temperaturen und Salzgehalt des Ozeans und erzeugen horizontale Dichteunterschiede.

Ausgehend von einem ruhenden Ozean und vorgegebenen Temperaturen und Salzgehalten, erreicht das Modell nach etwa zehn Jahren Simulationszeit einen Gleichgewichtszustand. Die zugehörigen Schmelz- und Anfrierraten (Abb. 1) stimmen mit glaziologischen Beobachtungen überein. Als antreibendes Moment der Ozeanzirkulation wirkt die sogenannte Eispumpe, eine selbständige Umlagerung von Eis aus großen in kleinere Tiefen. Dieser Vorgang erhält sich selbst, wenn die Schelfeisunterseite stark geneigt ist. In großen Tiefen schmilzt salzfreies Schelfeis, wodurch das Meer einen Frischwasserzutrag erhält. Die Wärme für das Schmelzen wird dem Meer entzogen, dessen obere Schicht sich auf den Schmelzpunkt abkühlt. Die gleichzeitige Abnahme des Salzgehaltes bewirkt aber insgesamt eine Dichteabnahme, so daß das Wasser in flachere Bereiche aufsteigt. Dort ist der Druck geringer, das Wasser kann Eiskristalle bilden, die sich an der Schelfeisunterseite anlagern. Die Schmelzwärme, die frei wird, bleibt im Wasser. Das Salz friert nicht mit ein, so daß Salzgehalt und Dichte im Wasser ansteigen. Infolge der Dichtezunahme sinkt das Wasser ab und strömt in tiefere Bereiche zurück, wo die neugewonnene Schmelzwärme den Vorgang fortführen kann.

Die dreidimensionalen Simulationen machen insbesondere deutlich, daß die Wassertiefen unter dem Schelfeis die Strömungsrichtung des Wassers und die Lage der Schmelz- und Anfriergebiete bestimmen. Ein zentrales Ergebnis der Modellrechnungen ist, daß in Becken zyklonale (im Uhrzeigersinn drehende) Zirkulationsmuster vorherrschen, während Inseln antizyklonal umströmt werden (Abb. 2). Unter



## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

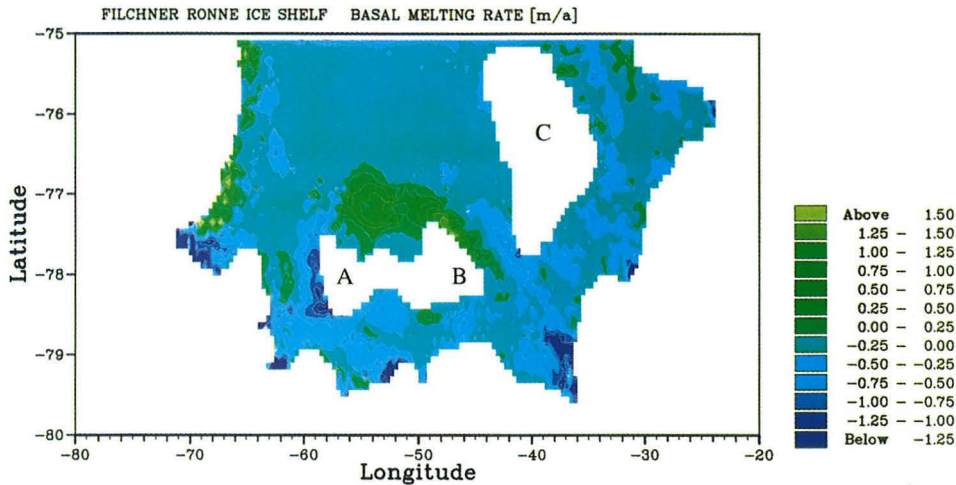


Abb. 1: Schmelzen (blau) und Anfrieren (gelb) in Metern pro Jahr nach einer Simulationszeit von 18 Jahren. Lokale glaziologische Beobachtungen werden durch die Modellergebnisse sehr gut wiedergegeben.

So wird die Eisbildung im zentralen und westlichen Ronne-Schelfeis gut vorhergesagt. Die größten Schmelzraten treten dort auf, wo die bis zu 1.500 m mächtigen (Gletscher)-Eisströme in das Schelfeis münden.

A: Berkner Island, B: Henry Ice Rise, C: Korff Ice Rise

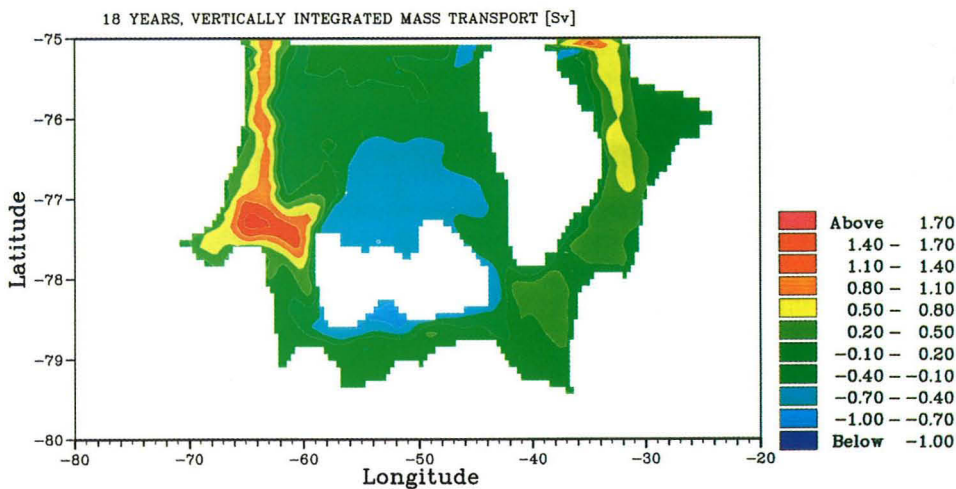


Abb. 2: Stärke der Meeresströmung in Sverdrup ( $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Dort, wo unter dem Eis Becken mit größerer Wassertiefe liegen, bilden sich zyklonale Wirbel aus (rot). Eisinseln (B,C) werden antizyklonal umströmt (blau). Die Zirkulation sorgt dafür, daß die Wassermassen lange unter dem Schelfeis verweilen. Veränderungen im offenen Meer spürt dieses Gebiet nur abgeschwächt.

dem Schelfeis baut sich ein relativ abgeschlossener Bereich auf, der gegenüber Störungen der hydrographischen Randbedingungen weniger empfindlich ist, als Szenarienrechnungen mit einfacheren Modellen bisher vermuten ließen. Trotzdem kommt es zu einem Wärmeaustausch mit dem offenen Meer, wodurch pro Jahr etwa 30-50 Kubikkilometer Schelfeis schmelzen.

## Das Filchner-Ronne-Schelfeis-Projekt (FRISP)

*Hans Oerter, Christoph  
Mayer, Ludwig Hempel,  
Astrid Lambrecht,  
Uwe Nixdorf*

### *Untersuchungen über die Dynamik des größten Schelfeises der Antarktis*

Die Arbeiten des Alfred-Wegener-Instituts auf dem Filchner-Ronne-Schelfeis sind eingebunden in das internationale, von SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research) 1983 initiierte Filchner Ronne Ice Shelf Programme (FRISP). Gleichzeitig werden sie in enger Kooperation und Abstimmung mit Gruppen der Universitäten Heidelberg, Münster, Braunschweig und Cottbus sowie dem Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt/M. und Leipzig (IfAG), und dem GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, München (GSF), durchgeführt. Eine enge Zusammenarbeit besteht auch mit dem British Antarctic Survey (BAS).

Die übergeordnete Thematik dieses Programms sind der Massenhaushalt und die Dynamik des Filchner-Ronne-Schelfeises, des mit 470.000 km<sup>2</sup> und einer mittleren Dicke von 650 m volumenmäßig größten Schelfeises der Antarktis. Schelfeise entstehen durch den Abfluß von Inlandeis in das Meer. Sie schwimmen auf dem Meer und erhalten weiterhin Eisnachschub aus dem Inlandeis. An ihrer Oberfläche werden sie zusätzlich durch Niederschlag in Form von Schnee gespeist. An der Unterseite der Schelfeise gibt es Bereiche, in denen sich marines Eis anlagert, das im Meer unter dem Schelfeis ausfriert. An anderen Stellen wiederum, nahe der Schelfeiskante und im Übergangsbereich vom Inlandeis zum Schelfeis, schmilzt das Eis im Kontakt mit dem wärmeren Meerwasser ab. Ein weiterer Massenverlust tritt beim Abbrechen bzw. Kalben von Tafelgebirgen an der Schelfeisfront auf. Halten sich Massenzuwachs und Massenverlust die Waage, befindet sich das Schelfeis im Gleichgewicht. Nach unserem heutigen Kenntnisstand spielt das Filchner-Ronne-Schelfeis eine wichtige Rolle für die Bildung des kalten Antarktischen Bodenwassers, das sich in großen Tiefen über die Weltmeere ausbreitet. Im Rahmen von FRISP fanden bisher fünf Expeditionen mit der „Polarstern“ statt. Ausgangspunkt für die Schelfeisexpeditionen war jeweils die Sommerstation Filchner (77° 04' S, 50° 08' W). In der Anfangsphase des Projekts standen die Bestimmung von Eisgeschwindigkeiten und die Messung von Akkumulationsraten an der Oberfläche im Vordergrund. Es folgten Studien zum Aufbau des Schelfeises mit Hilfe von Eiskernbohrungen. Die Wechselwirkungen zwischen Ozean und

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

Eisunterseite untersuchten wir mit Hilfe von Heißwasserbohrungen, die durch das gesamte Schelfeis reichten. Dabei fanden wir heraus, daß das Schelfeis nicht nur aus Inlandeis, sondern auch aus einer bis zu 400 m mächtigen Schicht marinen Eises besteht. Diese Schicht ist eine Besonderheit des Filchner-Ronne-Schelfeises, die in derartiger Ausprägung unter keinem anderen Schelfeis vorkommt. Sie macht die besondere Bedeutung des Filchner-Ronne-Schelfeises für die ozeanische Zirkulation deutlich.

Seit Beginn dieses Projektes legten wir auch auf die Entschlüsselung der Klimageschichte dieser Region großes Gewicht. Die Interpretation von Meßergebnissen aus Kernbohrungen auf dem Schelfeis ist jedoch schwierig, da bei derartigen Eisbohrkernen die zeitliche Information von einer räumlichen Komponente, dem Fließweg des Schelfeises, überlagert ist. Das Eis, das beispielsweise an der Bohrstelle B13 in einer Tiefe von 150 m erbohrt wurde, hatte sich einstmals rund 900 km weiter südlich im Anstieg zum Inlandeis als Schnee abgelagert. Ein besserer Ort für derartige Studien sind deshalb die Gipfelzonen von Berkner Island (Abb. 1), an denen in der Saison 1994/95 in Zusammenarbeit mit dem British Antarctic Survey zwei bis zu 180 m tiefe Eiskerne erbohrt wurden.

### Studien zum Massenhaushalt an der Schelfeisoberfläche

Ein wichtiger Parameter des Massenhaushalts von Schelfeisen ist die Akkumulation von Schnee an der Oberfläche. Mit der „Grounding Line-Traverse 1995“ (Abb. 1 und 2) konnte das bisher vorhandene Probenmaterial durch weitere 16 10-m-Firnbohrungen ergänzt werden. Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß die Akkumulation von 340 mm Wasseräquivalent pro Jahr an der Filchnerstation auf 100 mm pro Jahr im südlichsten Teil des Schelfeises abnimmt. Mit dem Anstieg zum Inlandeis (Punkt 1100, Abb. 1) nimmt sie zunächst wieder auf 170 mm pro Jahr zu. Im wüstenartigen Trockenklima des Plateaus am Südpol sinkt sie schließlich auf etwa 80 mm pro Jahr. Um den Eiszutrag zu bestimmen, muß die Eisschicht

Abb. 1: Kartenskizze des Filchner-Ronne-Schelfeises. Eingetragen sind die Flugrouten des Polarflugzeuges „Polar 2“, auf denen mit dem Eisradar Eisdicken bestimmt wurden. Die Route der „Grounding Line-Traverse 1995“ verläuft, von der Filchnerstation ausgehend, längs den eingetragenen Punktnummern nach Süden bis zum Basecamp Grounding Line. Zwei weitere Arbeitsgruppen waren während der Filchner-V-Kampagne auf Berkner Island mit Eiskernbohrungen bzw. bei den Punkten HWB2 und HWB3 mit Heißwasserbohrungen beschäftigt.

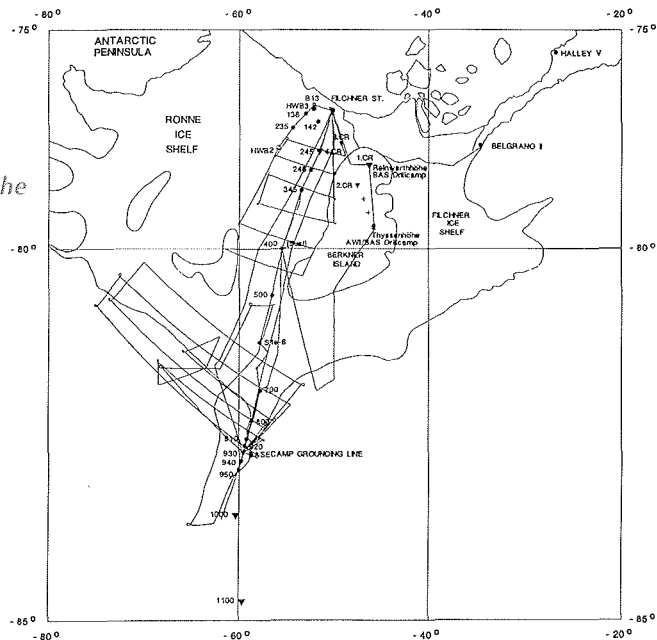




Abb. 2: Die Fahrzeuge der Grounding Line-Traversal im Südsommer 1995 kurz vor Erreichen des Basislagers, das bei  $83^{\circ} 10' S, 59^{\circ} 34' W$  aufgebaut wurde (s. Abb. 1).

Im Hintergrund ist die Gebirgskette des Dufek Massifs zu erkennen. (Foto: C. Mayer, 31.01.1995)

eines Jahres ermittelt werden. Dies gelingt zum einen aufgrund der saisonalen Schwankungen verschiedener Parameter, wie der Dichte des Firms oder des atmosphärischen Eintrags von Spurenstoffen. Daneben können anthropogene Marker bekannten Alters, wie beispielsweise Tritium aus den atmosphärischen Kernwaffentests, identifiziert und damit das Alter der jeweiligen Eisschicht ermittelt werden.

#### **Studien zum Masseneintrag über die Grounding Line**

Wegen der großen Entfernung zwischen der Schelfeiskante und dem Übergangsbereich vom Eisschild zum schwimmenden Schelfeis (Grounding Line) waren erste Feldstudien zum Massenzufluß in das Schelfeis aus dem Innern der Antarktis erst in der Saison 1994/95 möglich. Mit erheblicher logistischer Unterstützung durch die Polarflugzeuge und entsprechenden Meßflügen konnte ein entscheidender Beitrag zum Verständnis der Dynamik des Filchner-Ronne-Schelfeises geleistet werden. Ein Hauptzufluß in das Filchner-Ronne-Schelfeis ist der etwa 48 km breite Foundation Ice Stream (s. Abb. 3). Mit Hilfe des Eisradars des Polarflugzeuges „Polar 2“ konnte in der Saison 1994/95 ein ausgedehntes Eisdickenmeßprogramm im Süden des Schelfeises geflogen werden (Abb. 4).

In der gleichen Saison wurden mit Hilfe des Global Positioning System (GPS, im Differential Mode) Fließgeschwindigkeiten des Eises bestimmt. Für den in der

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

Abbildung 3 im Querschnitt dargestellten Foundation Ice Stream, mit einer mittleren Eismächtigkeit von 1.420 m und einer mittleren Fließgeschwindigkeit von 530 m pro Jahr, ergibt sich ein mittlerer Abfluß von 35,5 km<sup>3</sup> Eis pro Jahr. Als Größenvergleich für diese Abflußmenge sei die Donau an der deutsch-österreichischen Grenze genannt, deren Abfluß durchschnittlich 45 km<sup>3</sup> Wasser pro Jahr beträgt.

Die glaziologischen Messungen auf dem Filchner-Ronne-Schelfeis haben in den vergangenen Jahren unsere Kenntnis über das dynamische Verhalten dieses Schelfeises und die Ursachen dieser Dynamik wesentlich verbessert. Dadurch wurde die Datenbasis für eine numerische Modellierung der Schelfeisdynamik innerhalb der letzten zehn Jahre schrittweise erweitert. Da das Filchner-Ronne-Schelfeis möglicherweise die Dynamik des gesamten westantarktischen Inlandeises entscheidend prägt, hat es auch für globale Prozesse eine große Bedeutung.

Abb. 3: Eisradarprofil durch den Foundation Ice Stream und den Möller-Eisstrom (bei 82° 45' S, Punkt 800), zwei bedeutende Zuflüsse vom Inlandeis in das Filchner-Ronne-Schelfeis. In der Abbildung ist links (Osten) gut die steile Flanke der Schmidt Hills, die in den tiefen Trog des Foundation Ice Stream abfällt, zu erkennen. Der westlich angrenzende Möller-Eisstrom ist weit weniger mächtig (siehe auch Abb. 4).

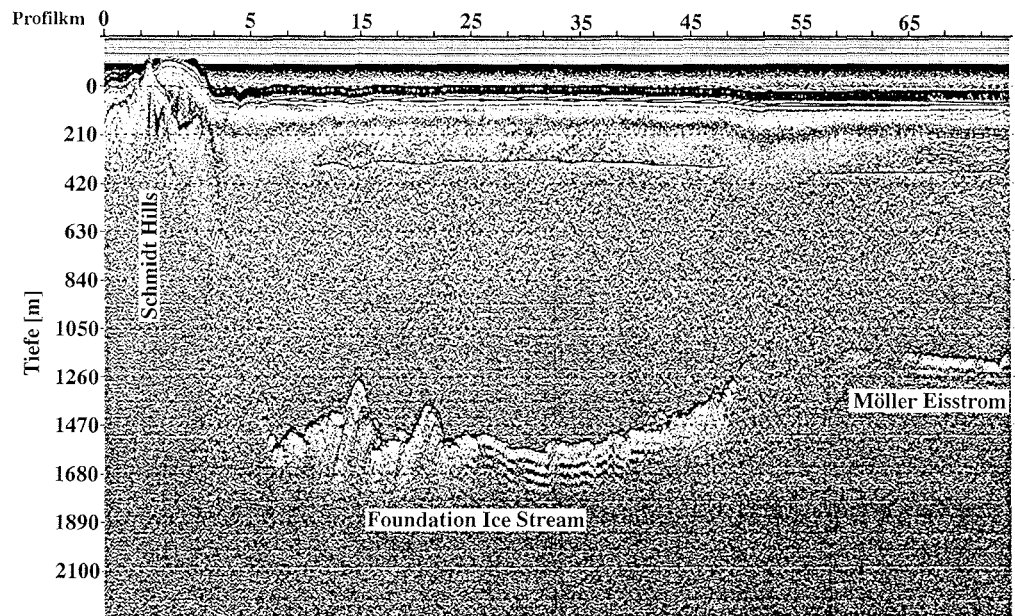
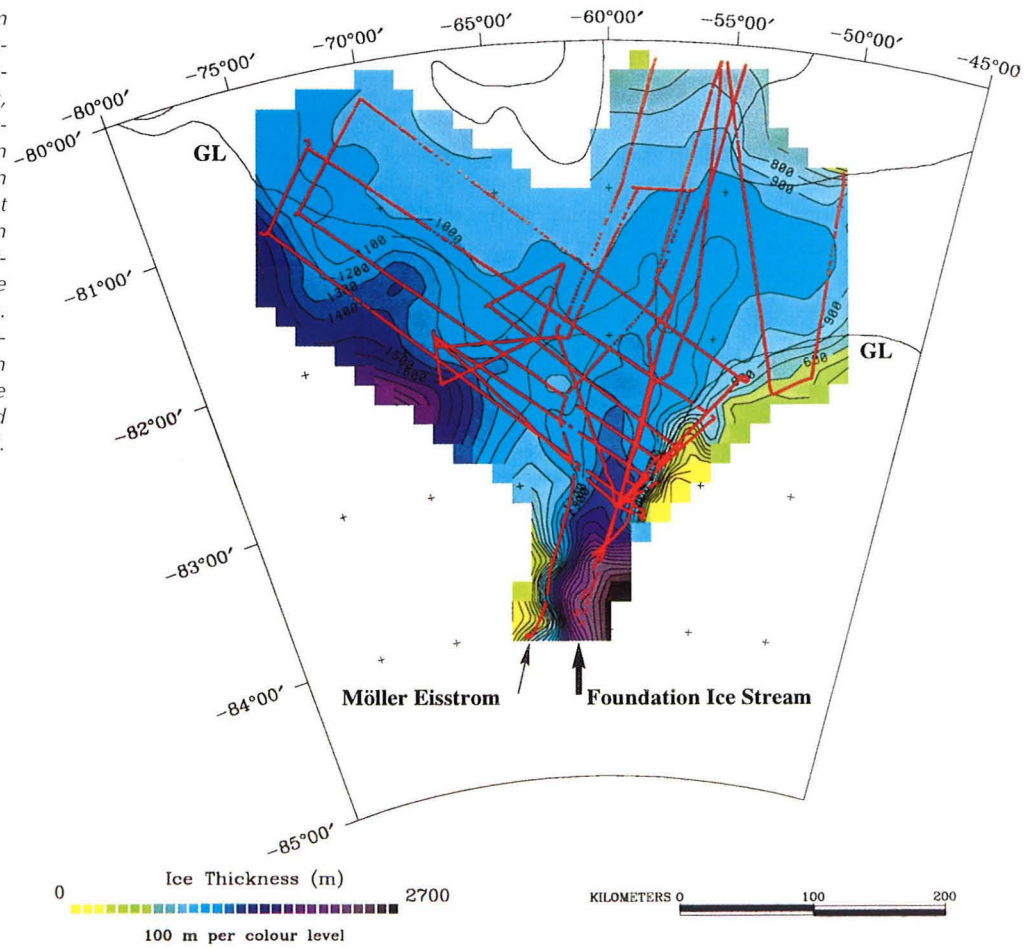


Abb. 4: Eismächtigkeiten im südlichen Filchner-Ronne-Schelfeis und im angrenzenden Anstieg zum Inlandeis, wie sie aufgrund der Flugradarmessungen (die Flugrouten sind rot eingetragen) im Februar 1995 bestimmt wurden. Vom Süden münden die beiden Eisströme Möller-Eisstrom und Foundation Ice Stream in das Schelfeis. GL: Grounding Line (Aufsetzlinie), d. h. der Bereich, in dem das abfließende Inlandeis aufschwimmt und zum Schelfeis wird.



## Die Plattentektonik des Bellingshausenmeeres

Karsten Gohl, Frank Nitsche,  
Heinz Miller

### Seismik- und Schwerefeldmessungen erhellen die Geschichte des Südostpazifik

Fast der gesamte Pazifische Ozean ist von dem sogenannten „Feuergürtel“ umgeben, einem Ring aus Vulkanen und Gebieten, in denen oft Erdbeben auftreten. Diese Naturereignisse kennzeichnen die Grenzen der starren tektonischen Platten, aus denen die oberste Schicht der Erde besteht. Besonders betroffen sind Gebiete, in denen eine Platte unter eine andere abtaucht (Subduktionszone), oder solche, wo zwei Platten seitlich aneinander vorbei driften (Verwerfungszone).

Im Bereich des Kontinentalrandes der Westantarktis ist der „Feuergürtel“ unterbrochen. Früher gab es dort eine Subduktionszone, die sich von Marie Byrd Land bis zur nördlichen Antarktischen Halbinsel erstreckte. Vor 80 Millionen Jahren begann der mittelozeanische Rücken vor Marie Byrd Land mit dem Kontinentalrand zu kollidieren. Dieser Prozeß wurde vor 5 Millionen Jahren vor der nördlichen Antarktischen Halbinsel abgeschlossen. Seitdem ist der Kontinentalrand der Antarktis in diesem Gebiet passiv und tektonisch inaktiv. Die geologischtektonische Entwicklungsgeschichte des pazifisch-antarktischen Kontinentalrandes und der angrenzenden ozeanischen Becken ist bisher kaum verstanden. Ozeanische Rückensysteme, Tiefseekuppen und Schelfränder behindern und beeinflussen Meeresströmungen. Die Öffnung der Drake-Passage zwischen Südamerika und der Antarktischen Halbinsel führte dazu, daß sich rings um die Antarktis ein durchgehender Meeresstrom ausbilden konnte. Dieser kalte Zirkumpolarstrom ist wesentlich für das kalte und eigenständige Klima der Antarktis verantwortlich. Um Entstehung und Verlauf der zirkumpolaren Meeresströmungen zu verstehen, ist es daher notwendig, die tektonische Entwicklung dieses Teils der Antarktis zu kennen.

Von Satelliten-Altimetriedaten abgeleitete Karten des globalen und regionalen Schwerefeldes der Ozeane haben in letzter Zeit äußerst wertvolle Hinweise auf charakteristische Strukturen der ozeanischen Platten erbracht. So lassen sich nun

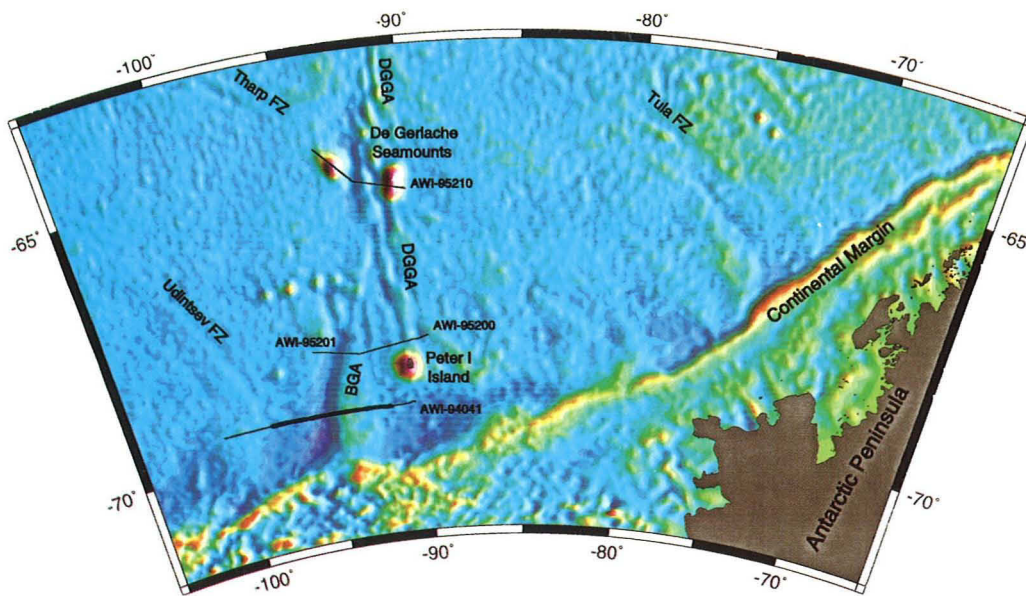


Abb. 1: Die aus Satelliten-Altmetriedaten abgeleitete Schwerefeldkarte des Bellingshausenmeeres, Südostpazifik, zeigt dominante Anomalien des Schwerefeldes in Streichrichtung der Achse von Peter I Island und der De Gerlache Seamounts und westlich von Peter I Island. Der Kontinentalrand ist ebenfalls als deutliche Schwereanomalie zu erkennen. Seismische Profile (durchgezogene Linien; dicke Linie kennzeichnet den hier gezeigten Profilabschnitt), gewonnen auf den Polarstern-Expeditionen ANT XI/3 (1994) und ANT XII/4 (1995), kreuzen die Anomalien und zeigen tektonische Prozesse auf, die im Zusammenhang mit einer rezenten Beschleunigung der Spreizrate des Pazifisch-Antarktischen Rückens stehen.

mittelzoanische Rücken, Transformverwerfungen, Bruchzonen und Seamounts kartieren und identifizieren. Schwerefeldanomalien sind einerseits Ausdruck des topographischen Reliefs, können jedoch ebenso Dichte- und Materialunterschiede der Gesteine unterhalb des Meeresbodens wiedergeben.

Die Schwerefeldkarte des südöstlichen Pazifik (Abb. 1) zeigt deutlich den passiven Kontinentalrand der Westantarktis sowie Seamounts und vulkanische Inseln, nämlich die De Gerlache Seamounts und Peter I Island. Darüber hinaus sind Transformverwerfungen der ozeanischen Kruste, zum Beispiel die Udintsev Fracture Zone, zu sehen. Sie haben ihren Ursprung am Pazifisch-Antarktischen Rücken und können nun bis zum Kontinentalrand hin kartiert werden. Als dominante Erscheinungen des Schwerefeldes bestimmen aber zwei Nord-Süd gerichtete Schwerefeldanomalien das Bellingshausenmeer. Die De Gerlache Gravity Anomaly (DGGa) erstreckt sich von Peter I Island zu den De Gerlache Seamounts und nordwärts darüber hinaus, während die Bellingshausen Gravity Anomaly (BGA) westlich von Peter I Island einen Bogen zu den De Gerlache Seamounts schlägt. Es ist bemerkenswert, daß diese Anomalien mit hohen Schwerefeldamplituden fast im rechten Winkel zum Kontinentalrand und im schrägen Winkel



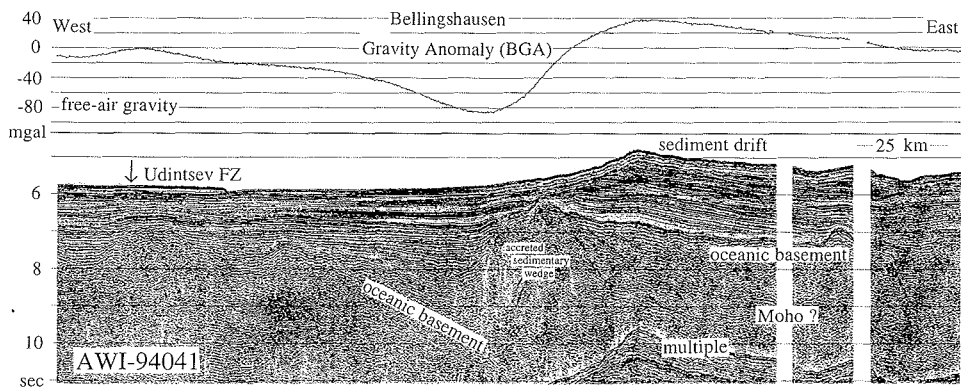
2. Ausgewählte Forschungsthemen

zu den Transformstörungen ausgerichtet sind. Es stellt sich die Frage, ob diese Anomalien Ausdruck starker tektonischer Bewegungen sind, die ein vormals stabiles Ozeanbecken überprägen.

Während der geowissenschaftlichen Polarstern-Expeditionen ANT XI/3 (1994) und ANT XII/4 (1995) in den Südpazifik und in das Bellingshausenmeer wurden zur Untersuchung der Krustenstruktur seismische und seegravimetrische Daten über den Schwereanomalien und den De Gerlache Seamounts aufgezeichnet. Als ein Beispiel für die sehr aufschlußreichen Profilvermessungen zeigt die Abbildung 2 einen seismischen Schnitt durch eine tektonische Verwerfungszone unterhalb der Bellingshausen Gravity Anomaly. In diesem Bereich ist das westliche ozeanische Basement unter das östliche Krustensegment abgetaucht. Dabei schoben sich die aufliegenden Sedimentpakete durch die ostwärts gerichtete Bewegung zu einem jetzt ungeschichteten, fast chaotisch gelagerten Bereich zusammen. Ein solches Paket zusammengestauchter Sedimente (Akkretionskeil) oberhalb einer abtauchenden Platte läßt sich in nahezu allen Subduktionszonen beobachten. Zusammen mit der Schwerefeldanomalie lassen die seismischen Beobachtungen den Schluß zu, daß es sich im westlichen Bellingshausenmeer um eine zuvor äußerst selten vermessene platteninterne Subduktionszone handelt.

Weitere seismische Profile nördlich und nordwestlich von Peter I Island bestätigen, daß im Bereich der Bellingshausen Gravity Anomaly eine Subduktionszone vorliegen könnte. Die seismischen Strukturen unterhalb der De Gerlache Gravity Anomaly lassen jedoch eine horizontale Seitenverschiebung von zwei ozeanischen

Abb. 2: Ein reflexionsseismisches Profil mit an Bord gewonnenen Schwerefeld-daten über der Bellingshausen Schwereanomalie westlich von Peter I Island illustriert durch das abtauchende ozeanische Kristallin unter einem Akkretionskeil aus Sedimenten deutlich das Abbild einer Subduktion innerhalb einer ozeanischen Platte. Der Verlauf der Kruste-Mantel-Grenze, seismisch Mohorovicic-Diskontinuität (kurz Moho) genannt, ist von dem nördlicheren Profil AWI-95200 übernommen, wo sie deutlicher zu beobachten ist. Der tektonische Aufbruch der Kruste initiierte die Anlage einer deutlich ausgeprägten Sedimentdrift, die zu einer topographischen Erhöhung von über 700 m führte.



Segmenten erkennen. Die geochemische Altersbestimmung der auf dem Abschnitt ANT XII/4 mit einer Dredge gesammelten Gesteinsproben von einem der De Gerlache Seamounts ergeben ein Alter von ungefähr 20 Millionen Jahren. Damit sind sie älter als die Vulkanite auf Peter I Island, die vor ungefähr 13 Millionen Jahren entstanden sind. Die beiden vulkanischen Eruptionen und die platteninternen tektonischen Verwerfungen stehen jedoch in einem direkten Zusammenhang. Sie erfolgten zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt als die Entstehung der sie umgebenden ozeanischen Kruste vor 50 bis 60 Millionen Jahren.

Als Teil des laufenden Forschungsprogrammes über den Südpazifik untersuchen wir, ob die tektonischen Ereignisse im Bellingshausenmeer mit dem Beginn einer beschleunigten Spreizungsrate entlang des Pazifisch-Antarktischen Rückens vor ungefähr 20 Millionen Jahren zusammenhängen. Neueste geophysikalische und geologische Daten weisen darauf hin, daß der abrupte Wechsel in der Spreizung des Südpazifik starke Einflüsse auf Platten- und Krustenblockgrenzen in der Westantarktis hat. Er könnte sich sowohl auf die Sedimentation als auch auf die Meeresströmungen in den Becken der Bellingshausen- und Amundsenmeere ausgewirkt haben. Ein solcher Zusammenhang zeigt sich zum Beispiel an einer Sedimentdrift, die sich im westlichen Bellingshausenmeer auf einer tektonischen Störungzone bildete und zu einer über 700 Meter hohen topographischen Erhebung anwuchs (Abb. 2).

## *Entdeckung neuer Strukturen auf dem Meeresboden des südlichen Weddellmeeres*

*Hans Werner Schenke,  
Gerhard Kuhn*

### *Echolote der „Polarstern“ kartieren den Meeresboden*

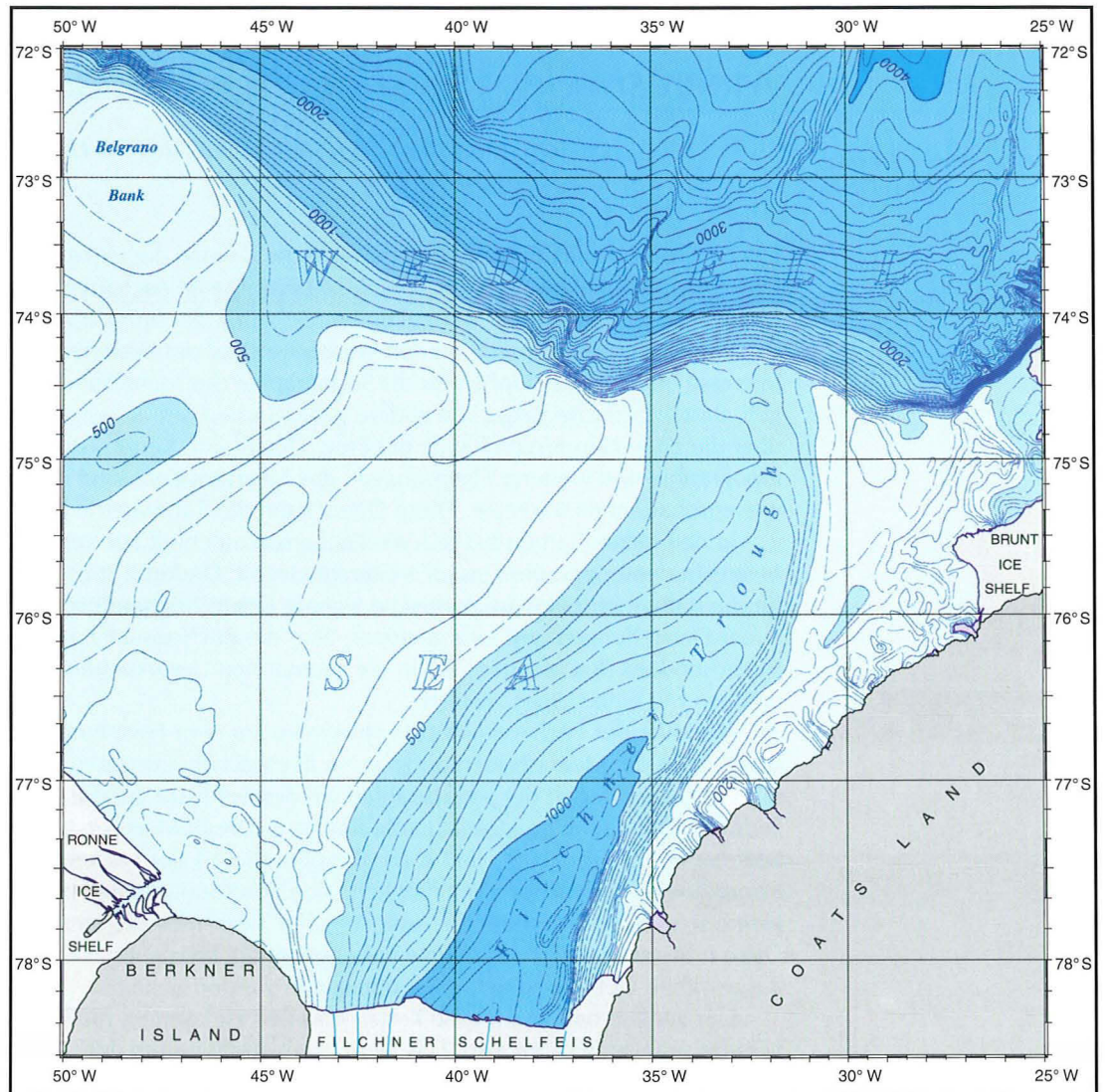
Der Meeresboden ist für ganz unterschiedliche Zweige der Wissenschaft von Bedeutung. Als Lebensraum für komplexe Lebensgemeinschaften interessiert er die Biologen. Erhebungen wie Tiefseekuppen, Schelfränder und ozeanische Rücken haben einen großen Einfluß auf den Wasserkreislauf der Weltmeere – daher das Interesse der Ozeanographen für die Topographie des Meeresbodens. Verwerfungen, untermeerische Berge und andere geologische Formen bergen Informationen über die Entwicklungsgeschichte der Erde. Detaillierte Kenntnisse der Bodentopographie und weiterer Eigenschaften des Meeresbodens sind daher von großem wissenschaftlichen Interesse. Diese Daten kann die Bathymetrie liefern.

In den letzten Jahren hat sich die Fächersonartechnik zur Vermessung der Meeresbodentopographie rasant weiterentwickelt. Dadurch stieg ihre Bedeutung für die Bathymetrie. Hydroakustische Signale liefern hochauflösende Side Scan-Sonar-Darstellungen und Informationen über die Rückstreueigenschaften des Meeresbodens (Backscatter), die in die geomarinen Untersuchungen und Interpretationen mit einbezogen werden.

Mit Hilfe des Fächerecholots Hydrosweep auf dem Forschungsschiff „Polarstern“ kann die Meeresbodentopographie flächenhaft vermessen werden. Aus den Rückstreueigenschaften der Sonarstrahlen werden Schlüsse auf die Textur der Sedimentoberfläche gezogen. Da die Rückstreueigenschaften von bestimmten Sedimenten bekannt sind, sind Aussagen über die Art des Lockergesteins und seine Korngrößenzusammensetzung möglich. Side Scan Sonar-Daten ermöglichen es, kleine Strukturen unterhalb der Auflösung der Tiefenmessungen zu lokalisieren. Dazu müssen die Daten allerdings sehr aufwendig bearbeitet werden, so daß nur ausgewählte Gebiete so detailliert untersucht werden können.

Um genaue bathymetrische Karten erstellen zu können, muß die Position des Schiffes präzise bekannt sein. Das neue Navigationssystem der „Polarstern“ liefert mit Hilfe des Global Positioning System im Differential-Modus (D-GPS) meter-

Abb. 1: Blatt 567 der „AWI Bathymetric Charts of the Weddell Sea“, südliches Weddellmeer (Abbildung verkleinert).



## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

genaue Koordinaten und erlaubt sofort eine lagegetreue Isoliniendarstellung des Meeresbodens. Durch den Einsatz moderner und schneller Datenverarbeitungstechnik stehen dem Meeresforscher bereits kurz nach Abschluß der Vermessungen hochgenaue Karten und Sonarbilder des Meeresbodens zur Verfügung. Sie werden sowohl in der Tiefseeforschung als auch für Spezialuntersuchungen in geringen Wassertiefen benötigt.

Die Arbeiten in der Bathymetrie konzentrierten sich bisher im wesentlichen auf die Gewinnung und Bearbeitung von Meßdaten in den Expeditionsgebieten der „Polarstern“. Als Ergebnisse liegen digitale Geländemodelle des Meeresbodens vor, die als Grundlage für die Kartenherstellung und für geowissenschaftliche Detailuntersuchungen dienen.

Seit 1983 führt „Polarstern“ im südlichen und östlichen Weddellmeer bathymetrische Messungen durch. Die Daten aus diesem Seegebiet wurden systematisch bearbeitet, archiviert und für die Erstellung der neuen „AWI Bathymetric Charts of the Weddell Sea“ (AWI-BCWS) im Maßstab 1 : 1 Mio. genutzt. Es ist das erste detaillierte Kartenwerk dieses Seegebietes. Die bathymetrische Modellierung und wissenschaftliche Bearbeitung der Karten basiert überwiegend auf Fächersonar- und Echolotmessungen von „Polarstern“. Die Karte des südlichen Weddellmeeres liegt als erstes Blatt druckfertig vor (Abb. 1).

Sie überdeckt im wesentlichen den Kontinentalschelf vor dem Filchner-Ronne-Schelfeis und zeigt den Verlauf des Filchnergrabens von der Schelfeiskante bis zur Tiefsee-Ebene des Weddellmeeres. Im Vergleich zu existierenden Karten liefert diese bathymetrische Karte mit den Isolinienabständen von 50 m (gerissen) und 100 m (durchgezogen) wesentlich mehr Detailinformation. Dadurch vervollständigt sie die Erkenntnisse über den Meeresboden in diesem Gebiet.

Bemerkenswert sind die deutlichen Strömungsstrukturen am Kontinentalhang nördlich des Filchnergrabens. Großflächige Kartierungen mit dem Parasound-Sedimentecholot lieferten eine Sediment-Echotypen-Karte des Gebietes. Die dort sichtbaren Strömungsstrukturen stimmen in ihrer Form mit denen auf der bathymetrischen Karte überein. Drei Rücken laufen den Kontinentalhang hinab. Sie werden als mächtige Uferwälle von Rinnen gedeutet, in denen das Bodenwasser vom Schelf abfließt. Der Kontinentalschelf vor dem Coats Land, östlich des Filchnergrabens, weist bisher unbekannte, orthogonal zur Küstenlinie verlaufende Rinnen und Gräben glazialen Ursprungs auf.

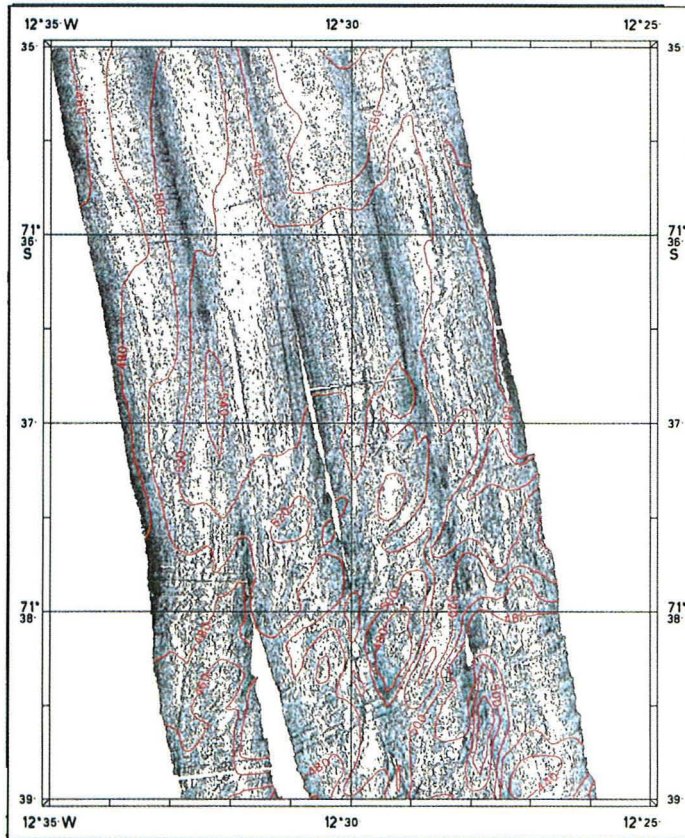


Abb. 2.: Side Scan Sonar-Bild, ergänzt mit Tiefenlinien, vom glazial geformten Meeresboden vor Kapp Norvegia.

Die AWI-BCWS liefert die Grundlage für die systematische Erforschung der Sedimentationsprozesse in Gebieten des Weddellmeeres, die durch Meeresströmungen kontrolliert werden. In Zukunft soll das Kartenwerk soweit verbessert werden, daß eine Darstellung im Maßstab 1 : 500.000 möglich ist. Für spezielle Detailuntersuchungen könnten in Zukunft sogar Meeresbodenkarten mit noch wesentlich genaueren Maßstäben hergestellt werden. Die jetzige Karte ist die Grundlage, um interessante Gebiete, die es näher zu betrachten lohnt, überhaupt zu erkennen. Dieses Prinzip „vom Großen ins Kleine“ ist ein Grundsatz geodätischer Arbeiten. Die Topographie des antarktischen Kontinentalschelfs wurde überwiegend durch glaziale Prozesse geformt. Die Tiefenlage dieser Meeresbodenstrukturen kann mit Hilfe des 120° Öffnungswinkels von Hydrosweep im Flachwasserbereich genau bestimmt werden. Die Auflösung der Side Scan Sonar-Daten liegt bei weniger als 1 m. Gemischte Darstellungen von Side Scan Sonar-Bildern und Meeresbodentopographie dienen als Grundlage für Detailuntersuchungen in der Biologie und Sedimentgeologie (Abb. 2). So können zum Beispiel aus der Form und Lage von Eisbergspuren am Meeresboden Informationen über ihre Größe und Driftrichtung abgeleitet werden. Aus den Rückstreudaten kann die Verteilung von Flächen gleicher Sedimentstrukturen ermittelt werden. Mit der Gesamtinformation aus den Fächersonarmessungen läßt sich daher abschätzen, in welchem Umfang Lebensgemeinschaften am Meeresboden durch vorüberziehende Eisberge zerstört werden können.

## Radiolarien als Paläothermometer im Südpolarmeer

Andrea Abelmann, Uta Brathauer, Rainer Sieger

### Rekonstruktion von Klimaereignissen

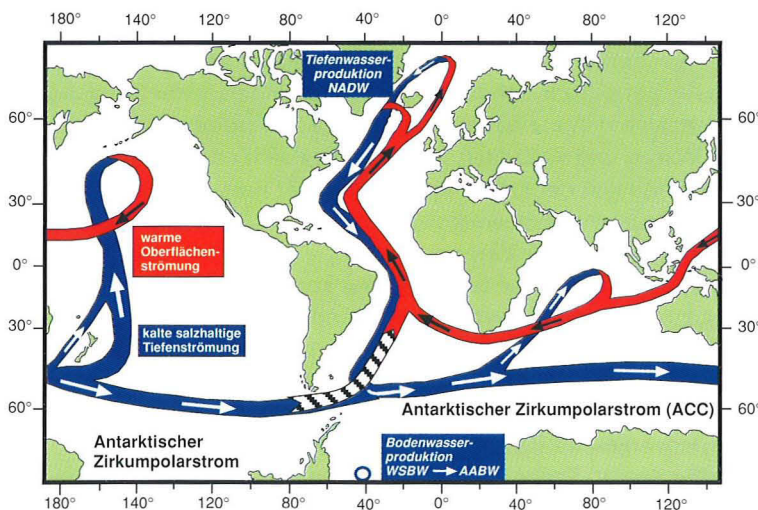


Abb. 1: Die zentrale Stellung des Südpolarmees mit dem Antarktischen Zirkumpolarstrom als „Misch- und Verteilerstation“ von Tiefen- und Oberflächenwassermassen im globalen „Transportband“. Rot gekennzeichnet ist die warme Oberflächenströmung, blau die kalte und salzhaltige Tiefenwasserströmung.

Die Zirkulation des Weltozeans, die heute im wesentlichen durch die Bildung von Tiefen- und Bodenwassermassen in hohen Breiten angetrieben wird, sowie der damit verbundene Wärmetransport sind entscheidende Steuerungsfaktoren für das Erdklima. Eine zentrale Stellung in diesem Zirkulationssystem nimmt dabei das Südpolarmeer ein, da es als einziges zonal verlaufendes Meeresgebiet mit allen anderen Ozeanen in Verbindung steht und wie eine Misch- und Verteilerstation für den Austausch von Tiefen- und Oberflächenwassermassen fungiert (Abb. 1).

Demzufolge hat das Verteilungs- und Zirkulationsmuster von kalten und wärmeren Wassermassen im Antarktischen Zirkumpolarstrom und die Ausdehnung des antarktischen Meereises direkten Einfluß auf die globalen Meeresströmungen und das Klimageschehen. Da das Südpolarmeer auch für die klimatische Entwicklung in der geologischen Vergangenheit diese Schlüsselstellung innehatte, müssen für die Rekonstruktion und das Verständnis der Klimaentwicklung der geologischen Vorzeit die früheren hydrographischen Bedingungen und ihre zeitlichen Änderungen rekonstruiert werden.

Eine wichtige Methode für die Rekonstruktion der früheren hydrographischen Bedingungen ist die Berechnung von Paläotemperaturen des Oberflächenwassers. In Kombination mit Isotopenmessungen lassen sich damit auch Abschätzungen

von anderen Paläoumweltparametern wie dem Salzgehalt und dem Partialdruck des Kohlendioxids ( $\text{CO}_2$ ) durchführen. Diese Daten können in Zeitserien an ausgewählten Probenpunkten oder flächenhaft für bestimmte Zeiten („Zeitscheiben“) entwickelt werden. Sie stellen bedeutende Parameter für die Modellierung der Zirkulation im Paläozean und des Paläoklimas dar. Bestehende globale Modelle, wie zum Beispiel gekoppelte Ozean-Atmosphären-Modelle, können an Rekonstruktionen aus der Vorzeit überprüft werden, um damit die Entwicklung von Klimaprognosen zu verbessern.

Einen entscheidenden Einfluß auf Änderungen des Klimas in der geologischen Vergangenheit haben die periodisch sich ändernden Erdbahnparameter (Milankovich-Zyklen). Sie wirken sich unmittelbar auf das globale Eisvolumen und damit auf den Wechsel von Warm- und Kaltzeiten aus. Der Vergleich von Umweltparametern mit den Änderungen der Erdbahnparameter läßt Aussagen zum zeitlichen und räumlichen Ablauf von Klimaereignissen sowie zu klimasteuernden Mechanismen und Rückkopplungseffekten zu.

Der Rekonstruktion von Paläowassertemperaturen kommt hierbei naturgemäß besondere Bedeutung zu. Sie kann mit verschiedenen mikropaläontologischen und geochemischen Methoden durchgeführt werden. Für den Bereich des Südpolarmeeres hat sich die Berechnung von Paläowassertemperaturen mit statistischen Verfahren (Transfer-Funktion-Methode, Modern-Analog-Methode) bewährt, wobei als Signalträger die Artenvergesellschaftungen von Mikrofossilien (Diatomeen, Radiolarien und Foraminiferen) dienen, deren kieselige oder kalkige Hartteile in den Sedimenten überliefert sind. Hierbei wird nach dem Aktualitätsprinzip verfahren: Aus der Korrelation und Verteilung von Mikrofossilvergesellschaftungen in Oberflächensedimenten mit heutigen hydrographischen Daten wird eine mathematische Beziehung definiert, die auf die fossile Fauna und Flora in den Sedimentkernen übertragen wird. Die dabei eingesetzten Rechenprogramme wurden am AWI so weiterentwickelt, daß nunmehr eine schnelle und vielseitige Anwendung dieses Verfahrens möglich ist. Grundvoraussetzung für die Durchführung dieser Methoden ist, daß sich die räumliche Verteilung der Mikrofossilvergesellschaftungen in Oberflächensedimenten in den hydrographischen Eigenschaften des Oberflächenwassers widerspiegelt. Die Entwicklung von umfangreichen Datensätzen für Radiolarien, Diatomeen und planktische Foraminiferen hat gezeigt, daß diese Voraussetzung für die Fossilgruppen in unseren Untersuchungsgebieten im



## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

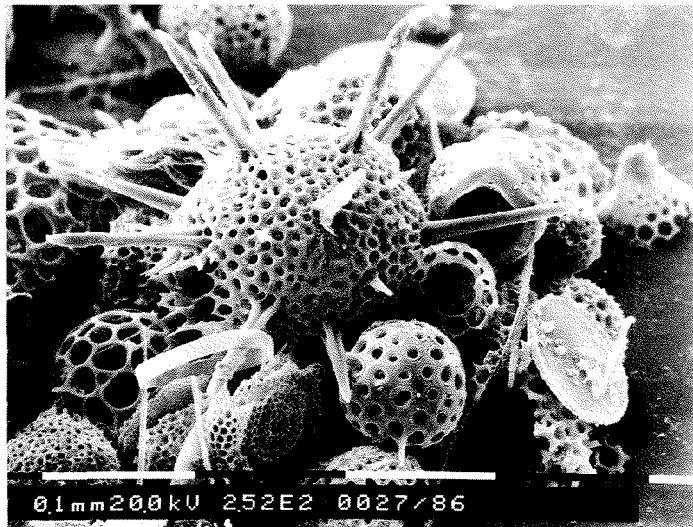


Abb. 2: Aus Kieselsäure bestehende Radiolarienskelette, die in den Sedimenten des Südpolarmeerer erhalten sind und als Klimaparameter für die Rekonstruktion von Paläotemperaturen benutzt werden.

atlantischen Sektor des Südpolarmeerer erfüllt wird. Die benötigten hydrographischen Daten wurden aus der am AWI aufgebauten Hydrographischen Datenbank „Südlicher Ozean“ entnommen.

Radiolarien sind auch im heutigen Ozean weitverbreitete Einzeller mit kieseligen Skeletten (Abb. 2). Sie lassen sich im Südpolarmeer besonders gut als Signalträger für die Rekonstruktion der Paläowassertemperaturen einsetzen. Radiolarien sind in den Sedimenten weitverbreitet und in großer Anzahl überliefert. Ihre Zusammensetzung spiegelt dabei gut die ursprüngliche Artengemeinschaft im Oberflächenwasser wider, da ihre robusten Skelette nur wenig durch Lösungsprozesse angegriffen werden.

Die Radiolarien in Oberflächensedimenten aus dem atlantischen Sektor lassen sich mit Hilfe einer Hauptkomponentenanalyse sechs Faktoren oder Vergesellschaftungen zuordnen. Ihre geographische Verbreitung läßt sich sehr gut in Beziehung mit den zonalen Bändern des Antarktischen Zirkumpolarstroms bringen, die durch unterschiedliche hydrographische Bedingungen charakterisiert sind (Abb. 3).

Gestützt auf diesen Referenzdatensatz wurden mit der Transfer-Funktion-Methode an Radiolarienvergesellschaftungen aus zwei Sedimentkernen, die aus dem Bereich des Antarktischen Zirkumpolarstroms stammen (Abb. 3), Paläowassertemperaturen berechnet. Dabei wurden Temperaturen für den Südsommer rekonstruiert, den Zeitraum, in dem, wie Sedimentfallenexperimente gezeigt haben, das im Sediment überlieferte Signal durch Absinken der Radiolarienskelette hauptsächlich gebildet wird. Die beiden Sedimentkerne dokumentieren den Zeitraum der letzten

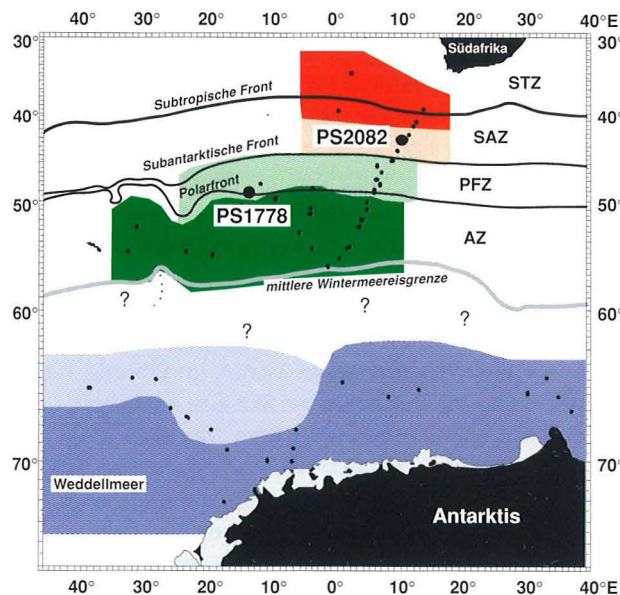


Abb. 3: Die Verbreitung von Radiolarienvergesellschaftungen in Oberflächensedimenten des Südpolarmeeres (rot: „warme Fauna“, grün: „kalte Fauna“, blau: Fauna aus dem eisbedeckten Weddellmeer) mit den Positionen der Sedimentkerne PS2082 und PS1778.

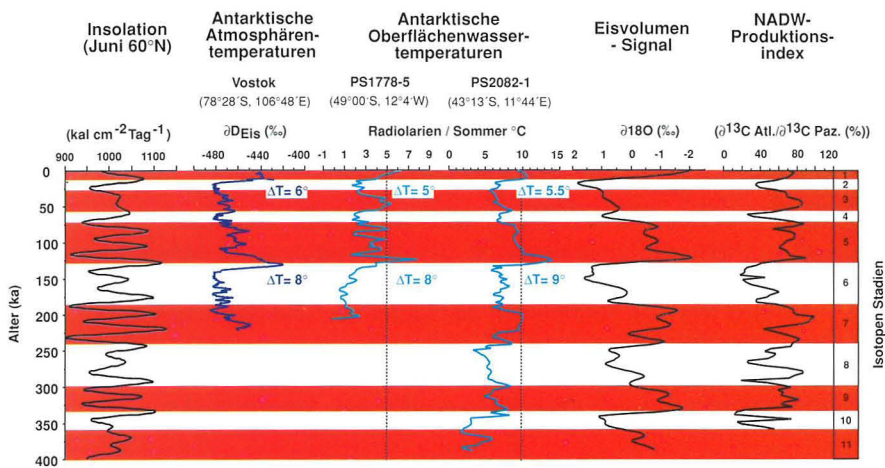
250.000 bis 380.000 Jahre und erfassen damit die beiden jüngsten klimatischen Großzyklen, die jeweils mit klimatischen Optima vor circa 240.000 Jahren beziehungsweise 125.000 Jahren beginnen und mit glazialen Maxima vor circa 135.000 beziehungsweise 20.000 Jahren enden (Abb. 4). Die Paläowassertemperaturen spiegeln den zyklischen Verlauf der Warm- und Kaltzeiten in zum Teil hoher zeitlicher Auflösung wider. Während der glazialen Maxima (vor 135.000 Jahren und 20.000 Jahren) lagen die Temperaturen an den Sedimentkernpositionen um circa 5 Grad Celsius niedriger als heute. Deutlich höhere Temperaturen, die die heutigen Oberflächenwassertemperaturen um circa 3 Grad Celsius übersteigen, wurden für das Klimaoptimum vor 125.000 Jahren („Eem-Warmzeit“) berechnet.

Damit zeigt sich, daß das hier entwickelte Paläothermometer verlässliche Temperaturkurven mißt, die gut die global beobachteten Klimaänderungen dokumentieren. Sie lassen sich direkt mit den Änderungen der Atmosphärentemperaturen vergleichen, die für den Zeitraum der letzten 230.000 Jahre aus einer Bohrung in das antarktische Inlandeis (Wostok-Eiskern) vorliegen. Damit steht ein Werkzeug zur Verfügung, das nun auch eine flächenhafte Erfassung der hydrographischen Änderungen im Laufe der jüngsten Erdgeschichte erlaubt.

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

Der Vergleich unserer Temperatursignale mit anderen Klimaparametern soll darüberhinaus mehr Aufschluß über deren zeitliches Zusammenspiel und deren Wechselwirkungen geben (Abb. 4). Mit Hilfe der Kreuzspektralanalyse wurden diese Beziehungen zwischen den zyklischen Klimaveränderungen und den Änderungen der Erdbahnparameter (Milankovich-Zyklen) genauer analysiert. Die statistische Analyse zeigt, daß die antarktischen Atmosphärentemperaturen (Deuteriumsignal im Wostok-Eiskern) als erstes Klimaänderungen anzeigen, angestoßen durch Änderungen der Insolation auf der Nordhemisphäre. Ihnen folgen die Temperaturen des Oberflächenwassers im Südpolarmeer, danach ändert sich das globale Eisvolumen. Zuletzt springt das globale ozeanische „Förderband“ mit verstärkter Tiefenwasserbildung im Nordatlantik an. Es zeigt sich, daß der Verlauf der Paläowassertemperaturen des Südpolarmeeres mit den Temperaturen aus dem Wostok-Eiskern vergleichbar ist und sich mit der Sommerinsolation bei 60 Grad Nord korrelieren läßt. Dies läßt darauf schließen, daß Klimaänderungen in südlichen hohen Breiten durch Änderungen der Atmosphäreneigenschaften hervorgerufen werden, die zumindest zum Teil durch Insolationsänderungen auf der Nordhalbkugel initiiert werden. Somit spielen Änderungen in südlichen hohen Breiten innerhalb der Klimazyklen eine Vorreiterrolle, denen die Änderungen auf der Nordhalbkugel, bedingt durch den relativ langsamen Abschmelz- und Aufbau-prozeß der kontinentalen Eiskappen, um 2.000 bis 3.000 Jahre nacheilen.

Abb. 4: Der Vergleich von antarktischen Oberflächenwassertemperaturen, berechnet aus Radiolarien-Transferfunktionen an den Kernen PS2082 und PS1778 für die letzten 400.000 Jahre mit anderen Klimaparametern wie der Insolation bei 60° N, der Atmosphärentemperaturen über der Antarktis (Deuteriumsignal im Wostok-Eiskern), das in Sauerstoff-Isotopen gespeicherte Signal zum globalen Eisvolumen und die durch einen Index angegebene Produktion von Nordatlantischem Tiefenwasser (NADW), die die Funktion des globalen Zirkulationssystems beschreibt.



## Sibirien: Ursprungsregion arktischer Sedimente

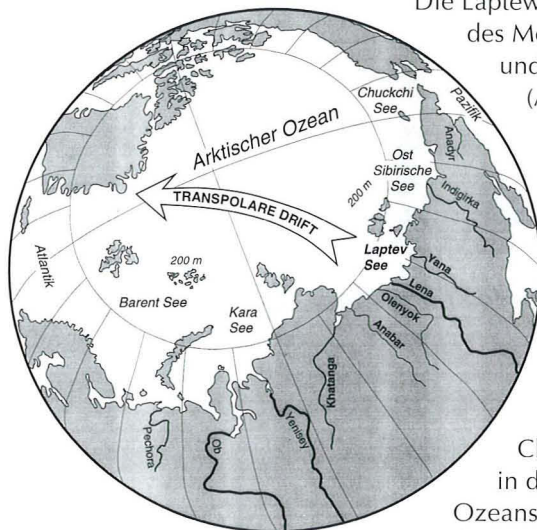
Volker Rachold, Erich Hoops,  
Hans-Wolfgang Hubberten

### Chemische Zusammensetzung der Flußfracht als Signatur für das Liefergebiet

Abb. 1: Die Laptewsee bildet eine Schlüsselregion des Arktischen Ozeans. Ein Großteil des Meereises wird hier gebildet und mit der transpolaren Drift in Richtung Grönland verfrachtet.

Die Meereisbedeckung des Arktischen Ozeans hat einen entscheidenden Einfluß auf die globale Ozeanzirkulation und das Weltklima. Wärme- und Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Ozean werden weitgehend durch die Ausdehnung, Mächtigkeit und durch die Strömungsmuster des Meereises kontrolliert. Ein wichtiges Ziel der Paläoklimaforschung ist daher die Entschlüsselung von zeitlichen Veränderungen der Meereisbedeckung und von Mustern der Eisdrift in der geologischen Vergangenheit.

Die Laptewsee ist eine Schlüsselregion des Arktischen Ozeans. Ein Großteil des Meereises wird heute in diesem ausgedehnten Schelfgebiet gebildet und mit der transpolaren Drift in Richtung Grönland transportiert (Abb. 1).



Der Eintrag von Süßwasser und Sediment durch die in sie mündenden sibirischen Flüsse ist für die Laptewsee von besonderer Bedeutung. Diese Flüsse liefern pro Jahr etwa 700 km<sup>3</sup> Wasser und 27 Mio t suspendiertes Material. Das Ziel unserer Arbeiten ist es, den Sedimenttransport sibirischer Flüsse in die Laptewsee zu quantifizieren und die Sedimente mit Hilfe geochemischer und mineralogischer Methoden zu charakterisieren.

Insbesondere soll die Herkunft der Sedimente durch ihre chemisch-mineralogische Zusammensetzung identifiziert werden. Charakteristische Eigenschaften sollen es ermöglichen, das Material in den marinen Sedimenten der Laptewsee und des Arktischen Ozeans zu erkennen.

Auf zwei Expeditionen der Forschungsstelle Potsdam des AWI zusammen mit der Universität Moskau konnten Oberflächensedimente, Wasser und Suspen-

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen



sionsfracht der sibirischen Flüsse Lena, Jana, Olenjok und Omoloy beprobt werden. Die erste Expedition im Juli/August 1994 mit dem Forschungsschiff „Prof. Makkaveev“ führte von Jakutsk bis zum Delta der Lena und zurück (Abb. 2). Im Sommer 1995 wurden darüber hinaus der Oberlauf der Lena, der Olenjok, die Jana und der Omoloy untersucht. Eine dritte Expedition zum Khatanga und zum Anabar ist für den Sommer 1996 geplant.

Die Laborarbeiten konzentrieren sich zum einen auf Haupt- und Spurenelementchemismus und auf die Strontium-Isotopenzusammensetzung der Suspensionsfracht. Zum anderen werden die Oberflächensedimente mineralogisch insbesondere auf Schwerminerale untersucht. Mit einem jährlichen Wasservolumen von  $520 \text{ km}^3$  ist die Lena der achtgrößte Fluß der Erde und nach dem Jenisey der zweitgrößte der arktischen Flüsse (Abb. 3).

*Abb. 2: Das Forschungsschiff der Universität Moskau „Prof. Makkaveev“ im Lenadelta.*

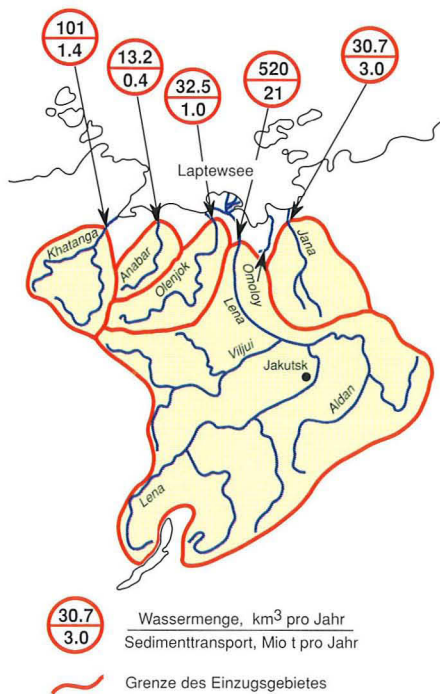


Abb. 3: Einzugsgebiete und hydrologische Daten der wichtigsten in die Laptevsee mündenden Flüsse. Diese Daten werden von hydrologischen Meßstationen erfaßt.

Sie entwässert ein Gebiet von 2,5 Mio km<sup>2</sup>, das aus drei tektonischen Einheiten besteht: der sibirischen Plattform, der Baikalfaltenzone und der Werchojansk-Faltenzone. Aufgrund extremer saisonaler Temperatur- und Niederschlagsunterschiede (bis zu 100 °C Temperaturdifferenz zwischen Sommer und Winter) zeigen das monatliche Wasservolumen und die Sedimentfracht sehr starke Schwankungen. Im Mittel beträgt der Gehalt an suspendiertem Material 40 mg/l.

Das Einzugsgebiet der Jana hat eine Größe von 0,24 Millionen km<sup>2</sup> und liegt in der Werchojansk-Faltenzone. 99 % des suspendierten Sedimentes werden in den Sommermonaten Juni bis September transportiert. Durchschnittlich alle vier Jahre gefriert der Fluß im Winter bis zum Boden. Obwohl die Jana wesentlich weniger Wasser in die Laptevsee liefert als die Lena, ist der Sedimenteintrag bedeutend. Erste Ergebnisse zeigen, daß der Gehalt an suspendiertem Material bis zu 1000 mg/l beträgt, also bis zu 25 mal größer ist als in der Lena.

Das von der Lena transportierte Sediment ist hinsichtlich der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung im gesamten Flußlauf sehr homogen. Der Chemismus der Suspensionsfracht entspricht einem Mittelwert aller im Einzugsgebiet auftretenden Gesteine und spiegelt aufgrund dessen Größe für die meisten Elemente die durchschnittliche Zusammensetzung der verwitterten

kontinentalen Oberkruste wider. Andererseits liefern kleinere Flüsse, die eng begrenzte Gebiete entwässern, deutlich unterschiedliches Material. Als Beispiel ist in der Abbildung 4 die Verteilung der Seltenen Erden-Elemente (REE = Rare Earth Elements) dargestellt. Während die Seltenen Erden-Elemente der Suspensionsfracht der Lena von denen anderer großer Flüsse kaum zu unterscheiden sind, zeigt der Viljui, der zweitgrößte Nebenfluß der Lena, ein deutlich anderes Muster. Insbesondere ist die Fracht des Viljui durch eine positive Anomalie des Seltenen Erden-Elementes Europium gekennzeichnet. Europium kann, da es im Gegensatz zu den anderen Seltenen Erden nicht nur dreiwertig, sondern auch zweiwertig auftritt, bei magmatischen Prozessen von den übrigen Seltenen Erden-Elementen abgetrennt werden. Die positive Europium-Anomalie des Viljui-Materials läßt sich daher durch spezielle magmatische Gesteine im Einzugsgebiet erklären.

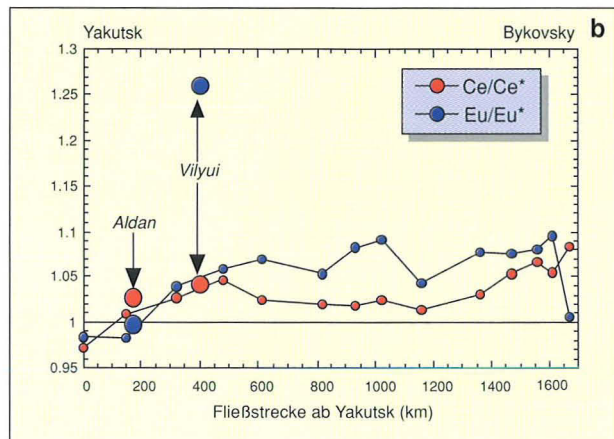
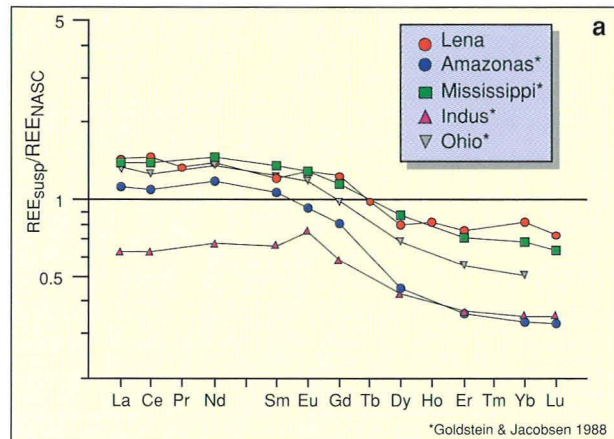
## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

Die chemische Zusammensetzung der Sedimente sehr großer Flüsse wie der Lena weist höchstwahrscheinlich keine charakteristischen Signale auf. Kleinere Flüsse zeigen dagegen deutlich unterschiedliche Muster. Die Schwermineraldaten liefern ähnliche Ergebnisse. Erste Untersuchungen deuten allerdings an, daß die von der Lena transportierten Sedimente von denen anderer großer Flüsse (z. B. Jenisej) anhand der Strontium-Isotopenzusammensetzung unterschieden werden können.

Die Charakterisierung aller in die Laptevsee mündenden Flüsse liefert wichtige Erkenntnisse über den Sedimenteintrag in den Arktischen Ozean. Zusammen mit Ergebnissen aus dem Arktischen Ozean ermöglichen es unsere Daten, sowohl den rezenten als auch den fossilen Sedimenttransport vom eurasischen Kontinent in den Arktischen Ozean zu rekonstruieren.

Abb. 4: a) Seltene Erden-Verteilung (REE = Rare Earth Elements) in der Suspensionsfracht der Lena und anderer großer Flüsse. In der Abbildung sind die Verhältnisse zwischen den REE-Konzentrationen der Suspensionsfracht und denen eines mittleren Tonschiefers (NASC = North American Shale Composite) aufgetragen. Durch diese Darstellungsweise sind sowohl Unterschiede zwischen verschiedenen Flüssen als auch Abweichungen vom mittleren Tonschiefer deutlich erkennbar.

b) Cer (Ce)- und Europium (Eu)-Anomalien werden als Maß für die An- oder Abreicherung der beiden Elemente gegenüber den übrigen Seltenen Erden-Elementen verwendet. Derartige Anomalien resultieren aus der Fraktionierung dieser Elemente, z. B. bei magmatischen Prozessen. Die positive Eu-Anomalie in der Suspensionsfracht des Vilyui spricht für das Auftreten spezieller Gesteine im Liefergebiet. Sie bildet ein charakteristisches Signal für diesen Nebenfluß, das eine deutliche Unterscheidung von der Lena ermöglicht.



## Spät- und postglaziale Vegetations- und Klimageschichte des nördlichen Mittelsibiriens

*Pollenanalysen geben Aufschluß über das Klima der letzten 17.000 Jahre*

Jürgen Hahne, Stefanie Harwart

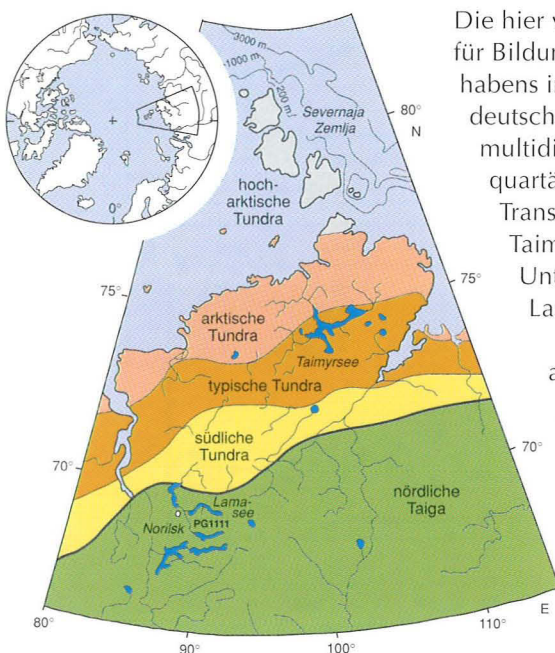


Abb. 1: Karte des Untersuchungsgebietes mit der heutigen Lage der Vegetationszonen sowie des Sedimentkerns PG1111 im Lamasee östlich der Stadt Norilsk.

Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie geförderten Verbundvorhabens in Mittelsibirien erzielt, das seit 1994 in Zusammenarbeit mit anderen deutschen und russischen Forschungseinrichtungen durchgeführt wird. Ziel des multidisziplinären Projektes ist eine Vertiefung unserer Kenntnisse zur spätquartären Umwelt- und Klimageschichte entlang eines ca. 1400 km langen Transekts. Ausgehend von der Stadt Norilsk im Süden, reicht es über die Taimyr-Halbinsel, bis zur Inselgruppe Severnaja Zemlja im Norden. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich damit über alle wesentlichen arktischen Landschafts- und Vegetationszonen (Abb. 1).

Der Sedimentkern PG1111 wurde während einer Vorexpedition 1993 aus dem Zentralteil des Lamasees, am südlichen Rand des Untersuchungsgebietes (Abb. 1), gewonnen. Die Ergebnisse der pollenanalytischen Untersuchungen sind in Form eines Gesamt-Pollendiagramms dargestellt (Abb. 2). Das Diagramm spiegelt alle wichtigen vegetations- und klimageschichtlichen Ereignisse vom Ende des späten Weichselglazials bis zur Gegenwart wider. Aufgrund guter Übereinstimmungen mit zahlreichen anderen Pollendiagrammen sowie Sauerstoffisotopenkurven läßt es sich in Zonen von I bis X untergliedern.

Einen zeitlichen Fixpunkt bildet die Pleistozän/Holozän-Grenze in 6,2 m Sedimenttiefe. Ihr Alter ist durch zahlreiche  $^{14}\text{C}$ -Datierungen bekannt und wird allgemein auf 10.300 J.v.H (Jahre vor Heute) gelegt. Weitere absolute Sedimentalter werden durch den Nachweis der stadialen/interstadialen Abfolge Ältere Dryas (Zone Ia), Bölling (Ib), Mittlere Dryas (Ic), Alleröd (II) und Jüngere Dryas (III) am Ende des Pleistozäns belegt. Unter der Annahme, daß die Sedimentationsrate in der Älteren Dryas denen der jüngeren spätglazialen Abschnitte gleicht, ergibt sich für die Kernbasis ein Alter von mindestens 17.000 J.v.H. . Da die Zusammensetzung der Sedimente ihre Entstehung in



2. Ausgewählte Forschungsthemen

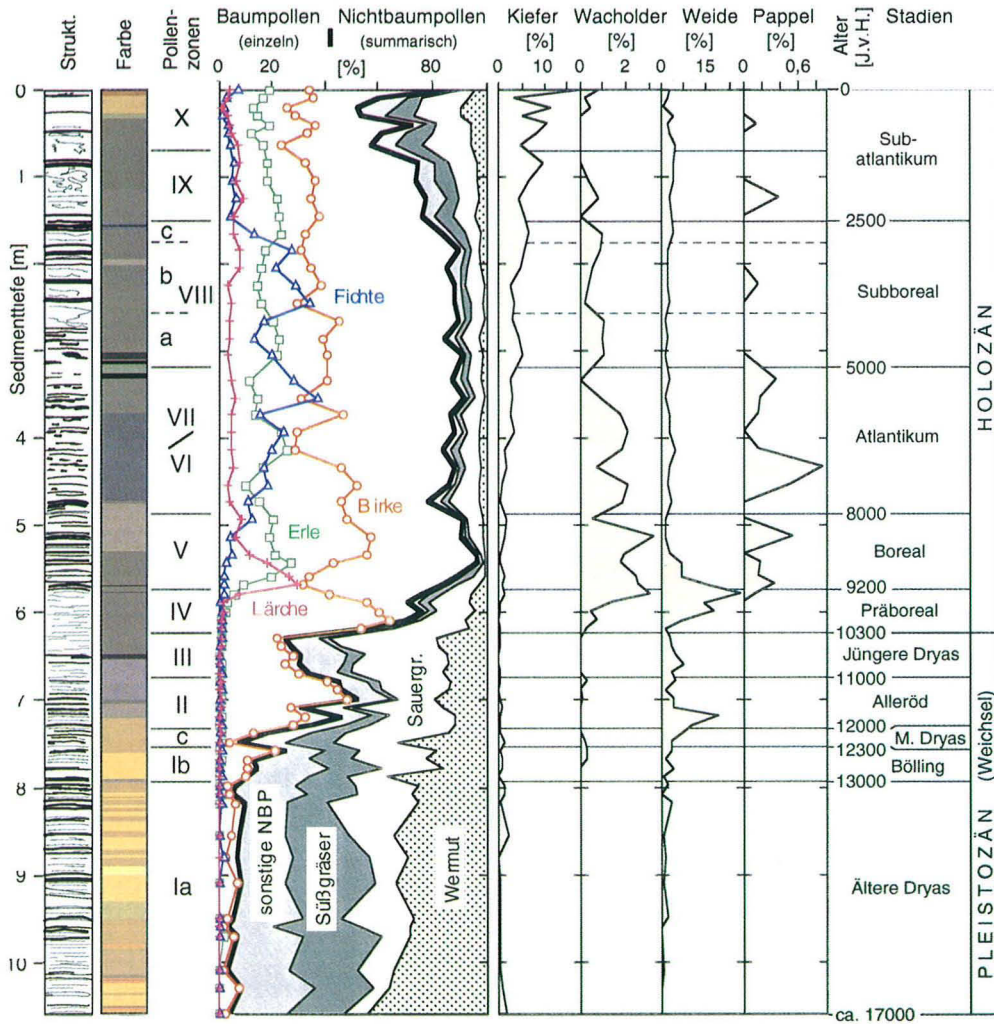


Abb. 2: Pollendiagramm des Sedimentkerns PG1111 aus dem zentralen Bereich des Lamasees. Aufgetragen sind die prozentualen Anteile der Pollen einzelner Pflanzenarten oder -gruppen an der Gesamtmenge der Pollen in der jeweiligen Probe. In der linken Hälfte des Diagramms sind die prozentualen Anteile der Pollen von vier ausgewählten Baumarten (Lärche, Erle, Fichte und Birke) einzeln als farbige Linien sowie die Anteile der Nichtbaumpollen als schraffierte Felder dargestellt. Die dicke schwarze Linie zeigt die starke Abnahme der Nichtbaumpollen im Præboreal (IV). Im rechten Teil ist anhand von vier ausgewählten Baumarten (Kiefer, Wacholder, Weide und Pappel) die Zunahme und Abnahme einzelner Baumarten in den verschiedenen Erdzeitaltern dargestellt.

einem See belegt, wird damit erstmals gezeigt, daß das Gebiet entgegen weit verbreiteter Vermutungen während der vergangenen 17.000 Jahre eisfrei war. Durch eine starke Erwärmung, die mit dem Beginn des Holozäns (Präboreal, IV) einsetzte, stellten sich in Sibirien völlig neue atmosphärische Zirkulationssysteme ein und bildeten die heutigen großen Vegetationszonen Tundra, Taiga und südliche Steppe aus. Diese sind an ihren Grenzen recht instabil und reagieren bereits auf geringfügige Klimaschwankungen mit Verschiebungen ihrer nördlichen Breite. So war beispielsweise das Areal der Lärche während des Boreals (V) bis zu 200 km, während des Atlantikums (V) sogar bis zu 300 km weiter nach Norden vorgeschoben als heute. Das holozäne Klimaoptimum hingegen könnte in diesem Teil Sibiriens bereits im Boreal (Zeit der Lärchenwälder) vor ungefähr 9.000 bis 8.000 J. v. H. gelegen haben.

Das Atlantikum (VI und VII) war im Gebiet des Lamasees offenbar eine günstige Periode, in der sich kontinuierlich großräumige Fichtenwälder entwickeln konnten. Am Ende dieses Abschnitts mit stabilen Bedingungen setzte erstmals im Holozän eine stärkere Abkühlung ein. Während des Subboreals (VIII) wechselten sich klimatisch günstige und ungünstige Phasen ab, auf welche Fichte und Lärche mit Verdichtung oder Auflockerung ihrer Wälder reagierten.

Mit dem Beginn des Subatlantikums (IX) vor 2.500 Jahren nahm die Temperatur so weit ab, daß sich im Untersuchungsgebiet die bis dahin mehr oder weniger geschlossenen Wälder sehr stark öffneten und vielerorts Tundrengesellschaften Platz machten. Diese Klimaverschlechterung hat sich in den letzten 1.000 Jahren (X) offenbar noch verstärkt, so daß heute im Gebiet des Lamasees nur noch Reste einer Waldtundra zu finden sind.

Das Pollen-Diagramm vom Lamasee zeigt deutlich, daß in den vergangenen 17.000 Jahren auch geringe Klimaschwankungen erhebliche Veränderungen in der Vegetation zur Folge hatten. Da sich die einzelnen Abschnitte sowohl in ihrem Charakter als auch in ihrer zeitlichen Dauer mit Profilen aus Mitteleuropa, Grönland und Nordamerika korrelieren lassen, läßt sich besonders für diesen Zeitraum ein für die gesamte Nordhalbkugel gleichförmiger Klimaablauf in Betracht ziehen. Die Pollenanalysen werden derzeit auf Sedimentkerne von der Taimyr-Halbinsel und später von Severnaja Zemlja ausgedehnt.

Aus diesen Resultaten und mit Hilfe geochemischer und sedimentologischer Ergebnisse werden wir klimaabhängige Verschiebungen der Vegetationszonen sehr genau rekonstruieren können.

## *Informationssystem SEPAN (Sediment and Paleoclimate Data Network)*

*Michael Diepenbroek,  
Hannes Grobe, Manfred  
Reinke, Reiner Schlitzer,  
Rainer Sieger, Uwe Siems*

### *Sichere Langzeitarchivierung und überregionaler Zugriff auf Paläoklimadaten*

#### **Motivation**

In Deutschland werden an zahlreichen Institutionen marine und lakustrine Sedimente bearbeitet und zur Rekonstruktion der Paläoumwelt, insbesondere des Paläoklimas interpretiert. Mit der Gründung neuer geowissenschaftlicher Institute in den neuen wie auch in den alten Bundesländern und dem Neu- und Umbau leistungsfähiger Forschungsschiffe hat sich in den letzten Jahren die Menge des geologischen Probenmaterials deutlich erhöht. Auch haben die aus der Bearbeitung resultierenden Daten und Parameter nicht nur an Umfang, sondern auch an Vielfalt gewonnen. In keinem Institut existierte bisher eine allgemein verfügbare, von Wissenschaftlern akzeptierte Datenbank, die analytische Daten einschließlich der angegliederten vollständigen Metainformationen hätte aufnehmen können.

Die Bearbeitung paläoklimatischer Fragestellungen wie auch Modellierungen im globalen Rahmen erfordern einen umfassenden Überblick über die verfügbaren Datensätze. Zukünftig sollen daher paläoklimatisch relevante Datensätze nach Veröffentlichung oder Freigabe an den Quellen erfaßt und in konsistenter Form in einem offiziellen Informationssystem gespeichert werden. Die Datenbank soll sowohl eine sichere Langzeitarchivierung mit einem überregionalen Zugriff auf Paläoklimadaten ermöglichen als auch einen Überblick über das in den verschiedenen Archiven vorliegende Probenmaterial erlauben.

Die am IGBP/PAGES (International Geosphere Biosphere Project/Past Global Changes) beteiligten Wissenschaftler in Deutschland initiierten 1993 die Entwicklung einer Datenbank, um langfristig eine konsistente Haltung der aus Sedimenten gewonnenen Daten zu gewährleisten. Im Rahmen eines vom BMBF (Bundesminister für Erziehung, Wissenschaft, Forschung und Technologie) geförderten Projektes wurde während der letzten zwei Jahre am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven die Paläoklimadatenbank SEPAN (Sedi-

ment and Paleoclimate Data Network) entwickelt und implementiert. Unter Anbindung von Instituten, die marine und lakustrine Sedimente untersuchen, soll die Datenbank zunächst auf nationaler Ebene betrieben werden.

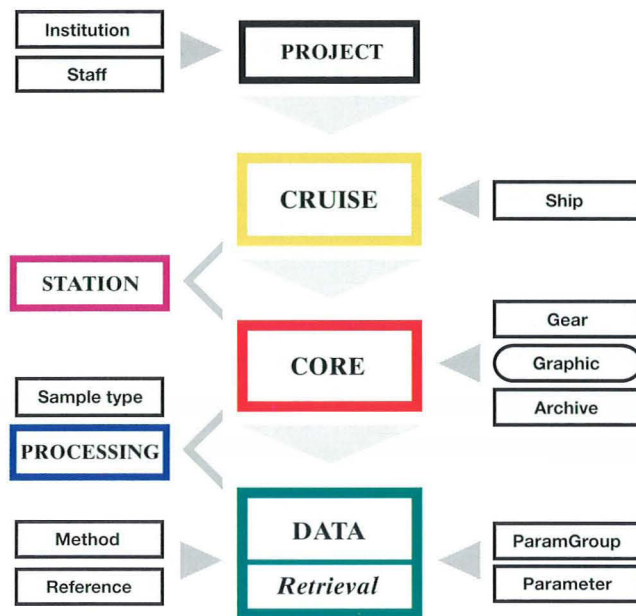


Abb. 1: Datenmodell der Paläoklimadatenbank SEPAN (Sediment and Paleoclimate Data Network). Das Modell folgt in seiner Hierarchie dem Weg, der beschriftet werden muß, um einen bestimmten analytischen Wert zu erhalten. An der Paläoklimaforschung beteiligte Institutionen (PROJECT) führen Expeditionen (CRUISE) durch, mit dem Ziel, an ausgewählten Punkten (STATION) Kerne (CORE) zu ziehen. Einem Kern werden Probenserien (PROCESSING) entnommen, an denen wiederum spezifische Parameter (DATA SERIES) bestimmt werden. Randtabellen liefern standardisiert die für die einzelnen Ebenen notwendigen Begleitinformationen.

### Datenmodell

Das flexibel gehaltene Datenmodell von SEPAN erlaubt die Speicherung von Rohdaten (Primärdaten, z.B. Zählungen), Parametern (Sekundärdaten, z.B. Prozente) und interpretierten Daten (Tertiärdaten, z.B. Paläotemperaturen) aus der Analyse von Sedimenten. Die Anzahl der Parameter kann jederzeit durch Neudefinitionen erweitert werden, das Format erlaubt Text, Zahlen und Bilddaten. Das Datenmodell folgt in seiner Hierarchie dem Weg, der zur Analyse einer Probe durchlaufen werden muß (Abb. 1): Verschiedene Institute/Projekte (PROJECT) führen Expeditionen (CRUISE) durch. Während einer Expedition werden Stationen (STATION) angelaufen auf der unterschiedliche (Kern)-Geräte (CORE) eingesetzt werden. Bei der Bearbeitung werden Proben für bestimmte Fragestellungen und Analysen entnommen (PROCESSING). Aus einer Probenserie resultieren eine oder mehrere Analysedatenreihen (DATA SERIES). Alle Daten sind innerhalb eines hierarchischen Systems geschützt und werden grundsätzlich mit dem entsprechenden Literaturzitat und dem Namen des Besitzers versehen. Bei Nutzung der Daten sind diese, entsprechend der Verwendung von Literatur, durch das aufgeführte Zitat zu dokumentieren.

### Netzwerk

SEPAN verwendet die Client/Server-Technologie über das Internet bzw. das haus-eigene Netzwerk des angeschlossenen Institutes (Abb. 2). Als Datenbank-Software wurde SYBASE verwendet, das auf einem DEC Alpha Rechner läuft. Die Arbeitsplatzrechner nutzen 4th-Dimension zur Kommunikation mit der eigentlichen Datenbank. In 4D wurde auch die grafische Benutzeroberfläche realisiert, bei der besonderer Wert auf Bedienerfreundlichkeit gelegt wurde. Die Software auf den Arbeitsplatzrechnern wurde zuerst für Apple Macintosh Rechner entwickelt und wird auf Windows übertragen. Alle Metainformationen werden auf lokalen Subservern gespiegelt, so daß ein Zugriff über das Internet auf den Hauptrechner nur bei Anfrage auf die eigentlichen Analyse-daten erfolgen muß. Neu eingelesene Informationen werden auf den im Netzwerk beteiligten Rechnern im Hintergrund aktualisiert.

### Werkzeuge

Der Import von Daten erfolgt über standardisierte Tabellen. Der Nutzer kann für den Export selbst Tabellen definieren. Über ein Suchwerkzeug, das in seiner Funktionalität für alle Ebenen identisch ist und komplexe Abfragen nach allen Feldern ermöglicht, wählt er die Daten aus. Für die graphische Darstellung von Daten wurden die Programme MacMap und PolyPlot entwickelt. MacMap erlaubt die geographische Darstellung von Probenpunkten in Verbindung mit der Bathymetrie des GEBCO-Datensatzes (General Bathymetric Chart of the Oceans) (Abb. 3). PolyPlot ermöglicht die Darstellung von bis zu 50 Parametern gegen die Tiefe bzw. Zeit (Abb. 4). Beide Programme können aus der Datenbank heraus nach entsprechendem Retrieval aufgerufen werden, laufen jedoch auch

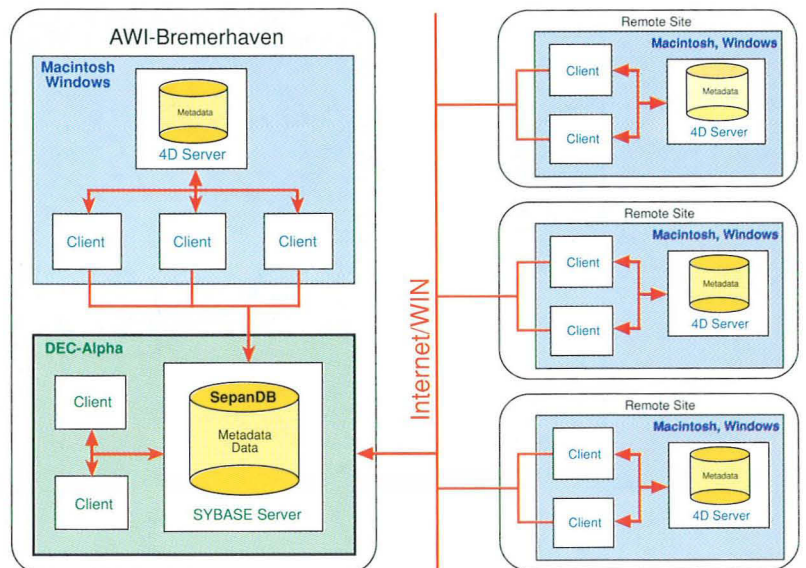


Abb. 2: Struktur des SEPAN-Netzwerkes. Die Datenbanksoftware SYBASE läuft auf einem DEC Alpha Rechner als Hauptserver in Bremerhaven. In jedem der angegliederten Institute (Remote Site), wie auch im AWI, versorgt ein Subserver, auf dem die Metadaten gespiegelt sind, die Arbeitsplatzrechner (Clients unter MacOS oder Windows) werk mit Informationen. Erst nach Anforderung von analy-

tischen Daten muß über das Internet auf den Hauptserver zugegriffen werden. Die benutzerfreundliche grafische Oberfläche, wie auch die SEPAN-spezifische Software auf den Subservern wurde unter 4th Dimension realisiert.

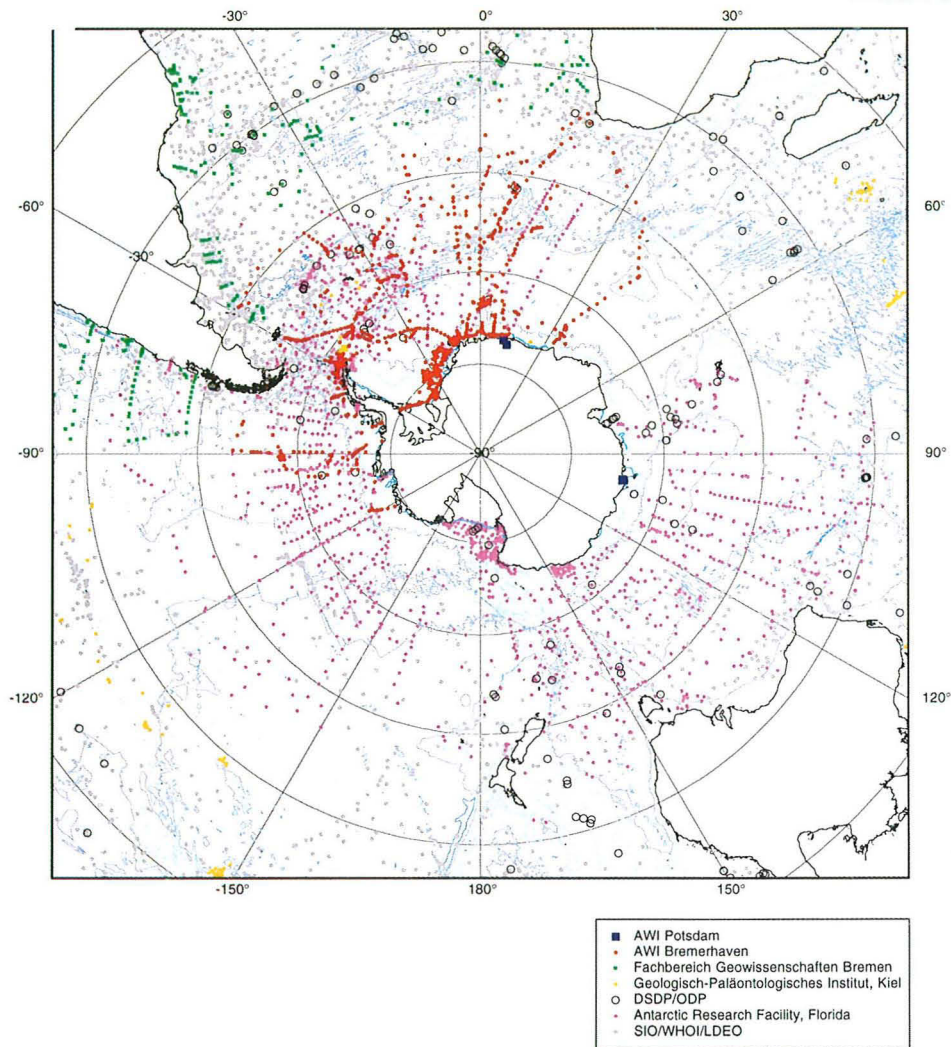


Abb. 3: Für die geographische Darstellung von Probenpunkten, Kursen und Daten wurde das Programm MacMap entwickelt. Es erlaubt die Erstellung

von Karten in unterschiedlicher Projektion auf der Grundlage des GEBCO-Datensatzes (General Bathymetric Chart of the Ocean).

Küsten- und Tiefenlinien können in Abhängigkeit vom Maßstab in unterschiedlicher Auflösung dargestellt werden um die Rechenzeit in vertret-

barem Rahmen zu halten. Die Karte zeigt Probenpositionen aus SEPAN in südpolarstereographischer Projektion.

## 2. Ausgewählte Forschungsthemen

einzelnen. Grafiken können in den rechner-spezifischen Austauschformaten exportiert werden.

Bisher sind, neben dem Alfred-Wegener-Institut, folgende Institute beteiligt; Akademie der Wissenschaften (Universität Heidelberg), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hannover), Fachbereich Geowissenschaften (Universität Bremen), Geologisch-Paläontologisches Institut (Universität Kiel), GEOMAR-Forschungszentrum (Kiel) und das Institut für Ostseeforschung (Warnemünde).

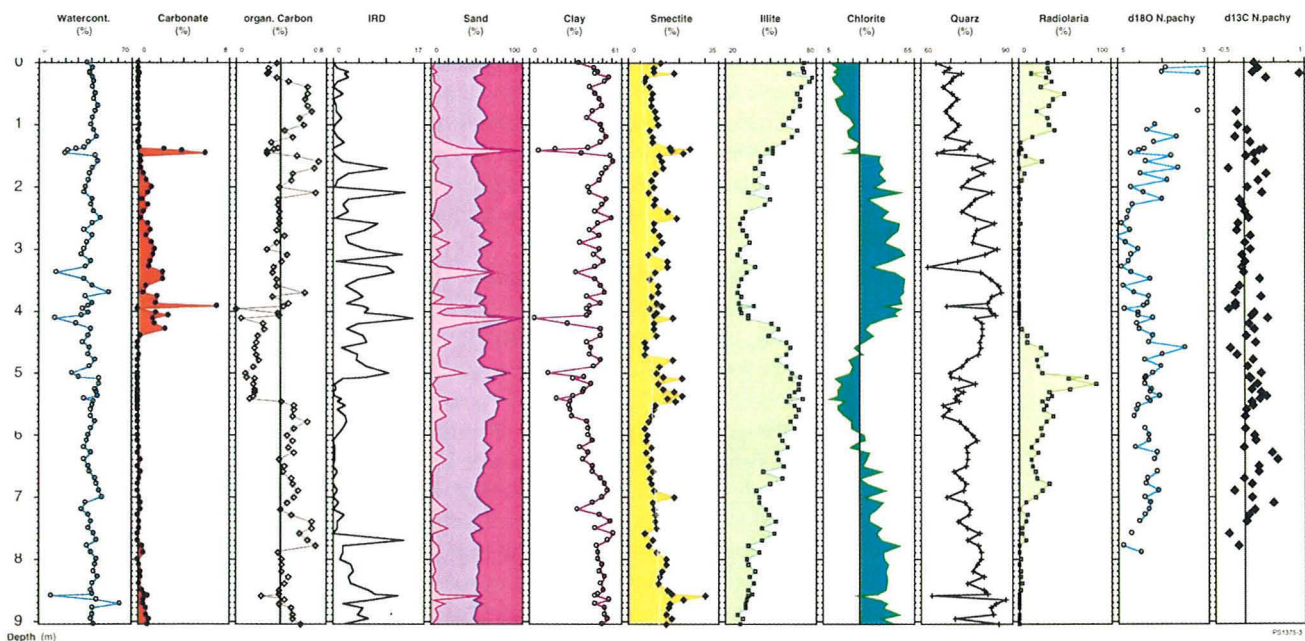


Abb. 4: Für die Darstellung von bis zu 50 Parametern gegen die Tiefe oder Zeit wurde das Programm PolyPlot entwickelt. Darstellungsparameter können für jede Datenreihe indivi-

duell definiert werden. Die Grafik kann in dem entsprechenden Austauschformat exportiert werden.

## 3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen

### 3.1 Ozeanische und atmosphärische Prozesse in den Polargebieten (Sektion Physik I)

#### 3.1.1 Arbeitsschwerpunkte

Der Zustand und die Zirkulation des Ozeans und der Atmosphäre in den Polargebieten sowie die thermischen und dynamischen Wechselwirkungen zwischen den beiden Fluiden werden durch verschiedene, überwiegend relativ kleinräumige und kurzfristige Prozesse gesteuert. Um diese in numerischen Modellen passend zu berücksichtigen, müssen die physikalischen Mechanismen qualitativ und quantitativ durch Messungen erforscht und mathematisch dargestellt werden. Zu diesem Zweck führen wir im Nord- und Südpolargebiet sowohl mit dem Forschungsschiff „Polarstern“ als auch mit den beiden Polarflugzeugen Meßprogramme durch. Die dabei und die an den Polarstationen Neumayer und Koldewey gewonnenen Daten werden zur Charakterisierung und Beschreibung der Prozesse analysiert und auch für numerische Simulationsrechnungen genutzt. Letztere konzentrieren sich zur Zeit auf die Entwicklung der atmosphärischen Grenzschicht bei unterschiedlichen Strömungs- und unteren Randbedingungen.

In der Berichtsperiode wurden in der Antarktis die hydrographischen Untersuchungen des südlichen Weddellmeeres durch Schnitte vor dem Filchner-Ronne-Schelfeis vervollständigt und die laufende Aufzeichnung der Meereisdicke mittels verankerter Eisecholote fortgesetzt. In der Arktis wurde die achtjährige Verankerungszeitreihe zur Erfassung der zeitlichen Schwankungen des Ostgrönlandstromes abgeschlossen. Ein weiteres Flugzeugunternehmen diente zur quantitativen Abschätzung der Wechselwirkungen zwischen der Atmosphäre und dem eisbedeckten Ozean im Nordsommer. Mit einem neuen Turbulenzmeßsystem am Schiffsbug von „Polarstern“ wurden die vertikalen Wärme- und Impulsflüsse über Rinnen im Meereis bestimmt und auf die horizontale Ausdehnung der offenen Wasserfläche bezogen.

Das dreidimensionale hochauflösende Atmosphärenmodell wurde um eine Meer-eiskomponente erweitert. Seine weitere Entwicklung läuft erfolgversprechend. Vorläufige Vergleiche zwischen Modellresultaten und Meßwerten bestätigen die generelle Brauchbarkeit unseres Konzepts. Schließlich wurden die Daten früherer Schiffs- und Flugzeugmessungen sowie die aktuellen meteorologischen Aufzeichnungen an den Stationen Neumayer und Koldewey wissenschaftlich ausgewertet. Diese Untersuchungen dienen dazu, die natürliche thermische und kinematische Variabilität sowohl im Ozean als auch in der Atmosphäre abzuschätzen.



Die genannten Arbeiten haben – geographisch gegliedert – zu folgenden Ergebnissen geführt:

#### **Weddellmeerregion**

● Das warme Tiefenwasser am Kontinentalabhang des südlichen Weddellmeeres hat sich in den vergangenen fünf Jahren kontinuierlich erwärmt. Dieser Befund weist hin auf einen verstärkten Zustrom von Wassermassen aus dem Zirkumpolarstrom. Gleichzeitig hat die Menge des Eisschelfwassers abgenommen. Dies ist mit einer geringeren Meereisbildung vor dem Filchner-Ronne-Schelfeis zu erklären. Diese Veränderung wird offenbar durch drei vor dem Filchner-Schelfeis gestrandete große Eisberge verursacht, die dort die lokale Ozeanzirkulation und damit auch die thermischen Bedingungen an der Meeresoberfläche erheblich stören.

● Im Rahmen eines internationalen Programms werden seit zehn Jahren im Weddellmeer Driftbojen auf Eisschollen ausgesetzt, deren Daten mehrmals (bis zu zwanzigmal) täglich über das Argos-Satellitensystem automatisch erfaßt werden. Sie übermitteln die Driftbewegung des Eises, den Bodenluftdruck, die Lufttemperatur und teilweise auch die vertikalen Temperaturprofile im Meereis und in der oberen Wassersäule.

Aus diesen Daten werden Antriebsfelder für Modellrechnungen bestimmt, aber auch Informationen über die physikalischen Abläufe an der Meeresoberfläche gewonnen. So konnte die bereits vermutete enge Beziehung zwischen dem geostrophischen Bodenwindvektor und dem Eisdriftvektor bestätigt werden. Während die Richtung beider Vektoren – wie theoretisch gefordert – im Mittel übereinstimmt, ergibt sich für den Betrag des Eisdriftvektors nur 1,4 % des Bodenwindvektors. Selbst im Bereich der recht starken ozeanischen Randströme des Weddellwirbels überwiegt der Windantrieb zumindest bei kurzperiodischen Versetzungen des Meereises.

● Die windbedingte oberflächennahe Strömung und die über die atmosphärische Schubspannung im Ozean angeregte Turbulenz bestimmen wesentlich auch die Tiefe und den Wärmeinhalt der Deckschicht (Abb. 1). Aus den Beobachtungen ist zu schließen, daß Starkwindfelder im Winterhalbjahr durch Vermischungsvorgänge im Mittel einen aufwärtsgerichteten Wärmefluß von  $20 \text{ W m}^{-2}$  am unteren Rand der Deckschicht bewirken. Diese Bedingungen haben zur Folge, daß das Meereis im Weddellmeer auch am Ende des Winters selten dicker als ein Meter ist.

● Messungen des Meereises mit Hilfe verankerter Echolote werden im Weddellmeer seit 1990 durchgeführt. Allerdings erwies es sich als schwierig und aufwendig, anhand der aufgezeichneten Signale die Eisdicke mit hinreichender Genauigkeit abzuschätzen. Es wurden jedoch mittlerweile Auswertungsprogramme entwickelt und an speziellen Meßreihen erfolgreich erprobt. Diese erlauben nunmehr die Bearbeitung des gesamten Datensatzes.

#### **3.1.2 Ergebnisse**

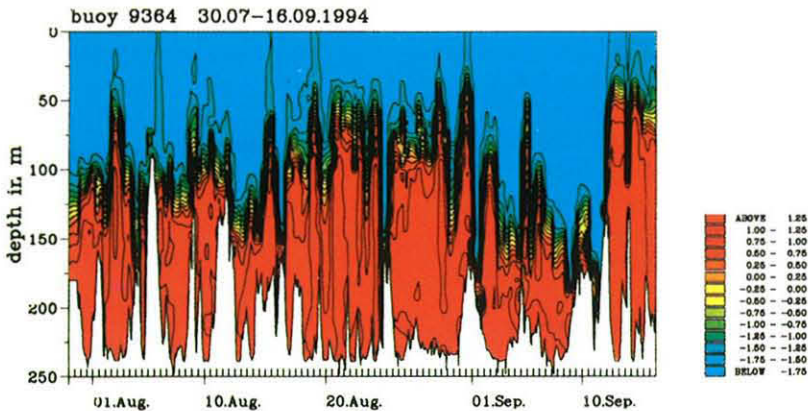


Abb. 1: Variabilität der Ozeandeckschicht unter dem Meereis im Weddellmeer aus Bojenmessungen im Winter 1994. Die Isolinien und Farben geben die Temperaturen (in Grad Celsius, Zuordnung siehe Farbskala) in Abhängigkeit vom Datum und der Tiefe wieder. Im Zeitabstand von einigen Tagen ändert sich regelmäßig die Tiefe der Sprungschicht zwischen 50 und 150 m. Unter Berücksichtigung der Bojenbewegung mit dem Eis in entspricht dies räumlichen Abständen von ca. 10 km. Maximale vertikale Wärmetransporte vom Ozean zur Eisdecke von kurzfristig bis zu 200 W/m<sup>2</sup> treten auf, wenn ein atmosphärischer Sturmwirbel – verbunden mit hohen Driftgeschwindigkeiten – mit einer besonders flachen Deckschicht zusammenfällt. Die zwischen 0 und 60 cm/s variablen Driftgeschwindigkeiten werden qualitativ durch die untere Begrenzungskurve des Diagramms wiedergegeben.

**Nordpolarmeer und Grönlandsee**

● Im Ostgrönlandstrom (bei 75° N) liegen auf einer Linie, die senkrecht zur Küste verläuft, seit 1987 Strommesserverankerungen. Hier wurde ein mittlerer Volumentransport von 25 Mio m<sup>3</sup>/s nach Süden gemessen. Das Geschwindigkeitsmaximum von 30 cm/s liegt etwa 45 km vor der Schelfkante in 2.400 m Tiefe. Die Zeitserien belegen eindeutig, daß sowohl die Struktur als auch die Stärke des Ostgrönlandstroms zeitlich stark variieren. Die größten Transporte treten im Winterhalbjahr und die geringsten im Hochsommer auf. Da zur Zeit noch keine hochauflösenden Zirkulationsmodelle für

Erste Ergebnisse liefern Hinweise auf systematische regionale Unterschiede der Eistransporte.

● Aus Messungen des anorganischen Kohlenstoffs konnten im Bereich des Weddellwirbels zum einen die Struktur der ozeanischen Zirkulation detailliert aufgelöst und zum anderen die vertikalen Kohlenstofftransporte in der Wassersäule sowie der CO<sub>2</sub>-Austausch zwischen Ozean und Atmosphäre abgeschätzt werden. Die Meßwerte variieren zeitlich und räumlich so stark, daß zuverlässige mittlere Werte des CO<sub>2</sub>-Austausches nur gewonnen werden können, wenn die Meßserie über fünf bis zehn Jahre ausgedehnt wird. (Siehe auch Kapitel 2: „Die großräumige Verteilung des anorganischen Kohlenstoffs im atlantischen Sektor der Antarktis“)

● Die vertikale Struktur der stabil geschichteten atmosphärischen Grenzschicht und deren zeitliche Entwicklung wurden mit einem eindimensionalen numerischen Modell realistisch simuliert. Die Datenbasis dafür bildeten 12-monatige Windgeschwindigkeits- und Temperaturregistrierungen an bis zu 40 m hohen Masten und mehrwöchige Turbulenzmessungen in Bodennähe an der Neumayer-Station. Außerdem wurden die Konzepte zur Parameterisierung der turbulenten Flüsse bei stabiler Dichteschichtung verbessert. Damit wurde eine Grundlage geschaffen, derartige Verhältnisse, die besonders bei aufeisiger Strömung über dem Meereis vorkommen, in Zukunft auch mit dem dreidimensionalen Atmosphärenmodell zu behandeln. (Siehe auch Kapitel 2: „Die bodennahe Luftströmung an der Neumayer-Station“)

dieses Meeresgebiet zur Verfügung stehen, lassen sich die Ursachen dieser Variationen nicht zweifelsfrei aufklären. Die Messungen erlauben jedoch quantitative Berechnungen des Wassermassenaustausches durch die Framstraße und des Volumentransportes durch die Dänemarkstraße, so daß der Einfluß dieses Transportes auf die Modifikation des Tiefen- und Zwischenwassers in der Grönlandsee bewertet werden kann.

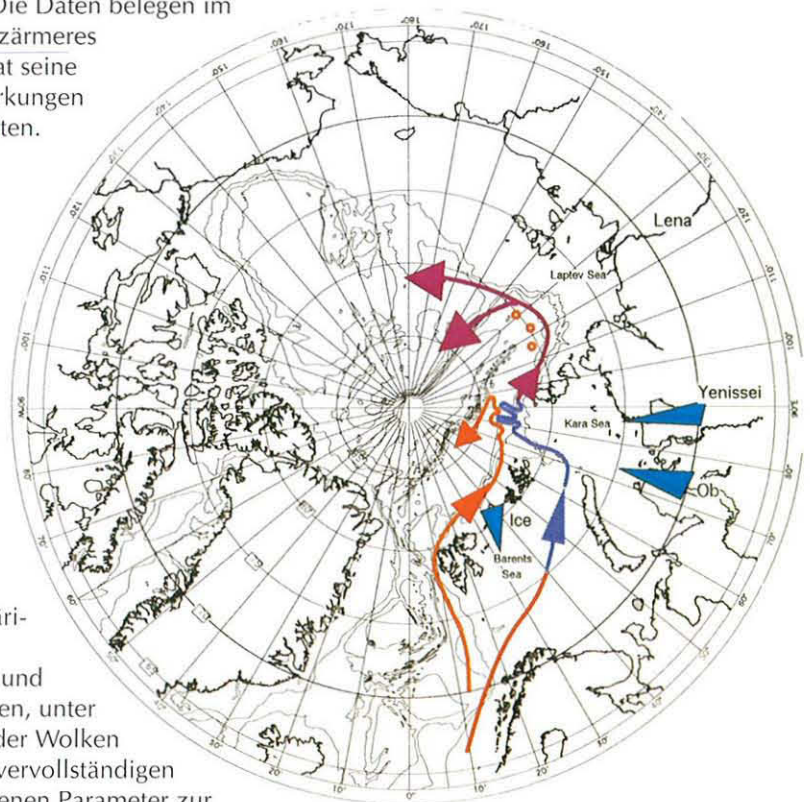
● Die hydrographischen Messungen, die 1993 am Kontinentalabhang in der Barentssee und Laptewsee vorgenommen wurden, bestätigen die Hypothese, daß Wassermassen, die aus den Schelfmeeren in die zentralen Becken abfließen, gemeinsam mit dem durch die Framstraße zugeführten Atlantikwasser die ozeanische Zirkulation im Innern des Nordpolarmeeres erheblich beeinflussen. Die Daten belegen im Detail, daß durch den St. Anna-Trog relativ kaltes und salzärmeres Wasser in das Nansenbecken einströmt. Dieses Wasser hat seine Merkmale durch thermische und dynamische Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre in der Barentssee erhalten.

Aufgrund seiner Dichtestruktur vermag es das durch die Framstraße eingetretene Wasser in das innere Becken zu verdrängen und noch vor dem Erreichen des Nansen-Gakkel-Rückens zum Umlenken und zur Rezirkulation nach Westen zu bewegen (Abb. 2).

Das Barentsseewasser breitet sich dagegen längs des Kontinentalhangs weiter ostwärts aus, überquert offenbar teilweise den Lomonossowrücken und erreicht schließlich das Kanadische Becken. Diese für die Dynamik des Nordpolarmeeres bedeutsamen Vorgänge werden in den gängigen Ozeanmodellen noch nicht realistisch reproduziert. Sie sollen jedoch bei der laufenden Modellentwicklung am AWI angemessen berücksichtigt werden.

● Im Hochsommer 1995 wurde eine dritte Flugzeugkampagne durchgeführt. Deren Ziel war es, die atmosphärischen Grenzschichtprozesse in der Eisrandzone der Framstraße zu untersuchen und vor allem die Turbulenz- und Strahlungsprozesse in der unteren Atmosphäre zu erkunden, unter besonderer Beachtung der physikalischen Eigenschaften der Wolken und des Aerosols. Die Messungen dieser Unternehmung vervollständigen ferner die Daten der beiden früheren Expeditionen, aus denen Parameter zur Berechnung des Impuls- und Energieaustausches an der Meeresoberfläche aus mittlere-

Abb. 2: Zirkulation von Wasser atlantischen Ursprungs im Eurasischen Sektor des Nordpolarmeeres (rot) und seine Veränderung (violett) durch Abkühlung und Zuzmischung von Süßwasser (blau) aus Flüssen und geschmolzenem Meereis.



ren Größen abgeleitet werden. Damit sind wir nun in der Lage, die turbulenten Flüsse und mit geringerer Sicherheit auch die langwellige Strahlungsbilanz an der eisbedeckten Meeresoberfläche aus Routinemessungen zu bestimmen. Die Zuverlässigkeit der Konzepte wurde durch numerische Experimente mit ein- und dreidimensionalen Atmosphärenmodellen überprüft. Die Flugzeugmessungen dienen auch dazu, die turbulenten Vertikaltransporte physikalischer Eigenschaften in der gesamten atmosphärischen Grenzschicht mathematisch zu beschreiben und wirklichkeitsnah in numerischen Modellen darzustellen. Diese Arbeiten haben zu gut begründeten Ansätzen geführt, mit deren Hilfe die subskaligen Prozesse in mesoskaligen Gitterpunktmodellen zufriedenstellend dargestellt werden können.

### 3.2 Die Modellierung von Prozessen und Zirkulationssystemen im Ozean (Sektion Physik II)

#### 3.2.1 Gekoppelte Modelle Ozean-Eis

Das übergeordnete Thema der Ozean-Eis Modellierung ist es, die Prozesse und Veränderungen in hohen Breiten auf die globale ozeanische Zirkulation und das Klimasystem zu beschreiben. Zur Modellierung der weltweiten Ausbreitung von Wärme, Salz und passiven Tracern wurde ein globales Zirkulationsmodell konzipiert, dessen hohe vertikale Auflösung eine gute Differenzierung verschiedener Wassermassen erlaubt. Eine Aufteilung des Modells in zwei Teilmodelle ohne Pol im numerischen Gitter erwies sich als erfolgversprechend. Ein Problem horizontal grobauflösender Modelle ist die Überströmung topographischer Hindernisse, da die Darstellung des Austausches von Wassermassen durch fehlerhafte Repräsentation der beteiligten Prozesse erschwert wird. Es wurde eine Parametrisierung entwickelt, die eine Ausbreitung von Spurenstoffen in einer zusätzlichen, der Bodentopographie folgenden Randschicht adäquat beschreibt.

#### Nordpolarmeer

Das Nordpolarmeer und der nördliche Nordatlantik sowie das Weddellmeer nehmen Schlüsselpositionen in der globalen Zirkulation ein. Der Schwerpunkt der weiteren Modellierarbeit liegt daher in diesen Gebieten und auf dem Austausch dieser Gebiete mit dem Weltmeer.

Das Verständnis der mittleren Zirkulation und der Stofftransporte im Nordpolarmeer sowie der Austausch zwischen Nordpolarmeer und Nordatlantik ist durch die Kombination von Beobachtungen und Modellexperimenten vertieft worden. Ein bestimmendes Element der Zirkulation ist die Aufspaltung des polwärts strömenden Atlantischen Wassers in zwei Äste durch die Framstraße und die Barentssee. Die

### *3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen*

Wassermassentransformation ist auf beiden Wegen sehr unterschiedlich, so daß am östlichen Ende der Barentssee zwei voneinander stark verschiedene Wassermassen aufeinander treffen. Unsere Modellergebnisse reproduzieren die beobachteten Strukturen in diesem Bereich und bestätigen die auf Messungen basierenden Vermutungen über die Ausbreitung von Atlantischem Wasser im Nordpolarmeer. Darüber hinaus bestätigt das Modell, daß die Strömungen im Nordpolarmeer sehr stark durch die Bodentopographie gesteuert werden.

Der Transport von Meereis durch die Framstraße ist für die Verbindung zwischen Nordpolarmeer und Nordatlantik entscheidend. Der Meereistransport unterliegt mehrjährigen Schwankungen, die sich wegen des Einflusses auf die Oberflächendichte in der Tiefenwasserbildung im Europäischen Nordmeer und im nördlichen Nordatlantik widerspiegeln können. Numerische Experimente zur Variabilität von tiefer Konvektion in verschiedenen Seegebieten zeigen eine schnelle Ausbreitung des Signals entlang der als Wellenleiter wirkenden Küsten des Atlantik und große Transportschwankungen der thermohalinen Zirkulation für Konvektionsgebiete südlich der Grönland-Schottland-Schwelle und insbesondere für solche, die direkt über dem Kontinentalabhang liegen. Dagegen machen sich Veränderungen der Konvektion in den Tiefenwasserbildungsgebieten nördlich der Schwelle kaum im Nordatlantik bemerkbar. Hier ist die Antwort des Systems auf das Europäische Nordmeer und das Nordpolarmeer beschränkt. Diese Modellergebnisse sind mit Beobachtungen der Variabilität der Tiefenzirkulation konsistent.

Neben hypothetischen Änderungen in der Konvektion wurden die Auswirkungen einer Anomalie im Meereistransport durch die Framstraße direkt untersucht. Der über 2,5 Jahre erhöhte Meereistransport entsprach dabei der Süßwasseranomalie, die während der sogenannten „Großen Salzgehaltsanomalie“ während der siebziger Jahre im Nordatlantik beobachtet wurde. Das Modell gibt die Ausbreitungswege und das zeitliche Verhalten der Anomalie richtig wieder. Wir schließen aus unseren Experimenten, daß die „Große Salzgehaltsanomalie“ nicht allein durch den erhöhten Transport von Meereis erklärt werden kann.

Im Südlichen Ozean konzentrierten sich die Arbeiten auf die Modellierung der Zirkulation unter dem Filchner-Ronne-Schelfeis und deren Wechselwirkung mit dem offenen Ozean des angrenzenden Weddellmeeres. Durch den erstmaligen Einsatz eines dreidimensionalen Modells auf eine Konfiguration mit realistischer Schelfeisdicke und Bodentopographie erhalten wir ein völlig neues Bild der Zirkulation unter dem Schelfeis. Das Ergebnis der Modellrechnungen stimmt sehr gut mit den vorhandenen Beobachtungen überein und erlaubt eine neue Interpretation der Daten.

***Zirkulation unter dem Filchner-Ronne-Schelfeis***

(Siehe auch Kapitel 2: Modellierung der Wasserzirkulation unter dem Filchner-Ronne-Schelfeis)

Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß sich der Austausch mit dem vorgelagerten offenen Ozean auf die tiefen Depressionen im Osten und Westen des Filchner-Ronne-Schelfeises konzentriert. Daher wurden Sensitivitätsstudien mit unterschiedlichen Transporten über die Schelfeiskante in diesen Regionen durchgeführt. Das innere Regime der Zirkulation unter dem Schelfeis ist robust, und das Strömungsmuster bleibt unverändert. Ein nennenswerter Austausch kommt nur dann zustande, wenn die Unterschiede zwischen der Wassertiefe vor der Schelfeiskante und der Mächtigkeit der Wasserschicht unter dem Schelfeis zumindest abschnittsweise gering sind.

**Stabilität der  
thermohalinen  
Zirkulation**

Durch das Bestreben, anthropogen verursachte Klimaänderungen zu erkennen, ist die natürliche Variabilität des Klimasystems auf mehrjährigen und längeren Zeitskalen in das Zentrum des Interesses gerückt. Da atmosphärische Prozesse vergleichsweise kürzere Zeitskalen haben als ozeanische, hat die ozeanische Zirkulation und hier insbesondere die thermohalin getriebene Komponente (die Tiefenzirkulation) erhöhtes Interesse gefunden. Verschiedene Untersuchungen haben in den letzten Jahren gezeigt, daß die früher gängige Vorstellung einer mehr oder weniger stationären ozeanischen Zirkulation nicht aufrecht erhalten werden kann. So schwankt die Tiefenzirkulation beim Übergang zwischen Warm- und Eiszeiten erheblich.

Die Tiefenzirkulation (thermohaline circulation = THC) wird durch Wärme- und Süßwasseraustausch mit der Atmosphäre und dem Wasserablauf von Kontinenten angetrieben. Schwankungen der THC sind daher in der Regel mit Schwankungen dieser Größen verknüpft. Die Komplexität der ozeanischen Dynamik und Thermodynamik kann aber auch selbst interne Schwankungen erzeugen, die auch bei zeitlich konstanten äußeren Antrieben erhalten bleiben.

Unsere Arbeiten sollen die wesentlichen positiven und negativen Rückkopplungsprozesse in diesem System aufdecken, mit physikalischen und mathematischen Methoden beschreiben und ihr Zusammenspiel bei selbsterhaltenden Oszillationen im Klimasystem untersuchen.

Die Behandlung der Oberflächenrandbedingungen bzw. der Atmosphäre ist besonders kritisch, da eine unvollständige oder fehlerhafte Darstellung von Rückkopplungsmechanismen im System Ozean-Meereis-Atmosphäre zu einer unrealistischen Einschätzung der Stabilität der thermohalinen Zirkulation führt. Wir haben verschiedene Rückkopplungsmechanismen untersucht. Zur Erfassung der Wirkung der atmosphärischen Prozesse wurde ein Energiebilanzmodell der Atmosphäre entwickelt. In unserem Modell wird auch der atmosphärische Feuchtetransport realistisch dargestellt. Die

Transporte können anhand von Beobachtungen oder anderer Vorgaben eingestellt werden. Bei Berücksichtigung der atmosphärischen Transporte wird auch die negative Rückkopplung durch Wärmetransport im Ozean ermöglicht. Insgesamt ergibt sich ein wesentlich stabileres und damit realistischeres Verhalten als bei gemischten Randbedingungen. Durch Einbeziehung von Meereis ändert sich das Ergebnis durch dessen isolierende Wirkung und die Eis-Albedo-Rückkopplung. Wird die Strahlungsbilanz am Oberrand der Atmosphäre durch die Albedo des Meereises verändert, dann wirken die daraufhin einsetzenden atmosphärischen Wärmetransporte stabilisierend auf die thermohaline Zirkulation, indem sie der Verlagerung des Eisrandes entgegenwirken.

Mit vereinfachten Atmosphärenmodellen, die aber wesentliche Rückkopplungen im Klimasystem erfassen, sind auch Rechnungen zum Paläoklima möglich. Es wurden Simulationen der globalen ozeanischen Zirkulation für das Maximum der letzten Vereisung durchgeführt.

Unser theoretisches Verständnis der ozeanischen Zirkulation bezieht sich vor allem auf die großskaligen, windgetriebenen Strömungen in den ozeanischen Becken, die nur unwesentlich durch die Tiefseetopographie und durch Details der mesoskaligen Wirbelvariabilität bestimmt werden. Der Antarktische Zirkumpolarstrom (ACC) ist das einzige in sich geschlossene Stromsystem, das unbeeinflusst von kontinentalen Barrieren ist. Überdies ist er mit 20.000 km der längste und mit einem Massentransport von  $130 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$  der intensivste Strom im Weltozean. Ein weiteres wichtiges Merkmal des ACC ist seine extrem hohe räumliche und zeitliche Variabilität. Der ACC ist überdies das einzige ozeanische Stromsystem, das Ähnlichkeiten mit großskaligen atmosphärischen Strömungen aufweist.

Eine grundlegende Frage bei allen zonal periodischen Strömungen ist das Verständnis der dynamischen Balance. Eine zweite wichtige Frage betrifft die zeitliche und räumliche Variabilität des Gesamtstromsystems. Mögliche Ursachen solcher Schwankungen sind für atmosphärische Bedingungen in den letzten Jahren intensiv durch Analyse von Beobachtungen und Modellen untersucht worden. Ein möglicher Mechanismus besteht in den durch kleinskalige Turbulenz (Mesoskala, s.o.) vermittelten Übergängen zwischen verschiedenen Gleichgewichtszuständen der großräumigen zeitlich gemittelten Zirkulation. Eine andere Möglichkeit ist chaotische Dynamik der mittleren Zirkulation. Für beide Vorstellungen sind sogenannte „low-order“ Modelle durch Reduktion der enormen Anzahl der Freiheitsgrade auf nur wenige aufgestellt worden.

Unsere Arbeit konzentrierte sich auf folgende Fragen:

- Kann die Dynamik einer turbulenten zonal periodischen Strömung auf der rotieren-

### 3.2.2 Untersuchung zur Dynamik des Antarktischen Zirkumpolarstroms

den Erde auf wenige Freiheitsgrade reduziert werden, und können Zustände der Zirkulation durch ein solches „low-order“ Modell – möglichst durch analytische Methoden – verstanden werden?

● Kann die zeitliche Variabilität einer solchen Strömung als Übergang zwischen Gleichgewichten durch interne Dynamik der großräumigen Zirkulation oder als extern angeregt (etwa durch kleinskaliges Rauschen) verstanden werden?

Da diese Fragen nicht aus den vorliegenden Beobachtungen beantwortbar sind, wird die Realität durch ein hochauflösendes (d. h. die mesoskalige Turbulenz auflösendes) numerisches Modell ersetzt. Das verwendete Modell basiert auf den quasi-geostrophischen (QG) Gleichungen auf der sogenannten  $\beta$ -Ebene. Es ist den Gegebenheiten des ACC angepaßt und hat eine idealisierte Berandung, Schichtung und Topographie. Das „low-order“ Modell wird durch Vereinfachung der Dynamik großskaliger QG-Strömungen erreicht sowie durch Projektion auf geeignete Basisfunktionen und extreme Beschränkung bezüglich der Zahl dieser Funktionen.

Die Kräftebilanz des ACC kann nur ausgeglichen werden, wenn der Impulsfluß durch mesoskalige Wirbel und die Druckaufnahme der Strömungen an der Tiefseetopographie berücksichtigt werden. Der durch die Westwinde in den Ozean eingebrachte ostwärtige Impuls wird durch die Wirbelaktivität vorzugsweise in die tiefen Schichten transportiert und dort dem System entzogen, indem die Strömung im tiefen Ozean zonale Druckkräfte erzeugt, die den Impuls auf die Topographie übertragen.

Um diese Prozesse in einem „low-order“ Modell sinnvoll darstellen zu können, muß die Bodendruckverteilung sowie der durch die mesoskalige Turbulenz bedingte Vertikaltransport von Impuls möglichst realistisch durch die berücksichtigten Basisfunktionen wiedergegeben werden. Die „Parametrisierung“ des vertikalen Impulstransports ist äußerst schwierig. Dies seit Jahrzehnten drängende Problem in der Ozeanographie und Meteorologie ist noch ungelöst. Wir verwenden daher einen sehr einfachen linearen Ansatz.

Es wurden zwei verschiedene „low-order“ Modelle aufgestellt und analysiert. Es stellt sich überraschenderweise heraus, daß das einfachere – mit neun Freiheitsgraden und erheblicher Nichtlinearität – bezüglich der Gleichgewichtszustände vollständig analytisch lösbar ist. Dies ist nach unserer Kenntnis das einzige Modell dieser Art, das sowohl Schichtung, Topographie und die relevanten Nichtlinearitäten enthält. Durch aufwendige analytische Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß die Mehrfachgleichgewichte durch „barokline“ Resonanz zustände kommen: der zonale Grundstrom tritt durch die Kopplung mit baroklinen Rossbywellen in Resonanz mit der zonalen Auslenkung der Bodentopographie. Wir sind damit in dem Verständnis der Balance einer ozeanischen Zonalströmung (dem ACC) wesentlich vorangeschritten.



Wir haben auch versucht, die „low-order“ Modelle anhand der „Realität“ (d. h. Daten aus dem hochauflösenden numerischen Modell) zu verifizieren. Dafür wurden alle Terme der „low-order“ Modellgleichungen berechnet und statistische Tests für die Hypothese ausgeführt, daß diese Gleichungen bis auf die nichtaufgelöste kleinskalige Turbulenz erfüllt sind.

#### **Verbesserungen von physikalischen Prozessen in numerischen Zirkulationsmodellen**

Unter dem Überbegriff „Prozeßstudien und Modelloptimierung“ wurden im Berichtszeitraum zahlreiche Untersuchungen lokaler und regionaler Prozesse der ozeanischen Dynamik konzipiert und durchgeführt. Dabei ging es vorrangig um die Verbesserung der am Institut benutzten Ozean-Zirkulationsmodelle. Dazu wurden die jeweiligen Prozesse in hochauflösenden Rechnungen simuliert und ihre Auswirkungen auf die großskalige Zirkulation in Prinzipstudien ermittelt. Im Vordergrund standen mesoskalige und sub-mesoskalige Prozesse:

- Die Überströmung von submarinen Schwellen (Overflow): Dieser für die thermohaline Zirkulation entscheidende Prozeß wird in großskaligen Zirkulationsmodellen nicht hinreichend realistisch simuliert. Zwei Ansätze wurden auf ihre Anwendbarkeit getestet: (a) die Einbettung eines höherauflösenden Modells in der Overflow-Region, und (b) die Ankopplung eines topographie-folgenden Bodengrenzschichtmodells, in dem die Überströmung konzeptionell besser dargestellt werden kann. Mit beiden Verfahren konnte für ausgewählte Situationen eine Verbesserung erzielt werden. (Siehe auch Kapitel 2: Der Austausch von Tiefenwasser über die untermeerischen Schwellen zwischen Grönland und Schottland)
- Topographische Schubspannung: Für diesen aus der Kombination von ozeanischer Variabilität und topographischer Rauigkeit entstehenden Antrieb der mittleren Strömung existiert eine aus theoretischen Überlegungen abgeleitete Parametrisierung. Erste Ergebnisse zeigen eine weitgehende Übereinstimmung zwischen der Parametrisierung und numerischen Ergebnissen.
- Zirkulation um submarine Kuppen: Die numerische Modellierung im Rahmen eines interdisziplinären US-amerikanischen Projektes zur Untersuchung physikalischer, biologischer und geologischer Prozesse an einer isolierten untermeerischen Kuppe konnte zu einem vorläufigen Abschluß gebracht werden. Eine auch quantitative Übereinstimmung zwischen Modell und Beobachtungen konnte mit einem extrem hochauflösenden Modell (500 m Gitterabstand) erreicht werden.

Im Hinblick auf zwei weitere Prozesse wurden Modellvergleiche durchgeführt:

- Ablösung des Golfstroms bei Cape Hatteras: Es wurden sowohl der Einfluß der horizontalen Auflösung als auch die Effekte unterschiedlicher Vertikalkoordinaten

#### **3.2.3 Prozeßstudien und Modellentwicklung**

betrachtet. Diese Untersuchung fand im Rahmen des Kieler SFB 133 statt.

- Vergleich der konzeptionell unterschiedlichen Darstellungen von Topographie und Schichtung als in einem tiefen Canyon im Kontinentalschelf. Trotz einheitlich sehr hoher horizontaler Auflösung (2 km) wurden teilweise erhebliche Unterschiede in den numerischen Lösungen gefunden.

Schließlich wurden numerische Experimente zur advektiv-diffusen Ausbreitung des Mittelmeerwassers im Nordostatlantik in Zusammenarbeit mit Kollegen des IfM Kiel betrieben.

#### **Gitter-Boltzmann- Modelle**

Die Simulation von Flüssigkeits- und Gasströmungen mit Gittergasen und Gitter-Boltzmann-Gleichungen ist ein interessantes neues Gebiet der theoretischen Physik. Gittergase sind ein vereinfachtes Abbild der mikroskopischen Prozesse in einem Vielteilchensystem. Teilchen besetzen ein vorgegebenes Gitter und können sich entlang der Gitterachsen pro Zeitschritt von einem Gitterknoten zum nächsten bewegen. Eine wesentliche Erweiterung hat die Gittergasforschung mit der Aufstellung und Untersuchung der sogenannten Gitter-Boltzmann-Gleichungen erfahren. Statt der für Gittergase mit „realistischen“ makroskopischen Verhalten sehr aufwendigen Untersuchung der Stoßregeln und Ableitung der makroskopischen Gleichungen wird die zugehörige Boltzmann-Gleichung hergeleitet, wobei der Stoßterm durch einfache Relaxation an ein lokales Gleichgewicht approximiert wird.

Gittergase können als eine vereinfachte Nachbildung eines Vielteilchensystems angesehen werden, dessen Freiheitsgrade und Dynamik soweit eingeschränkt sind, daß die zeitliche und räumliche Entwicklung auch für ein großes Teilchenensemble durch heute verfügbare große Rechner integriert werden kann. Es wurde ein Gitter-Boltzmann-Modell für Diffusionsgleichungen in beliebigen Dimensionen entwickelt. In einem Spezialfall ist der daraus resultierende Algorithmus äquivalent zu einem expliziten endlichen Differenzenverfahren.

Ein Gitter-Boltzmann-Modell wurde für die Integration der Navier-Stokes-Gleichungen unter Berücksichtigung zusätzlicher Kräfte aufgestellt. Mit Hinblick auf Anwendungen in der physikalischen Ozeanographie wurden Corioliskraft, Windantrieb und eine lineare Reibung eingebaut. Die Rechnungen zeigen gute Übereinstimmung mit dem analytischen Modell von Stommel und numerischen Lösungen des nicht-linearen Problems.

#### **3.2.4 Untersuchungen zur Konvektion in Ozean und Atmosphäre**

Die Tiefenkonvektion ereignet sich im offenen Ozean innerhalb begrenzter Perioden unter extremen Witterungsverhältnissen. Sie ist schwer zu beobachten, und trotz des wachsenden Interesses an diesem Phänomen gibt es nur wenige empirische Daten.

### *3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen*

Die Tiefenkonvektion im offenen Ozean tritt nur in wenigen Bereichen des Weltmeeres auf, wobei das Mittelmeer das am besten dokumentierte Gebiet ist. Beobachtungen gibt es auch in der Labrador- und Grönlandsee sowie im Weddellmeer. Es wird angenommen, daß die Konvektion eine Schlüsselrolle in der globalen thermohalinen Ozeanzirkulation und somit im gesamten Klimasystem spielt. Durch Austausch von Wärme und Süßwasser mit der Atmosphäre in polaren Breiten wird das Oberflächenwasser schwer und sinkt in große Tiefen, um sich dann lateral auszubreiten. Diese Prozesse sind wenig verstanden und daher in den ozeanischen Komponenten der heutigen Klimamodelle nur sehr ungenügend repräsentiert.

Wir haben numerische Experimente zur Tiefenkonvektion des offenen Ozeans unter Verwendung von hochauflösenden, nicht-hydrostatischen Modellen durchgeführt. In diesem Projekt wird versucht, die vertikalen Transporte von Wärme, Salz und anderen Stoffen von den sehr kleinen Skalen der Tiefenkonvektion auf großräumige Zirkulationsmodelle zu übertragen. Für dieses Modell ist ein aufwendiges Analysepaket für die Energetik der konvektiven Turbulenzelemente erstellt worden.

Mit verschiedenen Ansätzen wird versucht, gemessene Daten mit Hilfe von Modellen zu interpretieren. Das Ziel ist dabei, gemessene Daten der ozeanischen Zirkulation in einheitlicher Form mit numerischen Modellen zu verknüpfen, um unbekannte oder nur schwer meßbare Parameter der ozeanischen Bewegung zu bestimmen (wie die Tiefenzirkulation oder die thermohalinen Komponenten des ozeanischen Antriebs). Wir nutzen gegenwärtig Satellitenaltimetrie und verschiedene Sammlungen hydrographischer Daten, um diese in regional hochaufgelöste Modelle oder in globale Wassermassenmodelle zu assimilieren.

#### *3.2.5 Nutzung von Daten in Modellen*

Ausgangspunkt unserer Arbeiten ist der schon eingeschwungene Zustand des globalen LSG-Modells des Max-Planck-Instituts (MPI) Hamburg. Um diesen Zustand zu erzeugen, wurde das Modell für 5.000 Jahre mit gemessenen Jahresgängen von Lufttemperaturen und Windschubspannungen sowie einer Anpassung an den oberflächensalzgehalt nach Levitus angetrieben. Unser Ziel, die Oberflächenflüsse und einen dynamisch balancierten hydrographischen Datensatz gleichzeitig zu bestimmen, wurde in mehreren Schritten verfolgt. Über die Optimierung des Windfeldes hinaus, die am MPI Hamburg durchgeführt wird, passen wir auch Wärme- und Süßwasserflüsse an. Auch wird die Assimilationsperiode über zwei Jahre verlängert. Im Prinzip genügt es, diese Antriebe vorzugeben und damit den mittleren, jahreszeitlich aufgelösten Zustand des Modells zu beschreiben. Umgekehrt ist es möglich, aus einem gemessenen Ozeanzustand die Antriebe invers zu berechnen. Das Modell soll

#### ***Inversionen mit einem globalen Zirkulationsmodell (LSG)***

nicht nur die Meßdaten gut wiedergeben, sondern auch auf einer Zeitskala von mehreren Jahren die saisonalen Schwankungen annähernd beschreiben.

Werden Anfangszustand und Antriebe gleichzeitig bestimmt, so ergibt sich für den ersten Zeitschritt eine Mehrdeutigkeit: Differenzen zwischen Modell und Meßwerten können sowohl durch Änderungen des Anfangszustands wie auch des Antriebs kompensiert werden. Um dieses Problem zu umgehen, haben wir in einer Reihe von Experimenten abwechselnd jeweils nur den Anfangszustand oder den Antrieb optimiert. Als Messungen benutzen wir dabei zunächst noch den Levitusatlas und wollen später neuere Datensammlungen wie beispielsweise für den Nordatlantik von Fukumori et al. (1991) oder für den Südlichen Ozean von Olbers et al. (1992) verwenden.

Der klimatologische Zustand des LSG nach 5.000 Jahren Modellintegration zeigt Abweichungen von bis zu 5° C gegenüber den Messungen im oberen Ozean. Dagegen ist der tiefe Ozean um ein bis zwei Grad zu warm. Durch Assimilation können diese Differenzen stark reduziert werden. Auch weiterhin bleibt die weit nach Süden verschobene Nordgrenze des subtropischen Wirbels im Nordatlantik bestehen. Außerdem steht der tiefe Ozean noch nicht im klimatologischen Gleichgewicht mit den optimierten Antrieben.

#### ***Inversion von Satellitendaten***

In das globale, grobauflösende Zirkulationsmodell LSG wurden auch Meßwerte des Satelliten-Altimeters TOPEX/POSEIDON assimiliert. In grobauflösenden Modellen werden Randströme nicht scharf genug gebündelt dargestellt. Mit Hilfe der Daten kann man dies teilweise kompensieren. Wir suchen dabei einen Kompromiß, bei dem einerseits die Bewegungsgleichungen des Modells möglichst genau erfüllt werden und andererseits die modellierte Meeresoberfläche den Meßwerten angenähert ist. Aus numerischen Gründen wurden dazu die Bewegungsgleichungen umformuliert. Es ergibt sich eine diagnostische Beziehung, mit deren Hilfe wir die globale Zirkulation für jeden Monat des Jahres 1993 berechnet haben. Dabei werden die Strömungen auch in den Gebieten des Ozeans beeinflußt, für die keine Satellitenmessungen vorliegen.

Am AWI analysierte synoptische Karten der von GEOSAT gemessenen Anomalien der Meeresoberflächenauslenkung wurden in ein regionales wirbelauflösendes Modell assimiliert. Das Modell beschreibt die nichtlineare quasigeostrophische Dynamik des Antarktischen Zirkumpolarstroms südlich von Afrika. Die Assimilation verwendet die adjungierte Methode und ist für Zeiträume bis zu drei Wochen sehr erfolgreich. Auf längeren Zeitskalen beginnen die Ränder des regional begrenzten Modells auf das Innere zu wirken.

Ein entscheidender Fortschritt wurde bei der Modellierung von Wirbeln erzielt, die bei ungenügender Kenntnis der Randbedingungen eine Hauptfehlerquelle darstellte.

Durch die Assimilation von Altimeterdaten mit der „adjungierten“ Methode lassen sich auch optimale Randwerte für das quasi-geostrophische Zirkulationsmodell bestimmen. Einzelne Wirbel können nunmehr über mehrere Monate verfolgt werden. Die Formulierung erlaubt es prinzipiell, das Modell in jedem gewünschten Gebiet des Ozeans anzuwenden.

Als Motivation für diese Untersuchung liegen Beobachtungen vor, nach denen im Eis eingelagerte Algenschichten durch Absorption von Licht zur Abschmelzung an der Eisunterkante geführt haben. Es wird vermutet, daß solche Vorgänge wegen des häufigen Auftretens von Algenblüten im Eisgürtel des Südpolarmeeres einen Einfluß auf den Wärmehaushalt des Meereises haben. Wir haben ein Modell vorgestellt, das den Einfluß von Organismen im Meereis auf die physikalischen Prozesse des Meereiswachstums quantitativ beschreibt (siehe dazu auch Zweijahresbericht 1992/93). Dazu wurde ein eindimensionales thermodynamisches Meereismodell mit einem biooptischen Modell gekoppelt. Die physikalischen Grundlagen aller zu berücksichtigenden Prozesse (Thermodynamik von Meereis, Strahlungstransporttheorie, empirische Parametrisierungen) werden sehr präzise dargestellt. Die Arbeit untersucht ferner die Sensitivität des Modells gegenüber Parametervariationen und ordnet die Ergebnisse in das wissenschaftliche Umfeld ein.

### 3.2.6 Mikroalgen und Meereisentwicklung

## 3.3 Meeresphysik und Instrumentenentwicklung

Prozeßstudien in den Polargebieten erfordern die ständige Weiter- und Neuentwicklung von Beobachtungs- und Meßmethoden und der dafür notwendigen Sensoren und Meßgeräte. Umgekehrt erschließen neue Meßverfahren neue oder vertiefte Einblicke in Naturvorgänge, die sich im Meer und in der Atmosphäre der hohen Breiten abspielen.

In den letzten zwei Jahren wurden mit Geräteentwicklungen, Feldmessungen und deren Interpretation folgende Themen behandelt:

Die winterliche Konvektion und die damit verbundene Bildung von Tiefenwasser bestimmen in erheblichem Maße die Ventilation des Weltozeans. Die Beobachtung des konvektiven Status der Grönlandsee ist deshalb eine wichtige Aufgabe in der Physikalischen Ozeanographie. Unser Beitrag dazu wurde während zweier „Polarstern“-Expeditionen (1994 und 1995) auf dem Monitoring Schnitt auf 75° N durch CTD-Messungen im Abstand von 10 m vom Grönländischen Schelf bis zur Bäreninsel fortgesetzt. Neben äußerst geringer Konvektionsaktivität zeigen die Messungen einen

### 3.3.1 Konvektion und Tiefenwasserbildung

weiteren Anstieg der Bodenwassertemperaturen sowie im oberen Zwischenwasser eine Tendenz zur Angleichung an atlantische Wassertypen. Die Arbeiten werden im Rahmen des MAST-Projekts ESOP-2 weitergeführt.

Speziell für dieses Projekt wurde eine selbstprofilierende verankerte Tiefseesonde („JoJo“-Sonde) entwickelt, weil die Beobachtungen der durch Konvektion verursachten Veränderungen in der Grönlandsee mit schiffsgestützten Kampagnen normalerweise nur im Sommer stattfinden können, Winterbeobachtungen aber einen viel direkteren Einblick in den Prozeß versprechen. Die selbstprofilierende Tiefseesonde soll täglich ein CTD-Profil in der gesamten Wassertiefe bis 3.600 m über eine Maximaldauer von einem Jahr messen und speichern. Zu den Vorbereitungsarbeiten gehörten Labor-messungen zur Kompressibilität der verwendeten Materialien wie Kunststoffe, Glas-kügelchen und der Alkane Hexan und Heptan bis 400 bar bei Temperaturen im Bereich des Gefrierpunktes. Es handelt sich dabei um Bedingungen, unter denen diese Materialeigenschaften bisher noch nicht bekannt waren. Die günstigste Sondenform wurde durch Schleppversuche im Tank und Fallexperimente in einem See ermittelt. Die Sonde wurde während ARK XI/2 im Herbst 1995 vom Schiff aus nach etwa 1 1/2jähriger Entwicklungsarbeit getestet. Gegenwärtig läuft eine weitere Erprobung in einer Kurzzeitverankerung bei den Kanarischen Inseln. Das Gesamtsystem soll für ESOP-2 im Herbst 1996 einsatzbereit sein.

Für die Tiefenwasserbildung in der Antarktis sind die für Beobachtungen schwer zugänglichen Prozesse unter dem Schelfeis wichtig. Um Sensoren in die Grenzschicht und die Wassersäule unter dem Eis einzubringen, wurde die Durchschmelzsonde SUSI als Geräteträger für größere Eisdicken weiterentwickelt, nachdem das 220 m dicke Schelfeis bei der Neumayer-Station bereits 1993 erfolgreich durchschmolzen wurde. Während der Filchner-Kampagne 1995 ist ein weiterer Versuch fehlgeschlagen. Entwicklungsbedarf besteht derzeit noch bei der Winde zum vollautomatischen Profilieren in der Wassersäule unter dem Schelfeis.

### 3.3.2 Die Nordost- wasser-Polynja

Die Auswertung der im Internationalen Arktischen Polynja Projekt (IAPP, Expedition ARK IX, 1993) durchgeführten Untersuchungen in der North-East Water Polynja wurden weitergeführt. Die Ergebnisse betreffen die detaillierte Beschreibung der dortigen Schichtungs- und Strömungsverhältnisse sowie weitere Untersuchungen über den vermuteten Entstehungsmechanismus dieser regelmäßig im Nordosten Grönlands auftretenden Polynja. Durch Vielparameter-Analyse mit Nährstoffen und der Gelbstoff-Fluoreszenz konnten lokal gebildete von importierten Wassermassen unterschieden werden. Mit Hilfe von Satellitendaten wurde das langfristige Verhalten der Polynja über mehrere Jahre untersucht und der Einfluß des Windes auf Ausdehnung und hydrographische Struktur des Gebietes studiert.

### *3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen*

Dabei wurden drei wesentlich neue Erkenntnisse gewonnen: Die Polynja verdankt ihre Entstehung überwiegend der Wechselwirkung zwischen einem nordwärts setzenden Küstenstrom mit einer Festeisbrücke, die das aus dem Nordpolarmeer ausströmende Scholleneis aus dem Polynja-Bereich fernhält. Der Einfluß lokaler Winde ist dagegen von untergeordneter Bedeutung. Er weist eine deutliche Saisonalität aus und begünstigt die Entstehung offenen Wassers in den Sommermonaten. Ferner wurde gezeigt, daß im Polynja-Gebiet kein Tiefenwasser entsteht und in ihrem Grabensystem verschiedene Bodenwassertypen existieren. (Siehe auch Kapitel 2: Eisfreie Stellen im Packeis – Die Nordostwasser-Polynja in der Grönlandsee)

Bei der Identifizierung der Wassermassen in der Nordostwasser-Polynja hat sich neben den Nährstoffkonzentrationen die Gelbstoff-Fluoreszenz als schnell meßbarer Wassermassenparameter bewährt. Deshalb wurde durch Messungen in anderen polaren Gebieten im Norden wie im Süden untersucht, unter welchen Bedingungen die Gelbstoff-Fluoreszenz als Wassermassentracer benutzt werden kann und wie entsprechende optische Sensoren kalibriert werden können. Diese Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen.

#### ***Partikelflüsse im Atlantik***

Zur Erforschung des höherfrequenten Spektrums und des episodenhaften Auftretens von Partikelfläßen wurden die Dauermessungen mit INFLUX-Strommessern (Geräte mit optischen Sensoren für Trübung und Fluoreszenz von Chlorophyll) in der ESTOC-Verankerung (European Station for Time Series in the Ocean) bei den Kanarischen Inseln in Zusammenarbeit mit dem Sonderforschungsbereich 261 (Bremen) weitergeführt. Im Rückblick auf die mittlerweile fünfjährige Zeitserie muß die im Frühjahr 1993 in 800 m Wassertiefe beobachtete einwöchige Phase mit Trübungs- und Fluoreszenzwerten wie im Oberflächenwasser wohl als besonderes „Ereignis“ gewertet werden. Anhand der Analysen des Materials aus einer Sedimentfalle in derselben Verankerung konnten die Registrierungen interpretiert und daraus geschlossen werden, daß sie von einer absinkenden Planktonblüte herrühren.

Als Ergänzung zu den genannten Studien im offenen Ozean beteiligten wir uns mit INFLUX-Strommessungen an Untersuchungen zum Partikelfluß im Ausstromgebiet des Rheins. Dies geschah in enger Zusammenarbeit mit einer holländischen Forschergruppe des National Institute for Coastal and Marine Management im Rahmen des MAST III-Projekts PROFILE (Processes in Regions of Freshwater Influence). Im Ausstromgebiet des Rheins ist die Konzentration an mineralischen und chlorophyllhaltigen Schwebstoffen sehr hoch, und deshalb konnten direkte Transportmessungen

#### ***3.3.3 Partikelflußstudien***

#### ***Dauerregistrierung von Partikelfläßen mit optischen Methoden***

während Planktonblüten im Frühjahr und Herbst durchgeführt werden.

Schließlich wurde eine Sedimentfallenverankerung des SFB 313 Kiel mit einem INFLUX-Strommesser erfolgreich in der Grönlandsee geborgen. Dadurch konnte die erste über ein Jahr lange Zeitserie der o.a. optischen Größen mit einem Meßintervall von einer Stunde gewonnen werden. Erwartungsgemäß wurde in rund 600 m Tiefe kein Chlorophyll gemessen. In den Wintermonaten ergaben sich jedoch ausreichend hohe Rückstreusignale, die auf einen beträchtlichen Horizontaltransport von Teilchen hindeuten. Über ihre Art werden die Analysen des Fallenmaterials Auskunft geben, die noch nicht abgeschlossen sind.

Aus den Druckregistrierungen des INFLUX-Strommessers ergaben sich interessante Hinweise auf das Verhalten der Verankerung im Ostgrönlandstrom, der in den Wintermonaten kräftig ausgebildet ist: Durch die Auslenkungen der Meßkette bei Strömungsgeschwindigkeiten um 30 cm/s sind die Geräte in 600 m Tiefe zeitweise bis über 1.000 m Wassertiefe abgesunken, wobei Vertikalgeschwindigkeiten bis 1.000 m pro Tag auftraten. Unter solchen Bedingungen ist es nicht mehr möglich, Vertikalflüsse aus der Menge des mit Sedimentfallen gefangenen Materials zu bestimmen.

#### 3.3.4 Messung und Simulation der solaren Ultraviolett- Strahlung

Der Abbau der stratosphärischen Ozonschicht ist mit einem Anwachsen der ultravioletten Sonneneinstrahlung an der Erdoberfläche verbunden. Dem steilen spektralen Abfall dieser Einstrahlung im Wellenlängenbereich zwischen 320 und 280 nm (UV-B) steht ein fast exponentieller Anstieg der biologischen Empfindlichkeit gegenüber. Ein Meßverfahren zur Bestimmung des solaren UV muß deshalb bei genau reproduzierbaren Wellenlängen über einen dynamischen Meßbereich von wenigstens fünf Zehnerpotenzen mit hoher Präzision messen können.

Mit dem in der Sektion Meeresphysik entwickelten hochauflösenden Spektralphotometer wurden erste Messungen auf der Koldewey-Station sowie im südlichen Indischen Ozean von Bord des französischen Forschungsschiffs „Marion Dufresne“ durchgeführt. Die Geräte erwiesen sich als sehr zuverlässig, häufiges Kalibrieren ist überflüssig. Durch die Berechnung geeigneter Intensitäts-Verhältnisse im kurz- und langwelligen UV-B-Bereich lassen sich in der Atmosphäre unter günstigen Bedingungen noch Ozonschwankungen von 1% nachweisen. In klarem antarktischen Ozeanwasser liegt die Nachweisgrenze für UV-B für 295 nm bei völlig bedecktem Himmel in einer Wassertiefe von ca. 30 m.

Zur Untersuchung der schädlichen Auswirkungen der UV-B-Strahlung bei Phytoplankton, Makroalgen und Fischlarven wurde ein Sonnenscheinsimulator (SONSI) entwickelt (siehe auch Kapitel 2: Der Sonnenscheinsimulator). Für ein Probevolumen von ca. 1 Liter lassen sich damit fast alle erdenklichen atmosphärischen Strahlungsbedingungen einschließlich der Ozonvariation und der Wolkenbedeckung einstellen.



Bisher wurden sechs Geräte fertiggestellt.

Die Fernerkundung der Verteilung und der Art des Meereises verfolgt im wesentlichen zwei Ziele: Einmal geht es um die Beratung der Schifffahrt in den Polarmeeren, zum anderen um die Erforschung der Wechselwirkungen zwischen der Atmosphäre und den eisbedeckten Teilen des Weltmeeres. Die dazu mit Hilfe von Satellitensensoren verschiedenster Art gewonnenen weltweiten Daten bedürfen aber noch der Validierung vor Ort. Außerdem können sich spezielle Meßkampagnen bei der Bereitstellung der grundlegenden Informationen über das Eis nicht nur auf Satellitendaten stützen. Man benötigt dazu detaillierte Kenntnisse über die Meereiskonzentrationen und Eistypen im Bereich von 1 m bis zu einigen 100 km.

Bei den in der Sektion Meeresphysik für diesen Nahbereich entwickelten Rasterkameras handelt es sich um kleine Systeme, die auch vom Hubschrauber aus eingesetzt werden können. Mit der Kombination einer Graustufenkamera (LSC) und eines Infrarot-Linescanner (IRLS) lassen sich unter winterlichen Bedingungen neben der exakten Ermittlung der Eiskonzentration bis zu fünf verschiedene Eistypen unterscheiden. Allerdings gelingt es damit nicht, Schmelztümpel auf sommerlichem Meereis zu identifizieren. Weil Schmelztümpel auch die Fernerkundung mit Mikrowellensensoren vom Satelliten erschweren, wurde zur Verbesserung der dafür benötigten Algorithmen ein Farblinescanner (CLS) entwickelt und erstmals auf der Flugzeug-Meßkampagne REFLEX III erfolgreich eingesetzt.

Die Entwicklung des CLS für die drei Grundfarben Rot, Grün und Blau erfolgte in Zusammenarbeit mit der Hochschule Bremen, zum Teil im Rahmen eines Praktikums des Studiengangs Elektrotechnik. Zeitweise waren bis zu zwölf Ingenieurstudenten am Projekt beteiligt, und die Integration des Gesamtsystems wurde in einer Diplomarbeit beschrieben. Über den Vergleich der Linescanner-Daten mit denen des ERS-1 wird in Kürze eine Doktorarbeit abgeschlossen.

In der Zwischenzeit sind neue Ideen für die Anwendung des CLS aufgetaucht. Durch einfaches Auswechseln des Objektivs lassen sich auch Eis- und Sedimentkerne im Labor schichtenweise abrastern, um sie digital zu dokumentieren und um möglicherweise Vorabinformationen über deren Struktur mit Hilfe von Methoden der digitalen Bildanalyse zu gewinnen.

#### **PAR-Spektrometer**

Zur Messung der spektralen Lichtverteilung im Bereich 400 - 700 nm (PAR-Bereich, photosynthetisch verwertbare Strahlung) bei Wassertiefen bis zu 100 m wurde ein relativ einfaches und hochauflösendes Spektrometer gebaut, das sowohl am Kabel als auch als Speicherversion einsetzbar ist. Als Detektor wird ein Diodenarray mit 256

#### **3.3.5 Eisfernerkundung mit Rasterkameras und neue Anwendungsbereiche**

#### **3.3.6 Weitere Geräteentwicklungen**

- Schiffs-LIDAR** Einzeldioden verwendet. Bei der Entwicklung des Geräts spielte die Simulation der optischen Filter des SeaWiFS-Satelliten eine entscheidende Rolle. Ein Prototyp des Spektrometers wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Ostseeforschung in Warnemünde in der Nordsee und im Arabischen Meer erfolgreich eingesetzt. Nachdem das in einem Gemeinschaftsprojekt mit der Fernerkundungsgruppe der Universität Oldenburg entwickelte LIDAR-Gerät im Oktober/November 1993 an Bord von „Polarstern“ im Dauerbetrieb unter verschiedenen ozeanographischen Bedingungen erfolgreich eingesetzt wurde, schlossen sich im Berichtszeitraum Dokumentations- und Auswertungsarbeiten sowie weitere Verbesserungen und Erweiterungen am Gerät an. Es konnte gezeigt werden, daß mit dem System Folgen von Vertikalprofilen der Ramanstreuung und der Trübung des Wassers sowie der Fluoreszenz von Gelbstoff und Chlorophyll bis in Tiefen von 4 bis 6 Attenuationslängen sicher vom fahrenden Schiff gemessen werden können. Im offenen Ozean entspricht das im allgemeinen einer Eindringtiefe von 40 m. Das vertikale Auflösungsvermögen liegt zwischen 10 cm und 20 cm.
- „PROBIO“** Bei dem im Rahmen von EUROMAR entwickelten System „PROBIO“ handelt es sich um ein autonomes Filtrationssystem zur programmierbaren oder ereignisgesteuerten aktiven Beprobung von Seston in der Bodengrenzschicht in der Tiefsee. Mit „PROBIO“ sollen Langzeituntersuchungen durchgeführt werden, um die jahreszeitlichen Schwankungen biologischer Prozesse in der bodennahen Wassersäule und den horizontalen Partikeltransport zu erforschen. Dadurch soll die Etablierung von hochantarktischen Bodentiergemeinschaften besser verstanden werden. Die Entwicklungsarbeiten sind nahezu abgeschlossen. Die erste Verankerung ist für 1996 geplant.
- Revolver-Stechgreifer** Der Revolver-Stechgreifer ist ein für die Tiefsee entwickelter Fünffachgreifer zur Entnahme von Bodenproben. Er kann fünf Einzelproben an verschiedenen Orten entnehmen, ohne daß er jeweils durch die gesamte Wassersäule gehievt oder gefiert werden muß. Nach Erprobungen in der Ostsee befindet sich das Gerät derzeit im Ersteinsatz auf der Expedition ANT XIII/3.
- Luftfeuchte-Proben-sammler „LUFES“** Zur Untersuchung regionaler Zirkulationsmuster troposphärischer Luftmassen und zur Feststellung des heutigen Isotopeneintrags in die antarktische Eiskappe müssen Luftfeuchteproben entnommen und massenspektrometrisch auf ihren Deuteriumgehalt analysiert werden.
- In Kooperation mit der Forschungsstelle Potsdam wurden dazu drei programmierbare Sammelgeräte für Luftfeuchteproben für den Langzeiteinsatz auf der japanischen Antarktisstation Syowa und auf dem antarktischen Inlandeis entwickelt, erprobt und fertiggestellt.

Zur automatischen Eisdickenmessung driftender Schollen wurde ein Gerät mit einem Differenzdruck-Sensor entwickelt, das sich an meteorologische Argos-Bojen anschließen läßt. Mit den Zusatzinformationen Temperatur und Luftdruck lassen sich die Vorgänge Abschmelzen, Anfrieren, Schneezutrag und Abtauen an der Unter- und Oberseite der Scholle voneinander trennen. Vorgänge an der Oberseite können auf 0,1 mm, solche an der Unterseite auf 1 mm genau gemessen werden. Bisher wurden die Geräte bei den Expeditionen ARK X/1, ARK XI/1 und ANT XII/4 eingesetzt.

### *Eisdickenmesser*

## *Sektion Geophysik und Glaziologie*

Die Arbeiten der Sektion Geophysik und Glaziologie waren durch eine rege Expeditionstätigkeit mit „Polarstern“ und auf den Inland- bzw. Schelfeisen beider Polargebiete gekennzeichnet. Die regionalen Schwerpunkte der marinen Forschungsarbeiten waren in der Antarktis das südliche Weddellmeer sowie das Bellingshausen- und Amundsenmeer. Arbeiten auf dem Eis wurden sowohl auf dem Filchner-Ronne-Schelfeis als auch in den angrenzenden Inlandeisgebieten durchgeführt.

In der Arktis wurden Untersuchungen im Bereich des ostgrönländischen Kontinentalrandes durchgeführt. Die russischen Meeresgebiete blieben einer geophysikalischen Erkundung leider verschlossen. Der Schwerpunkt der glaziologischen Arbeiten lag insbesondere in Nordostgrönland am Eisrand und im Inneren von Nordgrönland. Neben der Auswertung der jeweils aktuellen Feldkampagnen wurden die Daten früherer Expeditionen weiter bearbeitet.

Übergeordnete Forschungsziele der Sektion sind zum einen die Bestimmung der polaren Paläoumwelt und Klimageschichte, zum anderen die Bestimmung der geodynamischen Entwicklung der Polargebiete als Beitrag zum verbesserten Verständnis des Systems Erde. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die detaillierte Erfassung des sedimentären Stockwerks gelegt, weil hier die jüngere Geschichte dokumentiert ist und ein direkter Bezug zur Paläoumwelt wie auch zur Ökosystemforschung gegeben ist.

### *3.4 Der Untergrund der polaren Teile des Atlantik und seiner kontinentalen Umrandung*

Mit dem Zerbrechen des früheren Großkontinents Gondwana vor etwa 170 Mio Jahren hat Antarktika als Kontinent den Weg in seine jetzige polare Position begonnen. Die Spuren dieses Aufbrechens und der dabei wirksamen geodynamischen Prozesse liegen im Untergrund verborgen. Geophysikalische Verfahren können

derartige Strukturen erfassen und kartieren. Erst mit Erreichen der polaren Position waren die Voraussetzungen für die dauerhafte Existenz von Eis als Gletscher oder Inlandeis gegeben. Diese wiederum hinterlassen bei ihrem Wachsen oder Vergehen Spuren in den Sedimenten, vorwiegend der kontinentalen Schelfgebiete. Kennt man erst solche Strukturen genau, dann sind über die durch sie angezeigten Veränderungen der Ausdehnung der Inlandeise weitreichende Schlußfolgerungen zur Eisdynamik bzw. zu den klimatischen Bedingungen möglich.

**3.4.1 Marin-  
geophysikalische  
Arbeiten im  
Bellingshausen- und  
Amundsenmeer**

Zu Anfang des Jahres 1994 fand die erste Polarstern-Reise (ANT XI/3) in das Bellingshausen- und Amundsenmeer statt. Durch die Untersuchung dieses bislang wenig erforschten Gebietes konnten wir wissenschaftliches Neuland betreten.

Das Bellingshausen- und Amundsenmeer sind insbesondere in der Nähe des Kontinents durch außerordentlich schwierige Meereisbedingungen gekennzeichnet. Die bei früheren Expeditionen gesammelten Erfahrungen haben es uns ermöglicht, in diesen meereisbedeckten Gebieten erstmals reflexionsseismische Messungen durchzuführen und dadurch einen Beitrag zu ihrer seismostratigraphischen Einordnung zu leisten.

So konnten entlang mehrerer senkrecht zum Streichen des Kontinentalrandes verlaufender Profile vom Schelf bis in die Tiefsee die seismostratigraphischen Einheiten kartiert werden, die die Spuren der Vereisungsgeschichte aufzeigen. Im Bereich des Bellingshausenmeeres ist der Kontinentalrand gekennzeichnet durch konvergente Plattenbewegungen, während die weiter westlich angrenzenden Gebiete Merkmale von Dehnungsstrukturen aufweisen. Dies ist wohl auf das Loslösen des Campbell-Plateaus und Neuseelands vom Gebiet der heutigen Antarktis zurückzuführen und dokumentiert damit die Öffnungsgeschichte dieses Raumes.

Ein besonders aufregendes Ergebnis war die Entdeckung einer ozeanischen Kollisionsstruktur senkrecht zum Streichen des Küstenverlaufes im Gebiet der Peter I-Insel. In dieser Region konnte durch reflexionsseismische und gravimetrische Profile eine Krustenstruktur nachgewiesen werden, die nur durch die Kollision zweier ozeanischer Lithosphärenplatten erklärbar ist, welches wiederum zumindest eine Einengung in diesem Raum fordert. Die während der Polarstern-Expedition ANT XI/3 erstmals gefundenen Strukturen waren Gegenstand weiterer marin-geophysikalischer Arbeiten während ANT XII/3 im folgenden Jahr. Inzwischen ist diese Struktur recht gut kartiert, und ein Modell der Entwicklungsgeschichte ist entworfen. Diese Einengung vor der Küste der Antarktis ist wohl ursächlich mit einer zeitweise starken Erhöhung der Spreizungsrate des Pazifischen Ozeans verbunden. (Siehe auch Kapitel 2: Die Plattentektonik des Bellingshausenmeeres)

Die fortlaufende Auswertung der vorhandenen marin-geophysikalischen Datensätze konzentrierte sich auf eine Kompilation aller Datensätze aus dem Bereich des Weddellmeeres. Hier liegen nicht nur Daten von AWI-Expeditionen vor, sondern auch solche von früheren Expeditionen anderer Institutionen. Am AWI wurde im seismischen Auswertesystem eine Datenbank eingerichtet, in der mittlerweile 36.000 Profilkilometer seismische Linien integriert und jederzeit zugreifbar sind. Dies ermöglichte es, ein geschlossenes seismostratigraphisches Konzept für das Weddellmeer zu entwickeln, das inzwischen in Form einer Dissertation vorliegt.

Ähnlich wie die seismischen Profildaten wurden auch alle gravimetrischen Daten kompiliert und nach einheitlichen Gesichtspunkten bearbeitet. Damit steht nun auch ein geschlossener Potentialfelddatensatz zur Verfügung, der für alle geodynamischen und tektonisch-entwicklungsgeschichtlichen Überlegungen zur Öffnungsgeschichte von Gondwana von Bedeutung ist.

Die Ergebnisse tiefenseismischer Arbeiten der letzten Jahre wurden ebenfalls geschlossen bearbeitet und mündeten in ein Modell für den Untergrund des südlichsten Weddellmeeres vor dem Ronne-Eisschelf. Aus diesem Modell sind auch entwicklungsgeschichtliche Fragen zur Entstehung dieses ozeanischen und weiter im Süden kontinentalen Beckens zu beantworten. In diesem Zusammenhang wurde auch eine aerogeophysikalische Meßkampagne 1994/95 in das Gebiet südlich der englischen Station Halley durchgeführt. Hierbei wurden die Anomalien des Erdmagnetfeldes sowie die Eismächtigkeiten vermessen. Damit sind nun die Feldarbeiten für eine im Internationalen Lithosphärenprogramm festgelegte Geotraverse abgeschlossen.

Die langfristig angelegten Arbeiten zur Untersuchung des Kontinentalrandes von Ostgrönland wurden fortgesetzt. Die weiterführende Bearbeitung der älteren Datensätze aus dem Scoresby Sund ergab sehr große Mächtigkeiten der Erdkruste (60 km) im Hinterland und ließ insbesondere den Übergangsbereich von sehr junger ozeanischer zu sehr alter kontinentaler Kruste genau bestimmen. Daneben wurden neue tiefen- und flachseismische Profile in den nördlich angrenzenden Fjordgebieten vermessen. Damit können der Verlauf und die mögliche Veränderung der Übergangzone im Streichen der geologisch-tektonischen Einheiten und mit zunehmendem Abstand vom Island Hot Spot verfolgt werden. Aufgrund der Verteilung der seismischen Geschwindigkeiten in der Erdkruste kann gefolgert werden, daß es sich um einen passiven Kontinentalrand vom vulkanischen Typ handelt, d.h. die Unterkruste weist, vermutlich bedingt durch eine starke Intrusionstätigkeit während der Rifting Phase, einen hohen Anteil basaltischen Tiefengesteins auf.

In Ergänzung zu den marinen Arbeiten wurde die aeromagnetische Befliegung in

#### **3.4.2 Krustenstruktur und sedimentäre Bedeckung im Weddellmeer**

#### **3.4.3 Tiefenstruktur des ostgrönländischen Kontinentalrandes**

zwei Meßkampagnen in Nordostgrönland fortgesetzt. Die resultierenden Karten der magnetischen Anomalien bilden die großräumigen geologisch-tektonischen Einheiten ab. Daher lassen sich diese auch unter dem Inlandeis weiterverfolgen. Neben diesem großräumigen Aspekt ist der Datensatz von großem Interesse für geologische Arbeiten des Grönländischen Geologischen Dienstes und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in dieser Region.

Diese Arbeiten ermöglichten es auch, die Lücke zwischen den Magnetfeldanomalien über den angrenzenden Seegebieten und dem Inneren Grönlands zu schließen.

3.4.4 Die Arbeiten der sedimentphysikalischen Arbeitsgruppe ergänzen die vorstehenden  
*Sedimentechographie* Arbeiten mit höchstmöglicher Auflösung durch den Einsatz sedimentakustischer Verfahren (Parasound) und ermöglichen auf diese Weise regionalen Bezug für die einzelnen Probennahmeorte der Meeresgeologie.

Darüber hinaus schafft die Untersuchung der physikalischen Eigenschaften der Sedimentkerne die Grundlage für deren stratigraphische Korrelation. Daneben können diese Parameter als Indikatoren für Veränderungen der Paläoumwelt verwendet werden.

Neben der Bereitstellung der Methoden für neue apparative Entwicklungen konnten während vieler Expeditionen in beide Polarregionen umfangreiche Datensätze gewonnen werden, die für eine Reihe von Arbeiten grundlegend sind. Erstmals kam ein leicht transportables sedimentechographisches System zum Einsatz, das es ermöglicht, mit Parasound vergleichbare Studien auch an Seen von Eisrandgebieten durchzuführen.

### 3.5 Glaziologie

Die großen polaren Eisschilde beeinflussen das globale Klima in hohem Maß. Sie sind damit wesentliche Faktoren im Klimasystem. Sie stehen in Wechselwirkung mit der Atmosphäre und mit dem Ozean, sie beeinflussen den globalen Strahlungshaushalt und den Wasserkreislauf. Insbesondere die Schelfeise der Antarktis spielen durch die Modifikation von Wassermassen eine wichtige Rolle für die globale ozeanische Zirkulation. Darüberhinaus sind die polaren Eisschilde Archive der Paläoumwelt und erlauben präzise Aussagen zum Paläoklima wie auch zur chemischen Zusammensetzung der Paläoatmosphäre. Die Arbeiten der Sektion sind in diesen Rahmen eingebettet und beleuchten verschiedene Teilaspekte.

Während der Filchner V-Kampagne (1994/95) wurden in einem umfangreichen Feldprogramm verschiedene Beiträge geleistet.

#### **Heißwasserbohrungen**

Anknüpfend an die Ergebnisse früherer Untersuchungen und zur Unterstützung der modellierenden Arbeiten über die ozeanische Zirkulation unter dem Schelfeis, wurde das Ronne-Schelfeis an zwei Punkten mit großkalibrigen Heißwasserbohrungen durchteuft und die Wassersäule mit hydrographischen Meßketten instrumentiert. Ebenso wurden im Eis selbst Temperatursensoren eingebracht. Während die erprobte Bohrtechnik den Zugang zum Wasser unter dem Schelfeis rasch ermöglichte, haben technische Probleme an den Meßketten bislang verhindert, daß entsprechende ozeanographische Datensätze erfaßt werden konnten. Mit einer ähnlichen Technik ist es aber inzwischen gelungen, die Abschmelzrate unter dem Ekström-Eisschelf in der Nähe der Neumayer-Station über zwei Jahre hinweg kontinuierlich zu messen. Dabei zeigte sich, daß die Abschmelzrate zeitlich variabel ist; sie liegt aber in der aufgrund einfacher Modellierung berechneten Größenordnung.

Auf Berkner Island, einer etwa 1.000 m hohen eisbedeckten langgestreckten Kuppe, die das Filchner- vom Ronne-Schelfeis trennt, wurde eine 180 m tiefe Kernbohrung niedergebracht. In einer benachbarten 100 m tiefen Bohrung wurde weiteres Probenmaterial gewonnen, dessen erste Datierung Information über die letzten 1.200 Jahre gibt. Erste Ergebnisse der Analyse der stabilen Sauerstoffisotope weisen auf keine signifikanten Temperaturänderungen hin, auch wenn es Perioden im Dekadenbereich gibt, in denen die Werte signifikant vom Mittelwert abweichen. Damit ist erwiesen, daß die in Mitteleuropa beobachtete „Kleine Eiszeit“ im atlantischen Sektor der Antarktis keine Entsprechung findet.

Die gemessene Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im Eis deutet auf eine deutliche Saisonalität in der Spurenstofffracht des Niederschlages. Dieser Befund kann einerseits zur Datierung, andererseits zur Bestimmung der Quellen des Niederschlages verwendet werden.

Im Übergangsbereich vom antarktischen Inlandeis zum Schelfeis wurden entlang eines etwa 75 km langen Profils geodätische und geophysikalische Arbeiten durchgeführt, um den Beitrag des aus dem Inneren der Antarktis stammenden Eises zur Massenbilanz zu erkunden. Dabei zeigte sich, daß im Bereich des Foundation Eisstromes die „Grounding Line“ nicht klar zu definieren ist, sondern daß man eher eine ausgedehnte Übergangszone annehmen muß. Auch diese Feldarbeiten standen in engem Zusam-

#### **3.5.1**

#### **Untersuchungen im Bereich des Filchner- Ronne-Schelfeises**

#### **Rezente Klima- geschichte aus Eisbohrungen auf Berkner Island**

#### **Feldglaziologische Erkundung von Eisströmen**

menhang mit Arbeiten zur Modellierung der Dynamik von Schelfeisen, die erstmals unter Einbeziehung eines möglichst vollständigen Gleichungssystems versucht wird.

Eine Befliegung der Region mit „Polar 2“ ergänzte die vorgenannten Arbeiten, u.a. durch Messungen mit dem neu entwickelten hochauflösenden Eisradarsystem. Neben der nunmehr teilweise möglichen Kartierung der internen Schichtung des Eiskörpers erlaubt die Analyse des Reflexionskoeffizienten an der Eisbasis die Eingrenzung der Bereiche mit Schmelzen bzw. Anfrieren. Daneben ist es auch möglich, Zonen zu identifizieren, in denen das Schelfeis an seiner Unterseite durch Spalten charakterisiert ist. Ob diese Spalten in direkter Folge der Wechselbelastung durch die Gezeiten entstehen, oder ob sie Relikte der Ablösung des Schelfeises vom Untergrund sind, ist noch nicht geklärt.

Abschließend soll an dieser Stelle vermerkt werden, daß alle Arbeiten während dieser Kampagne – auch die der in Kooperation mit dem AWI beteiligten Hochschulgruppen und des British Antarctic Survey – ohne die Fluglogistik, die das AWI und der British Antarctic Survey bereitgestellt haben, nicht möglich gewesen wären.

### 3.5.2 Eisbohrungen in Nordgrönland

In der Nachfolge des „Greenland Ice Core Project“ (GRIP) wurden in Sommerkampagnen glaziologische Feldarbeiten in Nordgrönland durchgeführt. Dabei wurden entlang einer Fahrtstrecke von etwa 1.800 km glaziologische, meteorologische und geophysikalische Datensätze in dieser bislang weitgehend unerforschten, für die Gesamt-Massenbilanz Grönlands aber wichtigen Region, erhoben. An 12 Punkten wurden Eiskerne zwischen 100 und 175 m Länge erbohrt, die die letzten 500 bis 1.000 Jahre erschließen. Eine Reihe von Flachbohrungen ergänzten diese Eiskernbohrungen. Es ist jetzt möglich, Akkumulationsraten zu bestimmen, die für die Abschätzung der Massenbilanz benötigt werden. Des weiteren wurden Informationen über die Verteilung von Spurenstoffen im Niederschlag gewonnen. Es zeigt sich, daß die Akkumulationsraten in Nordostgrönland geringer sind, als bislang vermutet. Sie sind auch kleiner, als es die besten der heutigen Zirkulationsmodelle vorhersagen.

Damit ist einerseits die Grundlage für die numerische Modellierung des dynamischen Verhaltens des Inlandeises deutlich erweitert, andererseits liegen jetzt Daten vor, die zur Verbesserung von globalen Zirkulationsmodellen führen werden. Darüber hinaus ist aus diesen Eiskernen der anthropogene Einfluß auf Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre zu bestimmen.

So kann man beispielsweise eine Abnahme der Sulfatbelastung in den letzten Jahren nachweisen. Dies hängt ursächlich mit der Einführung der Rauchgasentschwefelung zusammen und ist damit ein Beweis dafür, daß es durchaus Umweltschutzmaßnahmen gibt, die globale Auswirkungen haben. Die weitab eines jeden direkten zivilisatorischen Einflusses liegenden Eiskappen der Polargebiete sind für die



Erkennung solcher Veränderungen besonders geeignet, weil dort mittlere Werte gespeichert werden, die in einem entsprechenden Monitoring Programm in mittleren Breiten wegen der starken Variation der Emissionen nur durch die Beobachtung langjähriger Zeitreihen zu ermitteln sind.

Ebenfalls mit dem Ziel, die Massenbilanz und Dynamik des grönländischen Inlandeseis zu erfassen, wurden die Studien am Eisrand von Nordostgrönland in Zusammenarbeit mit dem Grönländischen Geologischen Dienst fortgeführt und durch weiterführende Arbeiten unter Zuhilfenahme von Fernerkundungsverfahren ergänzt. Dadurch kann man die den untersuchten Ablationsgebieten zugehörigen Akkumulationsgebiete bestimmen. Dies eröffnet die Möglichkeit, zunächst mit einfachen Massenbilanz-Modellen die Reaktion auf klimatische Veränderungen zu untersuchen.

Auch wenn die Feldarbeiten und deren Bearbeitung breiten Raum einnahmen, so bildete dennoch die fortgesetzte Auswertung des GRIP-Eiskernes einen weiteren Schwerpunkt. Hier sind insbesondere die Untersuchungen zur kristallographischen Struktur des Eises zu erwähnen, die neue Erkenntnisse zur Rheologie des Eiskörpers in unterschiedlichen Tiefen ergeben und damit wiederum die Modellierung des Fließverhaltens entscheidend beeinflussen.

In Zusammenarbeit mit der Universität Göttingen wurden Untersuchungen über die im tieferen Eis eingeschlossenen Lufthydrate (Clathrate) durchgeführt, um der Frage nachzugehen, ob die aus den Eiskernen abgeleitete Information über die Konzentration von Spurengasen in der Atmosphäre der Vergangenheit durch die Transformation aus der Gas- in die Clathratphase verfälscht sein kann. Dabei wurde zunächst nachgewiesen, daß das Verhältnis von Sauerstoff und Stickstoff sich nicht geändert hat. Auch konnten erstmals grundlegende Erkenntnisse zur Thermodynamik der Enclathratisierung und zum Füllgrad gewonnen werden.

Die Arbeiten zur Modellierung in der Glaziologie bilden gewissermaßen eine Klammer für die Feldbeobachtungen und die daraus abzuleitenden Schlußfolgerungen. Unabhängig davon wurden Untersuchungen zur Stabilität der großen Inlandeseis und zu ihrem Verhalten unter verschiedenen Szenarien einer künftigen Klimaentwicklung durchgeführt.

In diesem Zusammenhang interessierten besonders der Beitrag der möglichen Veränderungen der Inlandeseis zu globalen Änderungen des Meeresspiegels und die Frage nach der Geschwindigkeit solcher Änderungen. Vor diesem Hintergrund wird an der Entwicklung eines vollständigen Modells für Schelfeise gearbeitet, weil deren Änderungen zwar keine direkte Auswirkung auf den Meeresspiegel haben, wohl aber rasche Veränderungen der Eismasse in der Westantarktis nach sich ziehen könnten.

### 3.5.3 Auswertung des GRIP-Eiskernes

### 3.5.4 Modellierung

### 3.6 Meeresgeologie

Übergeordnetes Forschungsziel der Sektion Meeresgeologie ist die Rekonstruktion der arktischen und antarktischen Paläoumwelt- und Klimageschichte sowie der daran gekoppelten Paläozeanographie aus Sedimentkernen. Voraussetzung dafür ist ein umfassendes Verständnis der Prozesse der Sedimentbildung; der Signalentstehung in der ozeanischen Deckschicht sowie der Veränderungen in der Wassersäule und am Meeresboden.

Die geowissenschaftlichen Arbeiten waren mit einer intensiven Teilnahme an „Polarstern“-Expeditionen verbunden – im Berichtszeitraum an sechs Fahrtabschnitten. Dabei ergaben sich neue Arbeitsgebiete im Südostpazifik im Amundsen- und Bellingshausenmeer sowie in Kooperation mit russischen Wissenschaftlern in den eurasischen Flachmeeren der Laptew- und Karasee.

Die Arbeiten im polaren Südatlantik sind auch weiterhin integriert in die Arbeiten des Sonderforschungsbereichs „Der Südatlantik im Spätquartär: Rekonstruktion von Stoffhaushalt und Stromsystemen“, der seit 1989 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert und gemeinsam von der Universität Bremen und dem AWI betrieben wird. Nach einer sehr positiven Begutachtung 1995 ist eine finanzielle Förderung bis 1998 zugesagt worden. Die Sektion Meeresgeologie ist an vier Teilprojekten mit paläoklimatischen und paläozeanographischen Fragestellungen wesentlich, an zwei Teilprojekten federführend beteiligt.

#### 3.6.1 Sedimentationsprozesse und Sedimentfazies in hohen Breiten

##### **Natürliche Radionuklide als Tracer für den Partikelfluß**

Der Partikelfluß im Meer ist eine wichtige Komponente im globalen Kohlenstoffkreislauf. Die Entfernung von  $^{234}\text{Th}$  aus der Wassersäule erfolgt durch Adsorption an Sinkstoffe und kann deshalb als Tracer für den vertikalen Partikelfluß sowohl aus der ozeanischen Deckschicht als auch in Bodennähe genutzt werden. Die Abreicherung von  $^{234}\text{Th}$  im Oberflächenwasser spiegelt über eine experimentelle Korrelation zwischen  $^{234}\text{Th}$  und organischem Kohlenstoff in Schwebstoffen die Exportrate von Kohlenstoff wider. Im Gegensatz zu den hohen Exportraten von Kohlenstoff, die 1992 im Bereich der antarktischen Polarfront bei  $6^\circ\text{W}$  gemessen wurden, wurden im Herbst 1995 im Bellingshausenmeer sehr geringe Exportraten gemessen. Nur im Gebiet des Eisrandes war ein nennenswerter Export in die Tiefe zu verzeichnen.

$^{210}\text{Po}$  und  $^{210}\text{Pb}$  werden ebenfalls mit den absinkenden Partikeln aus der Wassersäule entfernt. Die bisherigen Messungen haben jedoch gezeigt, daß die  $^{210}\text{Po}$ - und  $^{210}\text{Pb}$ -Verteilungen aufgrund der längeren Halbwertszeiten von 138 Tagen bzw.

### 3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen

22,3 Jahren als  $^{234}\text{Th}$  mit 24,1 Tagen nicht nur durch den Partikelfluß erklärt werden können, sondern auch mit der lateralen Advektion sowie Meereisbildung und Meereis-schmelze zusammenhängen.

In der einige hundert Meter mächtigen Nepheloidschicht über dem Meeresboden wird  $^{234}\text{Th}$  an resuspendierte Partikel gebunden. Sinkt dieses Material wieder ab, so erfolgt eine Abreicherung von  $^{234}\text{Th}$  im Bodenwasser, die gemessen werden kann. Hier wurde ein Modell entwickelt, das die Interaktion von Bioturbation und Resuspension beschreibt, und das mit  $^{234}\text{Th}$ -Meßdaten kalibriert werden kann. Mit diesem Modell kann man den Einfluß der Resuspension auf die chemischen Prozesse in der Grenz-schicht Meerwasser/Sediment berechnen. Im Bereich des Zirkumpolarstroms wurde bislang nur in wenigen Gebieten eine Abreicherung von  $^{234}\text{Th}$  in der Nepheloidschicht (als ein Hinweis für rezente Resuspension) gemessen. Die Verweilzeit der Partikel in der Nepheloidschicht im Zirkumpolarstrom ist folglich im allgemeinen länger als Wochen, d. h. länger als die Zeitskala, die mit  $^{234}\text{Th}$  (Halbwertszeit 24,1 Tage) erfaßt wird. Modellrechnungen können die großen Unterschiede zwischen der chemischen Zusammensetzung der Schwebstoffe und dem Oberflächensediment erklären. Sie zeigen auch, daß Resuspension auf die Lösung – und deshalb auch auf die Erhaltung – von Opal nur einen geringen Einfluß hat.

Sedimente am Meeresboden enthalten auch Spuren des natürlichen Radionuklids  $^{232}\text{Th}$ . Dieses Isotop zerfällt zum leicht löslichen Isotop  $^{228}\text{Ra}$ . Der Meeresboden ist daher eine Quelle für  $^{228}\text{Ra}$ , welches mit einer Halbwertszeit von 5,8 Jahren zu  $^{228}\text{Th}$  zerfällt. Im inneren Ozean, weit von Küsten und Meeresboden entfernt, ist die Aktivität von  $^{228}\text{Ra}$  deshalb sehr gering. Die höchsten Aktivitäten entstehen dort, wo Wassermassen längere Zeit mit dem Sediment in Kontakt sind, d.h. im bodennahen Wasser und vor allem auf den kontinentalen Schelfen.

Während der „Polarstern“-Expedition ARKTIS'91 war im Oberflächenwasser des küstenfernen Arktischen Ozeans eine deutliche Anreicherung von  $^{228}\text{Ra}$  beobachtet worden. Messungen von der „Dmitry Mendeleev“ 1993 und während der „Polarstern“-Expeditionen ARK X/4, 1993, und ARK XI/1, 1995, konnten die weiten Flachwasser-gebiete der sibirischen Schelfmeere der Kara- und Laptewsee als Quellen für dieses starke Signal identifizieren. Das  $^{228}\text{Ra}$ -Signal kann somit als Tracer benutzt werden, um den Eintrag von Schelfwasser in mittlere Tiefen (bis 1.200 m) des Amundsen-Beckens und über den Lomonosow-Rücken nachzuweisen. Gleichzeitig ergibt sich hiermit die Möglichkeit, mittlere Verweilzeiten des Oberflächenwassers im inneren Arktischen Ozean zu berechnen.

### **Natürliche Radionuklide als Tracer für Wasser- zirkulation**

**Modellierung  
des Partikelflusses  
im Ozean**

Der Export biogenen Materials in größere Wassertiefen vermindert den Kohlenstoffgehalt des Oberflächenwassers und hat damit maßgeblichen Einfluß auf den atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Haushalt. Remineralisierungsprozesse in der Wassersäule verändern Menge und Zusammensetzung des partikulären Materials und beeinflussen wesentlich die Eigenschaften des sich bildenden Sediments. Zur Quantifizierung der mittleren, großräumigen Exportproduktions- und Remineralisierungsraten wurde ein neues Modell entwickelt, das die Effekte von Produktion und Remineralisierung auf die Verteilung gelöster Nährstoffe ausnutzt. Zur Anpassung des Modells an die Daten wurden moderne Optimierungsverfahren eingesetzt. Die vom Modell bestimmten mittleren, großräumigen Partikelflußraten ergänzen direkte Partikelflußmessungen mittels Sinkstofffallen, die nur punktuell und über relativ kurze Zeiträume registrieren können.

Um sowohl regionale Untersuchungen mit höherer räumlicher Auflösung als auch umfassende, globale Bilanzierungen durchführen zu können, wurden insgesamt drei Modellgitter entworfen: zwei Atlantikmodelle mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung sowie ein globales Modell. Die 3D-Strömungsfelder dieser Modelle wurden mit geostrophischen Strömungen initialisiert und mit Hilfe der sogenannten adjungierten Methode so angepaßt, daß die Modelle in der Lage sind, die gemessenen Verteilungen von Temperatur und Salzgehalt sehr genau zu reproduzieren. Diese so optimierten Modellströmungen bilden die Grundlage für Modellrechnungen, die die Produktion biogenen Materials, das Absinken und die teilweise Remineralisation in der Wassersäule beinhalten. Exportproduktions- und Auflösungsdaten werden so bestimmt, daß die damit simulierten Sauerstoff-, Nährstoff- und Kohlenstoffverteilungen mit den Messungen übereinstimmen. Diese Anpassung erfolgt iterativ und automatisch.

Erste Simulationen der Nährstoffe mit einem an Temperatur- und Salzgehaltsdaten angepaßten Strömungsfeld (ohne biologische Produktion) zeigen, daß viele der in den Verteilungsmustern von Sauerstoff und Nährstoffen beobachteten Strukturen bereits durch physikalische Transportprozesse erklärt werden können. So sind z. B. die auf meridionalen Schnitten durch den Atlantik gefundenen Zungen nährstoffreichen Wassers in etwa 1.000 m Tiefe und am Meeresboden zu einem erheblichen Teil auf den nordwärts gerichteten Transport nährstoffreichen Antarktischen Zwischen- und Bodenwassers zurückzuführen. Die durch rein physikalische Transportprozesse simulierten Verteilungen zeigen aber auch große systematische Abweichungen von den Beobachtungen. So sind die Nährstoffkonzentrationen im Oberflächenwasser wegen der fehlenden biologischen Senke viel zu hoch, während im Zwischen- und Tiefenwasser die Nährstoffgehalte wegen der fehlenden Freisetzung durch Respiration unterschätzt werden.

Die bisherigen Modellrechnungen zeigen zum einen, daß die  $O_2$ -, Nährstoff- und C-Verteilungen wertvolle Informationen über biologische Produktions- und Abbauraten enthalten. Zum anderen zeigen sie aber auch, daß vor einer zuverlässigen Bestimmung dieser biologischen Raten die rein physikalischen Transportprozesse realistisch modelliert werden müssen. Durch die genaue Anpassung an Temperatur-, Salzgehalts- und Tracermessungen ist diese Eichung der Modellströmungsfelder bereits erreicht. Gegenwärtig werden die Optimierungsalgorithmen für die Einbeziehung von Nährstoffdaten erweitert, um im nächsten Schritt Raten der Exportproduktion und Remineralisierung zu berechnen.

#### **Die Bodenwasserzirkulation des polaren Südatlantiks im Quartär**

Die paläozeanographischen Arbeiten zur Rekonstruktion der Tiefen- und Bodenwasserzirkulation umfaßten weiterhin die Eichung geeigneter Ersatzmeßgrößen (Proxys) für klassische Parameter wie Temperatur und Salinität, sowie für nicht konservative biogeochemische Größen wie Nährsalz-,  $O_2$ - und  $CO_2$ -Gehalt der tiefen Wasserkörper. Diese Informationen über Beschaffenheit und Zirkulation tiefer Wassermassen sind sowohl aus der Faunenzusammensetzung benthischer Foraminiferen als auch direkt aus den stabilen Isotopenverhältnissen ihrer karbonatischen Gehäuse zu rekonstruieren.

Zunächst wurde ein Schwergewicht auf die Verifizierung und Kalibrierung der Proxys am rezenten Analogon, d.h. an den heutigen Umweltbedingungen des tiefen Südatlantik und des Weddellmeeres, gelegt. So stellte sich heraus, daß unter jahreszeitlich stark variierenden hochproduktiven Bedingungen das Kohlenstoff-Isotopenverhältnis ( $\delta^{13}C$ ) des gelösten anorganischen Kohlenstoffs der Bodenwassermasse nicht korrekt in den Gehäusen bestimmter benthischer Foraminiferen gespeichert wird. In der bisher als zuverlässig geltenden und daher paläozeanographisch am häufigsten genutzten Art *Fontbotia wuellerdorfi* wurden um bis zu 0,5 (PDB) zu geringe C-Isotopenverhältnisse gemessen. Da dieser Betrag etwa ein Drittel der interpretierbaren Schwankungsbreite des Signals im Meerwasser ausmacht und da das  $\delta^{13}C$ -Signal zu den wichtigsten Werkzeugen zur Rekonstruktion der Paläo-Zirkulation des tiefen Ozeans gehört, hat die Enttarnung dieses Effektes, der allgemein inzwischen als „Mackensen-Effekt“ bezeichnet wird, eine große Bedeutung für die paläozeanographische Forschung.

Die Arbeiten zur Charakterisierung der rezenten Wassermassen durch die stabilen Sauerstoff-Isotopenverhältnisse des Wassers ( $\delta^{18}O$ ) und der Kohlenstoff-Isotopenverhältnisse ( $\delta^{13}C$ ) des gelösten anorganischen Kohlenstoffs im Wasser wurden fortgeführt und müssen auch weiterhin vertieft werden. Es konnte jedoch schon gezeigt

#### **3.6.2 Paläoklima und Paläozeanographie des Süd- und Nordpolarmeeres**

werden, daß rezent im Weddellmeer eine Entkoppelung von der sonst allgemein für Boden- und Tiefenwassermassen gültigen Beziehung zwischen gelösten Phosphatgehalten und  $\delta^{13}\text{C}$ -Verhältnissen im Wasser vorliegt. Vermutlich wird in den Polargebieten bei sehr niedrigen Temperaturen die aus thermodynamischen – daher von der Biologie unabhängigen – Gründen stärkere isotopische Fraktionierung des Kohlenstoffs beim Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Oberflächenwasser (thermodynamischer Effekt) während der Prozesse, die zur Bildung von Bodenwasser führen, in die Tiefen- und Bodenwassermassen eingetragen. Erste Abschätzungen des Einflusses dieses Effektes auf die paläozeanographische Interpretation der in Foraminiferen aufgezeichneten Signale führten zu dem Schluß, daß – unabhängig davon, welches der möglichen glazialen Szenarien im Weddellmeer unterstellt wird – in den Glazialzeiten immer eine Erhöhung des  $\delta^{13}\text{C}$ -Signals durch den „Thermodynamischen Effekt“ zu erwarten ist. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu sehr niedrigen glazialen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten, die in benthischen Foraminiferen des antarktischen Ringozeans gemessen wurden. Diese niedrigen Werte deuten somit eher auf einen starken Einfluß des „Mackensen-Effektes“ oder auf eine Ausklammerung des glazialen Südozeans aus der globalen Boden- und Tiefenwasserzirkulation hin, als – wie auch vorgeschlagen wurde – auf einen wegen verstärkter Meereisbildung verringerten „Thermodynamischen Effekt“.

Die biogeographischen Arbeiten zur Verbreitung und Ökologie benthischer Foraminiferenfaunen im östlichen und westlichen Südatlantik konnten in den letzten zwei Jahren weitgehend abgeschlossen und in einer ersten Synthese zusammengefaßt werden. Dieser weltweit in Konsistenz und Umfang einmalige Datensatz steht nun als Referenzdatensatz für die paläozeanographische Rekonstruktion in hohen Breiten zur Verfügung.

Neben diesen, im wesentlichen die rezenten Bedingungen betreffenden Untersuchungen, wurden die Arbeiten zu den Änderungen der Faunen in den spätquartären Sedimenten intensiviert. So konnten anhand von Faunenfluktuationen benthischer Foraminiferen und ihrer  $\delta^{13}\text{C}$ -Verhältnisse im östlichen Südatlantik eine nordwärtige Verlagerung des heute an die ozeanischen Fronten gebundenen Hochproduktionsgürtels, und, vor Südwestafrika, eine Intensivierung des Auftriebsgeschehens während der glazialen Kaltzeiten nachgewiesen werden. In Zukunft sollen die schon in Zeitreihen vorliegenden Teilergebnisse auf bestimmte Zeitscheiben konzentriert werden. Regionale Informationslücken (fehlende Proxydaten) sollen zuerst auf diesen Zeitscheiben geschlossen werden, indem zunächst aus datierten Sedimentkernen nur die Proben des entsprechenden Alters bearbeitet werden, so daß mit einem minimierten analytischen Aufwand ein zusammenhängendes Bild der Paläozirkulation für die Zeit

### 3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen

um das letzte glaziale Maximum zwischen 20.000 und 15.000 Jahren vor heute rekonstruiert werden kann.

Neben mikropaläontologischen und isotopengeologischen Untersuchungen wurden in den letzten beiden Jahren verstärkt sedimentologische Methoden zum Verständnis der Paläo-Tiefenwasserzirkulation im Südatlantik angewandt. Ziel war es, das vom Festland durch Wind, Flüsse und Eis eingetragene detritische Material zu charakterisieren und dessen Transportpfade in der Tiefsee in Raum und Zeit zu erfassen. Speziell die Mineralzusammensetzung der Feinfraktion ( $<2 \mu\text{m}$ ), die hauptsächlich Tonminerale enthält, liefert hierzu wertvolle Daten. Künftige Untersuchungen konzentrieren sich auf Korngrößen- und Komponentenanalysen des terrigenen Sedimentanteils, welche Rückschlüsse auf Paläo-Strömungsgeschwindigkeiten und Transportwege der bodennahen Wassermassen zulassen.

Die Bearbeitung von mehr als 900 Oberflächensedimentproben führte zu einer Kartierung der rezenten Tonmineralverteilung und Darstellung verschiedener Tonmineralprovinzen im Südatlantik. Demnach sind Tonminerale im Südatlantik vorwiegend terrigener Herkunft. In den tropischen bis subtropischen Klimazonen erfolgt prinzipiell eine erhöhte Zufuhr pedogener, d.h. bei der Bodenbildung entstandener Tonminerale, besonders Kaolinit. Im antarktischen Einzugsgebiet mit eingeschränkter chemischer Verwitterung bestimmt die Gesteinsbeschaffenheit die Zusammensetzung des terrigenen Detritus, so daß auch chemisch instabile Tonminerale, vor allem Chlorit, am Tonmineralspektrum beteiligt sind.

Die Untersuchungen zeigen, daß der Transport von Tonmineralien in die küstenfernen Tiefseeregionen im wesentlichen durch die Tiefen- und Bodenwasseradvektion gesteuert wird. Tonminerale südlicher Herkunft, aus der Antarktis und/oder Patagonien, werden vom Antarktischen Zirkumpolarstrom erfaßt und durch nordwärtige Advektion von Antarktischem Bodenwasser (AABW) und Zirkumpolarem Tiefenwasser (CPDW) in niedrigere Breiten verfrachtet. Das sich entgegengesetzt ausbreitende Nordatlantische Tiefenwasser (NADW) transportiert hingegen Tonminerale niedriger Breiten nach Süden.

Speziell Kaolinit und Chlorit eignen sich auf Grund ihrer jeweils eindeutigen Herkunft aus Klimazonen niederer bzw. höherer Breiten, also aus Gebieten mit gegensätzlichen Verwitterungsregimes, als ideale Tracer der verschiedenen Tiefenwassermassen. Chlorit charakterisiert Wassermassen südlicher Herkunft, Kaolinit wird von Wassermassen nördlicher Herkunft transportiert. Die Anteile von Chlorit und Kaolinit im Tiefseesediment, ausgedrückt als Kaolinit/Chlorit-Verhältnisse, geben Aufschluß über den jeweiligen Einfluß südlicher und nördlicher Tiefenwassermassen. Entsprechend

### ***Tonmineralfluktuationen als Abbild variabler Tiefenwasseradvektion***

der heutigen Verteilung der Tiefenwassermassen, beobachtet man in Oberflächensedimenten des Südatlantik eine kontinuierliche Abnahme der Kaolinit/Chlorit-Verhältnisse von äquatornahen Becken zu subpolaren Becken des antarktischen Ringozeans.

Ausgehend von der rezenten, breitenparallel angelegten Zonierung der Kaolinit/Chlorit-Verhältnisse deuten Fluktuationen der Kaolinit/Chlorit-Verhältnisse in bislang 19 untersuchten spätquartären Sedimentkernen aus dem südöstlichen Südatlantik auf zyklische meridionale Verschiebungen der Ausbreitungsgrenzen der Tiefenwassermassen im Glazial/Interglazial-Wechsel hin. Demnach breiteten sich die nördlichen Tiefenwassermassen während warmzeitlicher Optima bis maximal 55° S aus (heute bis 45° S). Während der Kaltzeiten dehnten sie sich hingegen nur bis 55° S aus, wofür wahrscheinlich ursächlich die Verringerung der kaltzeitlichen NADW-Produktion verantwortlich war.

### 3.6.3 Biologische Produktivität versus terrigenen Eintrag in der Laptewsee

Die paläoozeanographischen und paläoklimatischen Untersuchungen in der Arktis wurden auf die eurasischen Randmeere ausgedehnt. Die Laptewsee mit ihren hohen Exportraten von Meereis und den hohen Suspensionseinträgen über die sibirischen Flußsysteme hat einen entscheidenden Einfluß auf die Sedimentbildung im Arktischen Ozean.

Von besonderer Bedeutung ist hier die Identifizierung und Quantifizierung der organischen Substanz ( $C_{org}$ ). Diese Parameter geben Aufschluß über die Herkunft der organischen Substanz aus mariner Oberflächenproduktivität und/oder terrigenem Eintrag. Überdies ermöglichen sie eine Abschätzung der Prozesse, die Abbau und Transport der organischen Substanz kontrollieren. Der laterale Eintrag von organischer Substanz ist wahrscheinlich eine wichtige Nahrungsquelle für die benthischen Organismen in den eisbedeckten Gebieten des Arktischen Ozeans. Als Indikatoren für die Produktivität wurden Biomarker bestimmt, die für unterschiedliche Organismengruppen spezifisch sind oder welche die Differenzierung von terrigenem bzw. marinem Eintrag ermöglichen, wie z.B. lang- und kurzkettige *n*-Alkane, Wachsester, Fettsäuren und Alkenone.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden mit anderen Produktivitätsproxys, wie Barium, Biogenopal und Chlorophyll *a*, verglichen und mit Gesamt-Parametern, wie TOC (total organic carbon), Wasserstoff-Index (HI) und dem Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff (C/N), korreliert. Dabei zeigte sich, daß die Oberflächensedimente aus der Laptewsee durch relativ hohe (bis 2,3 %) Gehalte an organischer Substanz gekennzeichnet sind. Die höchsten Werte werden im Bereich des Lena-Deltas erreicht. Die hohen C/N-Verhältnisse und die niedrigen Wasserstoff-Indices in diesem Bereich weisen, genau wie die hohen Konzentrationen an langkettigen



### 3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen

*n*-Alkanen und langkettigen, gesättigten Wachsestern, darauf hin, daß es sich um terrigenes Material handelt. In Richtung Schelf, Kontinentalhang und Tiefsee nehmen die Gehalte an terrigenen Biomarkern und die absoluten Flußraten von terrigener organischer Substanz ab.

Die marinen Biomarker, z. B. hochungesättigte Fettsäuren und kurzkettige *n*-Alkenone unterliegen im Gegensatz dazu anderen Verteilungsprozessen. Hier zeigt sich eine eindeutige Korrelation mit der Eisbedeckung. Besonders am Eisrand, also in einem Bereich erhöhter Oberflächenwasserproduktivität, was durch hohe Gehalte an Chlorophyll *a*, Biogenopal und hohe Wasserstoff-Index-Werte untermauert wird, finden sich die höchsten Konzentrationen an ungesättigten Fettsäuren im Oberflächensediment. Die niedrigsten Gehalte treten in den Bereichen ständiger Eisbedeckung auf.

Erste Untersuchungen an Sedimentkernen aus diesem Gebiet, die Aufschluß über die Sedimentationsprozesse im Wechsel von Glazial und Interglazial geben sollen, zeigen eine hohe Variabilität in allen Parametern. Weitere Untersuchungen an marinen Biomarkern sowie ergänzende sedimentologische und mikropaläontologische Untersuchungen – z. B. Diatomeen als Meereisindikator – sollen eine detaillierte Rekonstruktion der Paläoumwelt ermöglichen.

Das Auftreten kurzfristiger Erwärmungen während der jüngsten Eiszeit (Dansgaard-Oeschger-Ereignisse) und plötzlicher Kälteeinbrüche während der Warmzeit „Eem“ in grönländischen Eiskernen (Greenland Icecore Project – GRIP) hat die Frage aufgeworfen, ob diese episodenhaften, drastischen Klimaänderungen nur lokal beschränkte oder globale Ereignisse waren. Dieser Frage wird in verschiedenen Arbeitsansätzen intensiver nachgegangen; erste herausragende Ergebnisse konnten hierzu schon erzielt werden.

Detaillierte sedimentologische Untersuchungen an Sedimentkernen vom ostgrönländischen Kontinentalrand vor Scoresby Sund zeigen deutlich sehr kurzfristig auftretende Änderungen in der Zufuhr von eisbergtransportiertem Material (IRD) während der letzten 180.000 Jahre. Diese Phasen erhöhter Zufuhr von IRD, die mit einer erhöhten Kalbungsrate der grönländischen Gletscher erklärt werden, treten dabei sowohl während der Kaltzeiten (z. B. Isotopenstadien 2-4) als auch während der Warmzeiten (z. B. Isotopenstadium 5) auf. Ein Vergleich des IRD-Signals der Sedimentkerne mit der Isotopenkurve des GRIP-Eiskerns zeigt, daß die maximale IRD-Zufuhr i.d.R. mit leichten Isotopenwerten im Eiskern, d. h. Zeiten tiefer Lufttemperatur über Grönland, einhergeht. Die IRD-Maxima treten in Zeitabständen von <3000 Jahren auf und weisen auf sehr kurzfristige Variationen des grönländischen Eisschildes hin. Unterschiede in der magnetischen Suszeptibilität des IRD deuten auf unterschiedliche

### **Kurzfristige Klimaänderungen**

Liefergebiete des IRD hin. Weitere mineralogische Untersuchungen sind hier erforderlich, um die Liefergebiete zu identifizieren und damit lokale und regionale IRD-Ereignisse unterscheiden zu können.

Detaillierte Multi-Parameter-Untersuchungen an zwei Sedimentkernen vom Mittelatlantischen Rücken im Bereich der Polarfrontzone des Antarktischen Zirkumpolarstroms (ACC) zeigen überzeugende Daten für kurzfristige Klimainstabilitäten während des letzten Interglazials („Eem“). Die für marine Sedimente hohe Sedimentationsrate von 5-30 cm x 10<sup>-3</sup> Jahren erlaubt eine gute zeitliche Auflösung von etwa 500 -1.000 Jahren und ermöglicht damit eine gute zeitliche Korrelation mit dem GRIP-Eiskern. Verbunden mit anderen terrestrischen und marinen Beobachtungen von der Nordhalbkugel, ist dies ein überzeugender Hinweis, daß die episodenhaften Klimaänderungen, wie sie im GRIP-Eiskern über einen Zeitraum von ca. 18.000 Jahren beobachtet worden sind, wirklich von globaler Bedeutung sind.

Erste Ergebnisse aus laufenden Untersuchungen an Sedimentkernen aus der südlichen Drake-Straße weisen darauf hin, daß der terrigene Sedimentanteil in den marinen Sedimenten sehr stark durch äolischen Transport geprägt ist. Weiterführende Untersuchungen sollen zeigen, ob über die äolische Komponente eine Korrelation – und damit auch Datierung – der marinen Sedimentabfolgen mit den Wostok-Eiskernen in der Antarktis zuverlässig möglich ist.

#### 3.6.4 Datenbank SEPAN: Sediment and Paleoclimate Data Network

In Deutschland werden an zahlreichen Forschungsinstituten marine und lakustrine Sedimente bearbeitet und zur Rekonstruktion des Paläoklimas interpretiert. Die Bearbeitung paläoklimatischer Fragestellungen wie auch Klimamodellierungen im globalen Rahmen erfordern einen umfassenden Überblick über die verfügbaren Datensätze. Im Rahmen eines vom Bundesforschungsministerium geförderten Projektes wurde während der letzten zwei Jahre die Paläoklima-Datenbank SEPAN (Sediment and Paleoclimate Data Network) unter Beteiligung verschiedener Universitätsinstitute, die marine und lakustrine Sedimente untersuchen, entwickelt und am AWI installiert. SEPAN ist weltweit das erste System, das es erlaubt, marin-geologische Daten in konsistenter Form langfristig zu speichern und verfügbar zu halten. (Siehe auch Kapitel 2: Informationssystem SEPAN)

#### 3.6.5 Bathymetrie

Die systematischen Fächersonarvermessungen in der zentralen Framstraße bilden seit längerer Zeit einen Schwerpunkt der bathymetrischen Arbeiten in der Arktis. Die Verdichtungs- und Überprüfungs-messungen, die während der „Polarstern“-Expedition ARK XII/3, 1995, durchgeführt wurden, bildeten einen vorläufigen Abschluß dieser Arbeiten. Die Daten aller Meßkampagnen wurden post-prozessiert und in ein digitales Geländemodell (DGM) umgerechnet. Das DGM liefert die Grundlage für acht bathy-

### 3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen

metrische Karten im Maßstab 1:100.000, die zwischen dem Hovgaard-Rücken und der Spitzbergen-Bruchzone eine Fläche von 260.000 km<sup>2</sup> überdecken. Die Karten sind zur Zeit in der redaktionellen Endbearbeitung.

Im Nordatlantik, im Gebiet des Aegir-Rückens, wurde aus den Fächersonardaten früherer „Polarstern“-Expeditionen eine neue bathymetrische Karte im Maßstab 1:125.000 erstellt. Die Karte soll zur Interpretation der marinen Reflexionsseismik und für Untersuchungen kleiner topographischer Strukturen im zentralen Rift-Valley genutzt werden.

Die wissenschaftliche Bearbeitung der Bathymetrischen Karte des Weddellmeeres (AWI-BCWS) 1:1.000.000 wurde abgeschlossen. Zur Zeit findet die Vorbereitung zum Druck statt. Das Kartenwerk soll in Form einer gedruckten Papierkarte und als digitale Karte, sowohl als Geländemodell (DGM) als auch in Vektorform für nationale und internationale Nutzer bereitgestellt werden. Gleichfalls werden die Isolinien in den „GEBCO Digital Atlas“ (GDA) übernommen und ersetzen den südlichen Teil der GEBCO-Karte 5.16. Das AWI-Kartenwerk wurde auf der Grundlage der gesamten im Weddellmeer verfügbaren Daten entwickelt, beruht jedoch im wesentlichen auf Fächersonar- und Echolotdaten der „Polarstern“.

Das Kartenwerk liefert neue Erkenntnisse über den morphologischen Aufbau des antarktischen Kontinentalrandes und verbessert damit die Möglichkeiten für die wissenschaftliche Interpretation meereskundlicher Daten. Aufgrund der hohen Datenqualität soll die Bathymetrie auch für die Herstellung neuer Seekarten im Weddellmeer Verwendung finden. Das AWI wird in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und dem Institut für Angewandte Geodäsie (IfAG) zwei Seekarten 1:250.000 im Bereich der Neumayer-Station herstellen. Somit liefert die Bathymetrie gleichzeitig einen Beitrag zur Sicherheit der Schifffahrt in der Antarktis.

Wesentliche Neuerungen für das Hydrosweep-System auf „Polarstern“ sind die Vergrößerung des Meßfächers auf 120° für Arbeiten in Wassertiefen bis zu 1.500 m, die Erweiterung der „Side Scan Sonar“-Technik (SSS) und die Einrichtung eines Auswertesystems zur Berechnung der Rückstreuoeffizienten (Backscatter) aus Fächersonardaten. Die ersten Ergebnisse sind vielversprechend und deuten in Verbindung mit dem sedimentakustischen Parasound-System auf neue Möglichkeiten zur weiträumigen quantitativen Bestimmung der flächenhaften Verteilung von Sedimentmustern hin. SSS wurde erstmalig während der „Polarstern“-Expedition ANT XII/4 eingesetzt. Die hochaufgelösten Zusatzinformationen stellen eine erhebliche Steigerung des wissenschaftlichen Informationsgehaltes von Fächersonarmessungen dar. SSS-Daten erlauben die exakte Bestimmung von Strukturlinien und liefern somit hybride Karten mit Sonarbildern und Tiefenlinien, eine wichtige Grundlage zur morpho-tektonischen Analyse des Meeresbodens.

**3.6.6**  
**Geodätisches**  
**Referenznetz**  
**Antarktis**

Im Rahmen des BMBF-geförderten Verbundvorhabens „Geodätisches Referenznetz Antarktis“ unter Beteiligung von sechs deutschen Instituten und Universitäten wurde 1995 ein geodätisches Referenznetz höchster Genauigkeit in der Antarktis eingerichtet. Dies langfristige Forschungsprojekt ist in das GIANT-Projekt (Geodetic Infrastructure Antarctica) des „Scientific Council of Antarctic Research“ (SCAR) eingebunden und soll als Grundlage für geokinematische Untersuchungen zur Bestimmung rezenter Plattenbewegungen in der Antarktis dienen und zukünftig auch für die Behandlung geodynamischer Fragestellungen in der Antarktis genutzt werden.

Die Messungen zur Bestimmung der Punktkoordinaten erfolgten mit dem Global Positioning System (GPS) im Rahmen einer international koordinierten Kampagne auf mehr als vierzig Stationen im Gebiet der Antarktis und angrenzender Kontinente. Erste Ergebnisse belegen eine Genauigkeit der Koordinaten innerhalb des Referenznetzes von ein bis zwei Zentimetern.

Für die Durchführung der Arbeiten im Bereich der Antarktischen Halbinsel wurde das russische Forschungsschiff „Akademik Boris Petrov“ des V.I. Vernadsky-Instituts in Moskau gechartert. Im Rahmen dieser Unternehmung führte die bathymetrische Arbeitsgruppe in Zusammenarbeit mit dem V.I. Vernadsky-Institut ein marin-geowissenschaftliches Programm mit bathymetrischen, seegravimetrischen und hydrographischen Vermessungen durch. Die Ergebnisse sollen unter Einbeziehung flächenhafter Schwerefeldinformationen aus der Satellitenaltimetrie zur Interpretation geokinematischer Parameter dienen.

## *Marine Ökosysteme*

Eine der wichtigen Aufgaben des AWI ist die Forschung im Bereich der polar- und meeresbezogenen Biowissenschaften, wobei die Arktisforschung in den letzten Jahren intensiviert wurde. Eines der vorrangigen Ziele ist es, zu beschreiben, wie sich prognostizierte Änderungen im Gesamtsystem Erde auf die Biosphäre (und auf den Menschen) auswirken. Ein Schwerpunkt ist die Erforschung der Rolle der polaren marinen Lebensgemeinschaften im globalen Zusammenhang, insbesondere ihres Beitrags zum Kohlenstoffkreislauf. Die Wechselwirkungen zwischen physikalischen und biologischen Prozessen werden untersucht sowie die trophischen Beziehungen innerhalb der Lebensgemeinschaften quantifiziert.

### 3.7 Marine Ökosystemforschung und Ökophysiologie (Sektion Biologie I)

Das Verständnis von Funktionsprinzipien polarer Ökosysteme ist die Voraussetzung dafür, deren bisherige Entwicklung zu beschreiben, ihren heutigen Zustand zu beurteilen und mögliche Entwicklungstrends vor dem Hintergrund denkbarer Umweltveränderungen zu analysieren. Dazu wurden die Lebensgemeinschaften der Bodentiere, der Makroalgen und des Planktons sowie Fische und Warmblüter aus polaren Flachwasserregionen (Südshetlands, Spitzbergen, Weißes Meer), den Schelfgebieten des Weddellmeeres und des Arktischen Ozeans untersucht. Erste Arbeiten in der polaren Tiefsee wurden begonnen. Neu hinzugekommen sind auch ökophysiologische Untersuchungen über die Anpassungsstrategien polarer Tiere und Großalgen an die in ihrem Lebensraum herrschenden Bedingungen.

#### **Vergleiche physiologisch-biochemischer Anpassungen von Tieren in polaren und gemäßigten Regionen**

Hauptziel der ökophysiologischen Arbeiten ist die Beantwortung der Fragen, inwieweit die Verbreitung von Arten durch die Umgebungstemperatur im Verein mit anderen abiotischen Faktoren kontrolliert wird und welche physiologischen und biochemischen Mechanismen hierfür verantwortlich sind. Tiere aus verschiedenen Lebensräumen werden über einen weiten Bereich geographischer Breiten vergleichend untersucht. Die Arbeiten widmen sich zunächst den Mechanismen der Anpassung, unter anderem an Schwankungen des O<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Gehalts, der Temperatur und des Gehalts an Wasserstoffperoxid im Meerwasser, letzteres in Abhängigkeit von der UV-Einstrahlung. Ziel ist auch die Erarbeitung kritischer Grenzbedingungen, bei deren Überschreitung die Tiere zelluläre und systemische Funktionen nicht mehr aufrechterhalten können. Besondere physiologische Leistungen einzelner Tiergruppen werden bei diesen Arbeiten berücksichtigt.

Für die vergleichende ökophysiologische Polarforschung ist die Wirkung der Temperatur auf den Energieumsatz von Tieren von zentraler Bedeutung. Eine Abkühlung bewirkt zunächst grundsätzlich eine Stoffwechselreduktion. Es gibt die Theorie, daß kaltadaptierte Tiere ihren Energieumsatz kompensatorisch erhöhen müssen, um lebenserhaltende Funktionen aufrechtzuerhalten (historisch definiert als „metabolic cold adaptation“).

In Zusammenarbeit mit L. Peck (BAS, Cambridge) wurden Untersuchungen zur Temperaturanpassung der antarktischen Napfschnecke *Nacella concinna* und der

#### 3.7.1 Ökologie und Ökophysiologie einzelner Arten und Gruppen

Muschel *Limopsis marionensis* durchgeführt. Beide Arten reagieren auf erhöhte Temperatur nicht nur mit einem Anstieg des Sauerstoffverbrauchs, sondern auch mit dem Abbau ihrer Energiereserven in Form des Phosphagens Phospho-L-Arginin.

Die Lebensdauer von Tieren wird nach verbreiteter Überzeugung entscheidend von der Bildung und langfristigen Wirkung toxischer Sauerstoffradikale beeinflusst. Trotz verschiedener antioxidativer Strategien (Enzyme, niedermolekulare Schutzstoffe) führt jeder reduktive Sauerstoffumsatz zu einer Produktion von Sauerstoffradikalen. Da Temperatur die Stoffwechselrate mitbestimmt, ist sie auch für die Radikalbildung und damit die Lebensdauer von entscheidender Bedeutung. Für Organismen aus dem Gezeitenbereich und aus den oberen Schichten der Wassersäule kommt die photochemische Bildung und Akkumulation toxischen Wasserstoffperoxids ( $H_2O_2$ ) hinzu. Diese Zusammenhänge sind insbesondere vor dem Hintergrund erhöhter UV-Einstrahlung aufgrund verminderter Ozongehalte in der Stratosphäre von Interesse.

Vergleichende Arbeiten zur Bedeutung toxischer Sauerstoffspezies bei polaren und borealen Evertebraten wurden unter anderem im Dallmann-Labor auf den Südshetlands begonnen. Für boreale Tiere (*Crangon crangon*, *Nereis diversicolor* und *Arenicola marina*) ist bereits bekannt, daß die UV-induzierte Anhäufung von  $H_2O_2$  zu einer reduzierten aeroben Stoffwechselrate und einem erhöhten enzymatischen Oxidationsschutz führt. Bei einem Anstieg der Stoffwechselrate mit der Temperatur werden vermehrt Sauerstoffradikale gebildet, die nur zum Teil durch vorhandene Schutzmechanismen aufgefangen werden können. Die Sauerstoffkonzentrationen des Mediums und der Körperflüssigkeiten bestimmen ebenfalls das Ausmaß der Radikalbildung.

Die Anpassung an extreme Umweltbedingungen ist bei Tieren häufig (auch bei konstanter Temperatur) mit einer drastischen Senkung der Stoffwechselrate verbunden. Untersuchungen an einem Bewohner mariner Sedimente, dem Spritzwurm *Sipunculus nudus*, zeigten, welche Mechanismen zur Reduktion des Energieumsatzes führen. Unter Sauerstoffmangel und erhöhten  $CO_2$ -Gehalten bewirkt der Neuromodulator Adenosin eine Verminderung des Energieverbrauchs. Diese Untersuchungen zur Wirkung des  $CO_2$  werden auch vor dem Hintergrund von Überlegungen durchgeführt, industriell produziertes  $CO_2$  in der Tiefsee zu entsorgen.

Im Pelagial können die Tintenfische, besonders die Kalmare, mit Fischen und Meeressäugern konkurrieren. Erreicht haben sie dies durch eine drastische Erhöhung des Energieumsatzes. Dies dürfte auch in den Polargebieten gelten. Kalmare sind besonders empfindlich gegenüber Fluktuationen im  $CO_2$ - oder  $O_2$ -Gehalt des Wassers. Eine Aktivitätsminderung erfolgt bei vergleichsweise hohem Energiegehalt des ATP, möglicherweise als Schutzmaßnahme gegen übermäßige Belastung bei ungünstigen Umgebungsbedingungen wie Sauerstoffmangel. Künftig sind auch die Lebensstrategien und Energiesparmaßnahmen von Tintenfischen zu untersuchen, die in den Polarge-

### 3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen

bieten saisonalen Schwankungen der Nahrungszufuhr ausgesetzt sind oder im kalten, nährstoffarmen Pelagial der Tiefsee und der Polargebiete leben und besondere energie-sparende Auftriebsmechanismen entwickelt haben.

Die meisten antarktischen Makroalgen wachsen und pflanzen sich in der Übergangszeit vom Spätwinter zum Frühjahr fort. Das gilt auch für die ökologisch wichtigen Arten *Desmarestia menziesii* und *Ascoseira mirabilis*. In Felduntersuchungen am Dallmann-Labor wurde gezeigt, daß die Photosyntheseraten von *A. mirabilis* in dieser Zeit gegenüber den Sommerwerten erhöht sind. Dieser jahreszeitliche Aktivitätswechsel wird als Anpassung an die saisonal stark variierenden antarktischen Lichtbedingungen gewertet. Die Algen können auf diese Weise das im Frühjahr tief in das sehr klare Wasser eindringende Licht zur Produktion nutzen.

Im Sommer herrschen im tieferen Sublitoral aufgrund von Phytoplanktonblüten und Gletschertrübe ähnlich niedrige Lichtintensitäten wie im Winter. Im oberen Sublitoral und im Eulitoral hingegen können die dort wachsenden Arten an Sonnentagen einer sehr hohen Einstrahlung ausgesetzt sein. Den schädigenden Effekten dieser hohen Lichtintensitäten entgehen arktische und antarktische Makroalgenarten mit Hilfe der dynamischen Photoinhibition, die auch Schäden durch UV-Strahlung verhindern kann.

Antarktische Makroalgen sind wesentlich stärker an niedrige Temperaturen angepaßt als Arten aus der Arktis, die in ihren Temperaturansprüchen antarktisch-kaltgemäßigen Arten ähneln. Diese Unterschiede sind auf die unterschiedlich lange Kaltwassergeschichte der beiden Polarregionen zurückzuführen. In beiden Hemisphären entwickelten sich eigenständige Kaltwasserfloren.

Die Vorstufe des Treibhausgases Dimethylsulfid (DMS), das  $\beta$ -Dimethylsulfoniumpropionat (DMSP), ist eine wasserlösliche, die Aktivität von Enzymen selbst in hohen Konzentrationen nicht hemmende Schwefelverbindung. Es gleicht als Osmolyt Salinitätsschwankungen des Außenmediums aus. Die Nachweismethoden für DMSP wurden inzwischen entscheidend verbessert. Dabei zeigte sich, daß Grünalgen der Ordnung Ulvales aus den Polargebieten signifikant höhere DMSP-Gehalte aufweisen als tropische Arten derselben Ordnung. Deren Funktion als Gefrierschutzmittel wurde kürzlich experimentell nachgewiesen. DMS wirkt als starkes Treibhausgas und steht auch aus diesem Grunde im Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses.

Die Untersuchungen an Benthos und Zooplankton ergänzen sich mit den physiologischen Ansätzen und sollen klären, aufgrund welcher Eigenschaften Benthos- und Planktonarten unter spezifisch polaren Bedingungen existieren können. Dazu ist die Erfassung einer ausreichenden Zahl von Schlüsselarten aus den verschiedenen Grup-

### **Ökologie polarer Makroalgen**

### **Lebenszyklen, Lebensstrategien und Toleranzgrenzen von wirbellosen Tieren**

pen notwendig. Die Ergebnisse bilden auch die Grundlage für Modelle polarer Ökosysteme.

In der Grönlandsee wurden Gonadenentwicklung und Eireifung der Copepoden *Calanus finmarchicus*, *C. glacialis* und *C. hyperboreus* experimentell und histologisch untersucht. Es wurde ein physiologisches Modell der Eiproduktion von *Calanus finmarchicus* entwickelt, das die Stoffwechselfvorgänge im Zusammenhang mit Nahrungsaufnahme und Gonadenreifung erfaßt und die Eiproduktionsrate aus Nahrungsangebot und Temperatur vorhersagt. Lebenszyklus und Reproduktionsperiode des mesopelagischen Copepoden *Metridia longa* in der Grönlandsee wurden aus älteren Proben rekonstruiert.

Die Lebensstrategien dieser Arten weisen deutliche Unterschiede in Bezug auf Vorkommen, Vertikalverteilung, Freßverhalten und Reproduktionsbiologie auf. Im Bellingshausenmeer haben die kleinen cyclopoiden und poecilostomatoiden Copepoden einen maximal einjährigen Lebenszyklus.

Im Weddellmeer wurden fünf pelagische Cnidarier-Gemeinschaften unterschieden, deren Vorkommen und Vertikalverteilung eng mit der Hydrographie sowie mit der Vertikalverteilung der Nahrungsorganismen gekoppelt sind.

Im Benthos wurden die Untersuchungen an der Garnelenfauna des Weddellmeeres bis auf Studien zur Larvenökologie abgeschlossen. Bei der Tiefseegarnele *Nemato-carcinus lanceopes* waren vermutlich Anpassungen im Reproduktionsmodus dafür ausschlaggebend, daß sie bis in hohe Breiten des Südpolarmeeres vordringen konnte. An Dekapoden der Magellanregion wird nun der Frage nachgegangen, ob der Schlüssel für das Fehlen reptanter Krebse auf der antarktischen Seite der Drake-Passage in ihrer Reproduktionsbiologie liegt.

Beim Vergleich chilenischer und antarktischer Mollusken ergab sich ein linearer Zusammenhang zwischen oberen Letaltemperaturen und geographischer Breite: Je weiter südlich die Tiere vorkommen, desto geringer ist ihre Toleranz gegenüber erhöhten Temperaturen.

Die weltweit erste populationsdynamische Untersuchung an einem Brachiopoden bestätigte die Hypothese, daß Armfüßer eine „Niedrig-Energie“-Lebensweise entwickelt haben. Bei *Magellania fragilis* beträgt der organische Anteil am Gesamtgewicht nur 6,5 %. Ihr Wachstum ist extrem langsam – sie erreicht im Alter von 50 Jahren eine Länge von 40 mm. Auch die Produktivität der Population ist sehr gering. Auf diese Weise kommen Brachiopoden mit einem extrem geringen Nahrungsangebot zurecht und bieten potentiellen Räubern nur wenig verwertbare Nahrung.

Im östlichen Weddellmeer und im Lazarewmeer wurden 22 Arten polynoider und aphroditider Polychaeten gefunden, deren Abundanz und Biomasse jedoch vergleichs-



weise gering sind. Alle Arten sind räuberisch mit breitem Nahrungsspektrum. Antarktische Muscheln, Schnecken, Floh- und dekapode Krebse besiedeln im Mittel größere Tiefenbereiche als solche gemäßigter Breiten, während Polychaeten, See- und Schlangensterne in beiden Gebieten über einen weiten Tiefenbereich vorkommen. Diese Befunde stützen die Hypothese, daß ein großer Teil der Bodenfauna des antarktischen Schelfs durch die Oszillationen des Schelfeises während der Eiszeit-Warmzeit-Zyklen in Richtung ausgeprägter Eury bathie selektiert wurde.

#### **Pelagische Lebensgemeinschaften: Zooplankton**

Die Zooplanktongemeinschaften des Nordatlantiks und des Arktischen Ozeans sind über den Einstrom atlantischen Wassers in das Nordpolarmeer und durch den Ausstrom polaren Wassers in die Grönlandsee eng miteinander verknüpft. Auf zwei Expeditionen in den Arktischen Ozean wurde besonders die Ausbreitung des Zooplanktons mit dem atlantischen Einstrom im Nansen- und Amundsen-Becken erfaßt. Fernziel der Arbeiten ist die Beschreibung der Zooplanktonverbreitung im Arktischen Ozean unter Hinzuziehung alter russischer Proben.

Im Südpolarmeer dominieren im Zooplankton die kleinen cyclopoiden und poecilostomatoiden Copepodenarten zahlenmäßig. Aufgrund ihrer geringen Größe ist ihre Bedeutung für das Ökosystem jedoch bisher unterschätzt worden. Innerhalb der calanoiden Copepodengemeinschaft stellen sechs Arten 97 Prozent der Gesamtindividuenzahl. Diese starke Dominanz einiger weniger Arten ist für polare und boreale Gebiete typisch. Deutliche saisonale Schwankungen traten in Artenzahl, Diversität und Biomasse auf. Die niedrigsten Werte wurden im Spätwinter, die höchsten im Sommer und Herbst verzeichnet.

Die Untersuchungen an benthischen Lebensgemeinschaften zielen darauf ab, die Struktur und Biodiversität dieser Gemeinschaften im Süd- und Nordpolarmeer in Abhängigkeit von lokalen sowie regionalen Umweltbedingungen zu ergründen.

Die Arbeiten in der Hocharktis konzentrierten sich auf die Besiedlungsverhältnisse der Makrofauna an den eurasischen Kontinentalhängen. Von Spitzbergen bis Franz-Josef-Land und vom Woronin-Trog im Osten der Karasee bis zum Kontinentalhang nordöstlich der Neusibirischen Inseln wurden die wichtigsten Tiergemeinschaften in Zusammenarbeit mit russischen Wissenschaftlern beschrieben. In regelmäßig eisbedeckten, inselnahen Gebieten dominieren Suspensionsfresser, in den offeneren Bereichen in der Regel Bodensatzfresser.

Die großräumige Verteilung der Zoobenthos-Biomasse im eurasisch-arktischen Tiefseebereich deutet auf sehr ungleichmäßige Nahrungsverfügbarkeit hin – das

#### **3.7.2 Struktur und Entwicklung mariner Lebensgemeinschaften**

#### **Benthische Lebensgemeinschaften**

Benthos im nördlichen Nansen- und im Amundsen-Becken ist arm. Am Lomonossow-Rücken und teilweise auch im Übergangsbereich zum Makarow-Becken werden höhere Besiedlungsdichten erreicht. Die Unterschiede lassen sich durch die Ströme der atlantischen Wassermassen im Arktischen Ozean erklären, wodurch organische Substanz von eisfreien Schelfgebieten vor allem entlang des Lomonossow-Rückens weit verfrachtet werden kann.

Im Weißen Meer dominiert unterhalb der sommerlichen Temperatursprungschicht eine arktische Reliktfauna. Zwei Expeditionen zur Weißmeerstation des Zoologischen Instituts St. Petersburg zeigten, daß die Tellmuschel *Macoma balthica* dort ein ähnliches Besiedlungs- und Ausbreitungsverhalten zeigt wie im Wattenmeer der Nordsee. Die vergleichenden Untersuchungen zwischen polaren Flachwassersystemen und dem Nordsee-Wattenmeer schließen auch die Reproduktionsbiologie von Polychaeten sowie Ökologie und Ökophysiologie von Dekapoden und Fischen ein.

In der Nordsee wurden gemeinsam mit vier norddeutschen Instituten die Auswirkungen eines Großbauvorhabens (EUROPIPE) auf die Umwelt untersucht. Im Bereich der Pipeline-Trasse wurde die gesamte wirbellose Fauna vernichtet, auf den Wattflächen war eine erhöhte Verschlickung mit negativen Auswirkungen auf die Fauna festzustellen. Deutliche Einbußen erlitten auch die Fisch- und Dekapodengemeinschaften. Nach Beendigung der Baumaßnahmen im Jahr 1995 gingen die Auswirkungen zurück; sie werden aber noch bis Ende 1997 weiter verfolgt.

Das 1992 begonnene europäische Projekt zur Untersuchung von Auswirkungen der Grundschieppnetzfisherei auf das Ökosystem der Nordsee (IMPACT) wurde fortgesetzt. Dabei zeigten sich deutliche Unterschiede in der Besiedlung von stark befischten und nicht befischten Gebieten. Die benthosökologischen Arbeiten in polaren und subpolaren Gebieten der Antarktis konzentrierten sich auf zwei Themen, die Analyse von Lebensgemeinschaften unter Berücksichtigung ökologisch relevanter Umweltparameter und auf Biodiversitätsstudien. Die Diversität der meisten Gruppen der antarktischen Makrofauna ist höher als im Nordpolarmeer und teilweise mit jenen in tropischen Meeresgebieten vergleichbar.

Die Benthosbesiedlung im Amundsen- und Bellingshausenmeer, in der Magellanregion Südamerikas und um Südgeorgien wurde anhand von Video- und Photoaufnahmen mit Hilfe eines Unterwasserfahrzeugs untersucht.

Abundanz und Biomasse des Makrozoobenthos im südlichen Weddellmeer und im Lazarewmeer wurden im Tiefenbereich zwischen 150 und 4.300 m analysiert. Die Biomassen auf Schelf und Hang waren im Lazarewmeer doppelt so hoch wie im Weddellmeer; unter 1.000 m Tiefe gingen die Werte stark zurück. Im Gegensatz zum großen Artenreichtum und der hohen Diversität sind die Abundanzen und Biomassen dieser Gebiete ähnlich wie in anderen Meeren.

### 3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen

Die in chilenisch-europäischer Kooperation Ende 1994 durchgeführte Magellan-Expedition der „Victor Hensen“ brachte ein außerordentlich reiches Material aus dem Plankton und Benthos der Magellanstraße, des Beaglekanals und des Seegebiets bis zum Kap Hoorn. Dieses Material wird zum ersten Mal einen umfassenden biogeographischen Vergleich dieser benachbarten, erst vor geologisch kurzer Zeit getrennten Seegebiete ermöglichen.

Bereits die vorläufige Analyse der Agassiztrawlfänge und des UW-Bildmaterials hat gezeigt, daß sich die Besiedlung der Magellanregion von der der Antarktis grundlegend unterscheidet. Im Plankton der Magellanregion haben Euphausiaceen und Salpen eine geringere Bedeutung als in der Antarktis; andere gelatinöse Formen wie Rippenquallen können jedoch eine große Biomasse erreichen. Copepoden sind dagegen in beiden Gebieten von ähnlicher Bedeutung. Die Kelpwälder (*Macrocystis pyrifera*) der Magellanregion haben kein antarktisches Gegenstück; im Flachwasser dominieren in der Antarktis andere Großalgen, während weite Bereiche besonders vor den Eisschelfen frei von Makroalgen sind. Die hochdiversen Suspensionsfressergemeinschaften der Hochantarktis fehlen im Magellangebiet, wohingegen Echinodermen in beiden Gebieten eine große Rolle spielen. Mollusken sind in der Magellanregion wichtiger und haben dort auffällig dickere Schalen. Die in der Antarktis häufigen Garnelen tragen nur wenig zur magellanischen Fauna bei, während die reptanten Dekapoden hier hochdominant sind, aber in der Hochantarktis fehlen.

Die laufende taxonomische Analyse des Materials wird zeigen, inwieweit und auf welchem taxonomischen Niveau engere Verwandtschaftsverhältnisse zwischen den Faunengruppen der beiden benachbarten Gebiete bestehen.

#### **Biogene Stoffkreisläufe und pelago-benthische Kopplung**

Die Nahrungsflüsse zwischen freiem Wasser und Meeresboden (pelago-benthische Kopplung) wurden schwerpunktmäßig in der Arktis untersucht. In der Barentssee wurde ein erstes umfassendes Flußmodell des organischen Kohlenstoffs im Sommer erstellt. Die Flüsse im freien Wasser werden sehr stark durch das Zooplankton reguliert (Kontrolle des Phytoplanktons, Hauptbeitrag zum Sedimentationsgeschehen durch Kotpartikel). Dennoch gelangt zeitweise mehr organische Substanz zum Boden, als vom Benthos genutzt wird. Überschüsse können daher aus der Barentssee durch bodennahe Strömungen in benachbarte Gebiete verfrachtet werden. Auch die im Sommer eisfreien Bereiche der Laptewsee erlauben den Export organischer Substanz. Dies spiegelt sich im Benthos an den Kontinentalfhängen im Nordosten und am Lomonossow-Rücken besonders stark wider.

Im Rahmen des Nordostwasser-Polynja-Projekts bei Grönland wurde in Zusam-

#### **Biogeographische Zusammenhänge zwischen antarktischen und magellanischen Lebensgemeinschaften**

#### 3.7.3 Ökologische Prozesse

menarbeit mit dem Ozeanographischen Institut Sopot die Bedeutung des Wegfrazes (grazing) durch die herbivoren Copepoden untersucht. Nur an wenigen Stationen vermochte das Copepodengrazing die Phytoplanktonbiomasse signifikant zu reduzieren. Daher sinkt ein Großteil der primär produzierten Biomassen direkt zum Boden ab. Der wichtigste Copepode im Untersuchungsgebiet, *Calanus glacialis*, kontrolliert zumindest zeitweise die hohen Eisalgenkonzentrationen besonders unter einjährigem Eis vor der Öffnung der Polynja.

In der Antarktis wurden pelago-benthische Kopplungsvorgänge stärker aus der Sicht der Bodenfauna untersucht. Im Berichtszeitraum galt das Interesse vor allem der Fauna der Schlangensterne. Sie hat im Weddellmeer einen Anteil von etwa 20 Prozent an der Gesamtbiomasse des Makrozoobenthos. Die Ernährungssituation der Tiere ist im Frühjahr schlechter als im Sommer. Unterschiede in der Nahrung deuten auf eine unterschiedlich starke Kopplung verschiedener Arten an pelagische Prozesse hin.

**Energiefluß und  
Interaktionen in  
einem antarktischen  
Flachwassersystem**

Die Struktur des Ökosystems der vom Dallmann-Labor zugänglichen Meeresbucht (Potter Cove) wurde in Kooperation mit argentinischen Wissenschaftlern (RASCALS-Projekt) eingehend beschrieben. Im Mittelpunkt stehen die im System ablaufenden Prozesse.

Wichtige Aspekte der Dynamik des Ökosystems Potter Cove sind inzwischen bekannt. Dies gilt besonders für die Hydrographie der Bucht, für die Ernährungsbedingungen der sessilen Filtrierer sowie für die konkurrenzbedingte Ausbildung von Makroalgenesellschaften unter unterschiedlichen Umweltbedingungen. Der Schwerpunkt der Arbeiten hat sich daher auf die Populationsdynamik, Autökologie und Ökophysiologie von Schlüsselarten verlagert. Trophische Beziehungen zwischen Makroalgen und herbivoren Tieren wurden aufgeklärt, und die Photosyntheseleistung von Makroalgen wurde bestimmt. Alle aus der Potter Cove gewonnenen Daten gehen in ein Modell des Energieflusses ein, das die Unterschiede zwischen küstennahen Flachwassersystemen und dem tieferen Schelf verdeutlichen soll. Zusätzlich werden die in der Potter Cove gewonnenen Proben genutzt, um verlässliche taxonomische Grundlagen zu erarbeiten. Revisionen von benthischen Diatomeen, von Makroalgen, Schwämmen und Ascidien befinden sich in Arbeit.

Während der letzten Kampagne im Südsommer 1995/1996 wurden Untersuchungen zum Einfluß von UV-B-Einstrahlung und O<sub>2</sub>-Radikalbildung auf die Phytoplanktonentwicklung und die Physiologie von Tieren der Gezeitenzone begonnen.

### *3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen*

Die nahrungsökologischen Untersuchungen an Weddellrobben im Drescher-Inlet gehen eng einher mit der Benthos- und Fischforschung an der Ostküste des Weddellmeeres. Mit einem am AWI entwickelten Meßsystem aus Miniatur-Dataloggern wurden die Kieferbewegungen und Tauchtiefen von Robben simultan und in hoher Auflösung erfaßt. Mit dieser Methode kann die quantitative Bedeutung pelagischer und benthischer Nahrung für die Weddellrobben abgeschätzt werden. Die Messungen erbrachten die ersten Informationen zur Vertikalverteilung und Dichte von Beutetieren der Robben unter dem Meereis. Rein pelagische Tauchgänge mit besonders intensiver Kieferaktivität häuften sich innerhalb der thermischen Sprungschicht in 130 bis 210 m Wassertiefe. Dies läßt nicht nur auf eine hohe Dichte an Fischen, sondern auch an Zooplankton schließen. Oberhalb der Sprungschicht und bis hinunter zum Meeresboden in 420 m Wassertiefe war die Kieferaktivität der Robben deutlich geringer. In Zusammenarbeit mit Ozeanographen des AWI wurde außerdem eine gezeitenabhängige Rhythmik der Aktivitätsphasen der Robben nachgewiesen.

Gemeinsam mit Robbenbiologen des Instituto Antártico Argentino wurden der Lipidstoffwechsel des Südlichen See-Elefanten und die Wirtswechselbiologie von Parasiten untersucht. Die Konzentrationen von Lipiden, Lipoiden und Lipoproteinen lassen physiologische Besonderheiten in der Adaptation des Fettstoffwechsels von See-Elefanten erkennen, die auch interessante Ansätze für die Humanmedizin bieten. So könnte der außergewöhnlich hohe Cholesterinspiegel von Robben zum Verständnis der Pathogenese der Arteriosklerose beim Menschen beitragen (Kooperation mit dem Institut für klinische Chemie in Großhadern). Auch parasitologische Untersuchungen werden an See-Elefanten im Bereich der Antarktischen Halbinsel durchgeführt.

In Zusammenarbeit mit südamerikanischen Wissenschaftlern wurden die Untersuchungen an benthischen und pelagischen Gemeinschaften des Humboldtstroms fortgeführt. Das Makrobenthos im Flachwasser vor Peru wird seit 1981 untersucht. Seit 1990 liegt ein lückenloser Datensatz vor. Die Dynamik der Bodenfauna während des extrem langen, aber in der Temperaturabweichung gemäßigten El Niño 1991-93 wurde mit Daten aus dem kürzeren, aber extrem starken El Niño 1982-83 verglichen. Die Veränderungen in der Benthosgemeinschaft waren nur teilweise dem Ausmaß der Temperaturanomalie proportional. Die Artendiversität war im starken El Niño etwas höher, während strukturelle und trophische Veränderungen während des lang andauernden El Niño ausgeprägter waren. Insgesamt war der Einfluß des langen, gemäßigten El Niño kaum geringer als der des kürzeren und starken. Schon Monate vor Eintreffen

***Robben, Pinguine und  
ihre Parasiten  
im Nahrungsnetz  
antarktischer  
Schelfgebiete***

***Biologische Dynamik  
im Auftriebssystem  
des Humboldt-Stroms  
und „El Niño“-  
Einflüsse***

der Kelvinwellen, die eine nachhaltige Erwärmung der Wassermassen vor Peru auslösten, zeigte sich eine Änderung in den Lebensgemeinschaften, die sich unter Umständen für kurzfristige Vorhersagen nutzen ließe.

Die Populationsdynamik der Muschel *Gari solida* aus Peru und Chile wurde analysiert, um die Auswirkungen des El Niño 1991-93 zu untersuchen. Muscheln sind gut an die höheren Temperaturen während eines normalen El Niño angepaßt. Nur ein starker oder sehr starker El Niño führt zu hohen Mortalitätsraten.

Ein dynamisches Simulationsmodell der peruanischen Sardelle aus dem Auftriebsgebiet des Humboldtstromes steht vor dem Abschluß. Dennoch ist es nicht möglich, den Bestand wichtiger pelagischer Fischarten in Auftriebssystemen mit numerischen Modellen vorherzusagen. Daher wurde damit begonnen, die Eignung künstlicher neuronaler Netze für diese Aufgabe zu prüfen. Erste Tests zeigten, daß künstliche neuronale Netze prinzipiell geeignet sind, Biomassen für wenige Monate vorherzusagen.

**Struktur und Funktion  
von Sekundärmeta-  
boliten in Wirbellosen**

Chemische Analysen von Stoffwechselprodukten in Wirbellosen des antarktischen Benthos wurden durch Vergleichsuntersuchungen in anderen Lebensräumen ergänzt. Dabei sollte herausgefunden werden, wie sich artspezifische Unterschiede und Umgebungsbedingungen in den Naturstoffen widerspiegeln.

Für den Vergleich wurden charakteristische Vertreter des Neustons im tropischen und subtropischen Atlantik gesammelt. Unter den Tierinhaltsstoffen wurden zunächst Sterole qualitativ und quantitativ analysiert. Diese Verbindungen sind Strukturbestandteile der Zellen aller eukaryotischen Organismen. Zusammen mit Phospholipiden besteht ihre Rolle darin, die biologische Funktion der Zellmembran bei verschiedenen Umweltbedingungen aufrechtzuerhalten. Alle bisher analysierten Tiere des tropischen Neustons besaßen höhere Sterolgehalte als entsprechende Vertreter des antarktischen Benthos.

**Anthropogene Stoffe  
in Meerestieren der  
Polargebiete**

Antarktische Fische wurden auf zehn verschiedene chlororganische Verbindungen untersucht. Im Zeitraum von 1987 bis 1991 zeigte sich ein statistisch signifikanter Konzentrationsanstieg für drei PCB-Komponenten (Polychlorierte Biphenyle) und DDE (Hauptmetabolit von DDT). Die Gehalte an HCB (Hexachlorbenzol) lagen in antarktischen Fischen ähnlich hoch wie in Plattfischen der Nordsee, die der anderen Verbindungen ein bis zwei Größenordnungen tiefer. Die Konzentrationsvergleiche zwischen der Antarktis und der Nordhemisphäre belegen, daß persistente anthropogene Organochlorverbindungen weltweit verbreitet werden und sich substanzspezifisch in den Polargebieten anreichern.

Untersuchungen mit dem Ziel, die Verteilungen organischer Spurenstoffe im Atlantischen Ozean zu charakterisieren, wurden fortgesetzt. Hierzu wurde Probenmaterial bearbeitet, das Ende 1993 während einer Meridionalfahrt von Bremerhaven bis in die Treibeiszone des Weddellmeeres gewonnen wurde. Wie bei vorangegangenen Expeditionen waren dabei Spurenstoffe aus großen Volumina von Luft, Oberflächen- und Tiefenwasser gefiltert worden. Zusätzlich wurden erstmalig Schwebstoffe aus den tiefen Becken des Nord- und Südatlantiks mit Insitu-Pumpen gesammelt. Für diese Proben wurden neue Extraktionsmethoden unter Einsatz von Mikrowellen entwickelt.

Erstmals wurden auch langkettige Alkadienone und -trienone analysiert, deren relative Konzentrationen rezente ozeanische Wassertemperaturen widerspiegeln. Diese Spurenstoffe stammen aus Coccolithophoriden, einzelligen Algen, die im Meer weit verbreitet sind und sich durch wechselnde Mengen dieser zwei- und dreifach ungesättigten Verbindungen bei verschiedenen Umgebungstemperaturen auszeichnen. Mit selektiven massenspektrometrischen Analysen wurde das Vorkommen der einzelnen Alkenone über den gesamten Temperaturbereich ozeanischen Wassers charakterisiert und hieraus eine Eichfunktion erstellt. Die Meßergebnisse besitzen Bedeutung für die Ableitung von Paläotemperaturen aus deren anteiligen Alkenonvorkommen in datierten Sedimentlagen. Die Gesamtkonzentration der Alkenone erwies sich allerdings als unabhängig von der Temperatur.

Neben den natürlichen Spurenstoffen wurden auch anthropogene Komponenten gemessen. Im Wasser der Nordsee und des Nordostatlantiks wurde gegenüber 1991 erneut eine Abnahme der Gehalte von HCHs (Hexachlorcyclohexanen) festgestellt; andererseits konnten diese Chlorverbindungen zum ersten Mal bis zum Bereich des antarktischen Zirkumpolarstroms verfolgt werden. Im Bereich der innertropischen Konvergenz wurden sowohl in der Luft als auch im Oberflächenwasser geringfügig erhöhte Konzentrationen von PAHs (polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen) festgestellt, was auf atmosphärischen Eintrag hinweist. Wahrscheinlich wegen des Eintrags vom Meeresboden lagen die PAH-Konzentrationen im Flachmeer Nordsee um eine Größenordnung höher als im Oberflächenwasser des offenen Ozeans.

Die seit Ende der 60er Jahre in der Deutschen Bucht durchgeführten Langzeitbeobachtungen der Bodenfauna wurden an vier Dauerstationen fortgesetzt. Zusätzlich wurden 1995 großräumige Kartierungen durchgeführt, um die Verteilung der Gemeinschaften und Populationen nach der inzwischen unterbrochenen Phase mehrerer milder Winter vergleichend mit den Verhältnissen von 1975 zu analysieren. Insgesamt scheinen sich die in den 70er Jahren stark gestörten Verhältnisse in der Schlickregion der inneren

### **Verteilung und Transport organischer Spurenstoffe im Meer**

#### **3.7.4 Langzeitbeobachtungen benthischer Organismen- gemeinschaften an Dauerstationen**

Deutschen Bucht etwas stabilisiert zu haben, was auch mit der in den 90er Jahren zurückgegangenen Belastung der Elbe korreliert.

Im Nordpolarmeer sind im Rahmen eines vom AWI (E. Rachor) koordinierten europäischen Projekts (INTAS) die unterbrochenen Langzeitstudien über die Zusammenhänge zwischen klimatisch-hydrologischen und biologischen Veränderungen in der Barentssee durch das Murmanskener Meeresbiologie-Institut wiederaufgenommen worden. Die gemeinsamen Analysen der ins letzte Jahrhundert zurückreichenden Zeitreihen und Kartierungen des Benthos zeigen deutliche Arealverschiebungen infolge der Klimavariationen („Golfstrom-Einfluß“).

Im Weißen Meer sind im gleichen INTAS-Projekt von Mitarbeitern des Zoologischen Instituts St. Petersburg seit 1987 fast stetige Anstiege in der Biomasse und der Artenzahl des Flachwasser-Benthos festgestellt worden. So verdreifachte sich beispielsweise die Biomasse der auch im Wattenmeer untersuchten Muschel *Macoma balthica*. Abweichungen können durch lokale Extremverhältnisse im Winter und niedrige Sommertemperaturen (1992) erklärt werden.

### 3.8 Biologische Meereskunde (Sektion Biologie II)

Das marine Plankton liefert einen entscheidenden Beitrag zum globalen Stofffluß zwischen Atmosphäre, Ozean und Sediment. Es spielt damit auch eine wesentliche Rolle bei der Steuerung des Kohlendioxidgehalts der Atmosphäre. Die Untersuchung der relevanten Stoffkreisläufe, vor allem des vertikalen Partikelflusses in Abhängigkeit von physikochemischen und biologischen Faktoren, bildet den konzeptuellen Rahmen für die Arbeiten der Sektion. Forschungsschwerpunkt der Sektion ist die Klärung und Quantifizierung der vielfältigen Zusammenhänge zwischen den marinen Stoffkreisläufen und der Biologie sowie der Ökologie der an ihnen beteiligten Organismen. Verhältnismäßig wenige Organismengruppen und zuweilen nur einzelne Arten sind für die Stoffkreisläufe, vor allem in den polaren (hoch produktiven) Gebieten, verantwortlich. Die Biologie der dominanten Arten wurde unter Feldbedingungen und durch gezielte Experimente untersucht, um die Stoffkreisläufe zu erfassen und zu verstehen. Die Arbeiten der Sektionsmitglieder zur Ökologie und zum Stoffhaushalt des Meereises und zur Ökophysiologie der Kohlenstoffaufnahme durch Phytoplankton werden in den betreffenden Abschnitten gesondert behandelt.



### **Phytoplankton**

Phytoplanktonblüten spielen eine entscheidende Rolle für den vertikalen Partikelfluß. Untersuchungen der letzten Jahre haben gezeigt, daß wenige Diatomeengattungen (Kieselalgen) und die Schleimkolonien der Flagellatengattung *Phaeocystis* (Schaumalge) den Hauptanteil der Biomasse dieser Blüten stellen. Noch ist nicht geklärt, weshalb diese Gattungen höhere Biomassen erreichen als andere Gruppen. Als Erklärung kommen erhöhte Wachstumsraten und/oder erniedrigte Verlustraten (Zellmortalität, Parasitismus, Wegfraß, Absinken) im Vergleich zu den vielen nicht dominanten Gattungen in Betracht. Im Berichtszeitraum wurden vor allem Verlustraten, insbesondere bei Diatomeen, untersucht.

Die Zellmortalität und Sinkgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Licht- und Nährsalzmangel wurde an unialgalen Kulturen ausgewählter Diatomeen aus dem Südpolarmeer und aus gemäßigten Breiten (Nordsee) experimentell untersucht. Es zeigte sich, daß Diatomeen aus gemäßigten Breiten bei völliger Dunkelheit ihre Photosynthesekapazität innerhalb weniger Tage verlieren. Im Gegensatz dazu können polare Arten mehrmonatige Dunkelphasen im vegetativen Stadium bei stark verringerter Dunkelrespiration besser überdauern. Auch akuter Nährsalzmangel kann von Diatomeen im vegetativen Stadium mehrere Wochen lang überdauert werden. Diatomeen, die vorher nährsalzlimitiert waren, überdauern im Dunkeln länger als im Licht. Auch hier sind Unterschiede zwischen Arten aus polaren und gemäßigten Breiten festgestellt worden. Die Sinkraten individueller Zellen werden unter suboptimalen Lebensbedingungen (Licht- und Nährsalzmangel) nicht wesentlich erhöht.

Die Verfügbarkeit von Energie in Form von Lichtquanten und ihre Nutzung durch das Phytoplankton sind entscheidende Determinanten des Produktionspotentials im offenen Meer. Da die Photosynthese jener Prozeß ist, durch den gelöstes CO<sub>2</sub> aus dem Wasser aufgenommen und in organische Substanz umgewandelt wird, können Untersuchungen zu ihrer Steuerung auch Beiträge zum Verständnis des globalen CO<sub>2</sub>-Kreislaufs liefern. Ziele der Biooptik-Gruppe am AWI sind es, die Mechanismen des Lichteinfanges durch im Wasser suspendierte Planktonalgen aufzuklären und jene Faktoren zu identifizieren, welche die Effizienz der Umwandlung der eingefangenen Lichtenergie in chemisch gebundene Energie steuern. Dabei wird auch beobachtet, wie die erhöhte Ultraviolett-Belastung infolge der Abnahme stratosphärischen Ozons auf das Phytoplankton wirkt. Experimentelle Arbeiten im Freiland und im Labor werden durch modellierende Arbeitsansätze ergänzt.

### **3.8.1 Ökologie, Ökophysiologie und Molekulargenetik einzelner Arten und Gruppen**

#### **Einfluß suboptimaler Bedingungen auf die Zellmortalität**

#### **Untersuchungen zur Bedeutung des Unterwasser- Strahlungsfeldes für die Produktivität des Phytoplanktons (Biooptik-Gruppe)**

Während der Reise ANT XI/3 in das Bellingshausen- und Amundsenmeer wurde die Bedeutung des Phytoplanktons in der Regulation des Unterwasser-Strahlungsfeldes untersucht. Die Chlorophyll-Konzentrationen im Wasser waren infolge kleiner Biomassen stets geringer als  $0,5 \text{ mg m}^{-3}$ . Unter solchen Bedingungen drang blaues Licht mit Maxima im Wellenlängenbereich von 490 nm am tiefsten in das Wasser ein. Diese spektrale Komponente kann auch am effizientesten photosynthetisch genutzt werden, da die photosynthetischen Antennenpigmente in diesem Bereich am besten absorbieren. UV-A-Strahlung wird durch klare antarktische Wässer (Case I in der optischen Klassifizierung) ebenfalls überraschend gut durchgelassen und erreicht erst in 46 m Tiefe (340 nm) bzw. 92 m (380 nm) das 1- % Niveau.

Photosyntheseraten im Wasser werden üblicherweise durch Messung der Kohlenstoff-Aufnahmerate erfaßt. Die Energie nicht genutzter eingefangener Lichtquanten geht als Wärme und als Fluoreszenz verloren, letztere kann mit hoher Empfindlichkeit gemessen werden. Je höher die Effizienz der photosynthetischen Lichtausnutzung, desto geringer der Energieverlust durch Fluoreszenz. Untersuchungen in Feld und Labor haben allerdings gezeigt, daß dieses „fluorescence quenching“ nicht als direktes Maß für die Photosynthese im Wasser dienen kann, da sie auch vom Nährsalz-Angebot und dem Licht-Anpassungszustand der Algen abhängt.

#### **Resistenz gegen UV-B-Schädigungen**

In Laborversuchen mit unterschiedlichen UV-B-Anteilen in der Strahlungsquelle konnte die UV-Schutzfunktion von mykosporin-artigen Aminosäuren (MAAs) auf Photosystem II und DNA nachgewiesen werden.

Die Bildung dieser UV-absorbierenden Substanzen sowie die Reparaturfähigkeit der durch UV-B-Einwirkung entstehenden Schäden in der DNA sind vom Strahlungsfluß und der Wellenlänge abhängig. Kurzwellige Blau- und UV-A-Strahlung führte innerhalb von Tagen bzw. Stunden zu einer erhöhten Pigmentbildung und Reparaturleistung der entstandenen DNA-Schäden.

Bei einer Reduktion des atmosphärischen Ozons kommt es zu einer Erhöhung der UV-B-Strahlung, nicht aber zu einer für die Induktion und Wirkung der oben genannten Schutzmechanismen verantwortlichen UV-A- und Blaustrahlung. Mit Hilfe eines am AWI entwickelten Sonnenscheinsimulators, der ein natürliches Strahlungsspektrum von 295 bis 700 nm unter verschiedenen Ozonschichtdicken simulieren kann (siehe auch Kapitel 2), wurde bei verschiedenen antarktischen Diatomeen und der koloniebildenden Haptophycee *Phaeocystis antarctica* der Einfluß von erhöhter UV-B-Strahlung auf die Photosynthese, das Photosystem II und das Wachstum untersucht. Nur bei hohen Strahlungsflüssen führte eine UV-B-Strahlung zu einer Verringerung der Photosyntheseleistung. An Schwachlicht angepaßte Algen zeigten nur eine geringfügig

3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen

erhöhte Empfindlichkeit. Weitere Untersuchungen zeigten, daß die Organismen sich einige Stunden nach der erhöhten UV-B-Bestrahlung wieder erholten. Bei allen Untersuchungen ließen sich artspezifische Unterschiede feststellen.

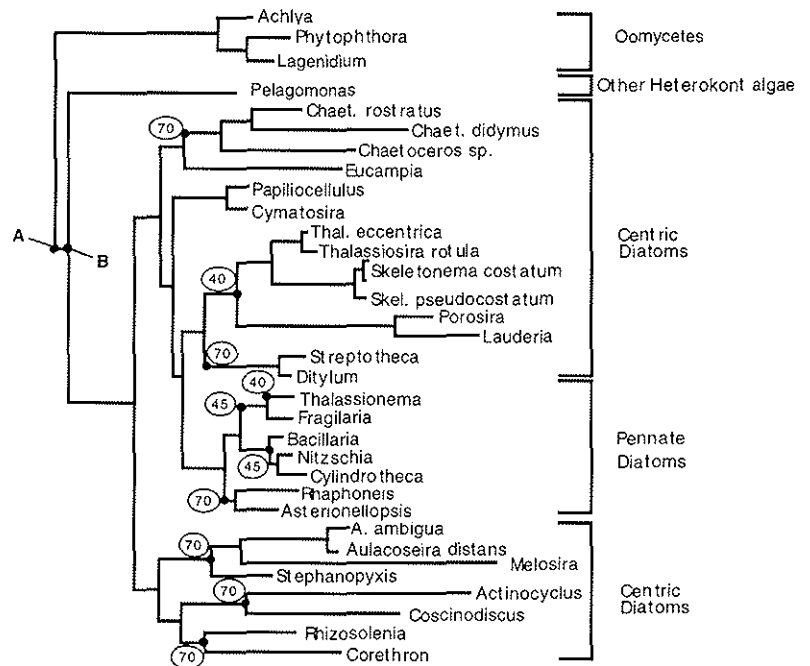
Bei der Zellteilung von Diatomeen ist eine der Tochterzellen kleiner als die andere. Somit verschiebt sich das Größenspektrum der Population im Laufe der Zeit. Kleine Zellen können durch Einschaltung einer sexuellen Phase (Bildung von Gameten und anschließend von Auxosporen) die ursprüngliche Größe wieder herstellen. Mit Hilfe morphometrischer Untersuchungen an der häufigen Diatomeengattung *Corethron* wurde geprüft, ob die Größenspektren natürlicher Populationen Rückschlüsse auf die Vorgeschichte der Population zulassen. Sexuelle Phasen haben das Massenabsinken von Diatomeen zur Folge, die zu monospezifischen Lagen in manchen Sedimenten des Weddellmeers führen.

**Ermittlung des Zustands von Diatomeenpopulationen in der Natur**

Innerhalb der Gattung *Phaeocystis* konnten bislang fünf Arten – jeweils eine arktische und antarktische Art (*P. pouchetii* bzw. *antarctica*) und eine Warmwasserart (*P. globosa*) neben zwei neuen – identifiziert werden. Es wurden DNA-Sonden zur Unterscheidung dieser Arten entwickelt. Eine hohe Spezifität konnte für zwei Arten dokumentiert werden. Bei Isolaten südlich der Polarfront wurden Ähnlichkeiten festgestellt; die Isolate nördlich davon unterschieden sich deutlich, was auf eine genetische Isolation hinweist.

**Molekulargenetische Untersuchungen**

Die Arbeiten zur Phylogenie der Diatomeen (Abb.) zeigen, daß die gängige Unterteilung zwischen pennaten und centralen Gruppen nicht mehr haltbar ist, weil die Centrales eindeutig polyphyletischen



Stammbaum der Diatomeen anhand der ribosomalen DNS von 30 Diatomeen, 1 Pelagophyt, 3 Oomyceten sowie 2 heterotrophen Flagellaten (wegen großer Entfernung hier nicht gezeigt) abgeleitet aus einer „maximum likelihood“ Analyse. Eingezeichnete Zahlen geben das erste Auftreten (in Millionen Jahren) von Fossilbefunden der jeweiligen Gattung bzw. Familie an. A markiert die Divergenz der pigmentierten von heterotrophen Linien und B die Trennung der Diatomeen von den übrigen heterokonten Algen.

Ursprungs sind. Deren frühe Divergenz wird durch Daten aus ODP-Kernen bestätigt. Die von uns errechnete „molekulare Uhr“ der Diatomeenevolution führt zu einem durchschnittlichen Alter der Diatomeen von etwa 165 Millionen Jahren. Erste Fossilien sind jedoch etwa 185 Millionen Jahre alt.

**Parasitoide,  
Protozo- und Meta-  
zooplankton**

Die Akkumulation von Algenbiomasse wird durch den Wegfraß verschiedener Organismen reguliert. Große Zooplankter sind im Freßverhalten relativ unspezifisch, während Protozoen und Parasitoide (kleine Organismen, die große Zellen befallen und von innen aufzehren) die Artenzusammensetzung beeinflussen können, da sie nur bestimmte Gruppen oder Arten eliminieren.

*Parasitoide:* Parasiten, die ihren Wirt gänzlich auffressen, werden Parasitoide genannt. Das Auftreten von Parasitoiden auf Diatomeen der Deutschen Bucht wurde zu verschiedenen Jahreszeiten untersucht. Viele der blütenbildenden Diatomeenarten waren vor allem im Spätsommer oder Herbst von Parasitoiden verschiedener taxonomischer Gruppen (Chytridiomyceten, Oomyceten, Thraustochytrien und Amöben) befallen. Parasitoide wurden vor allem im Herbstplankton gefunden. In der Regel waren 1 bis 10 % und in seltenen Fällen bis 50 % der Zellen der Wirtspopulation mit Parasitoiden befallen. Obligate Parasitoide sind wirtsspezifisch. Entgegen der Erwartungen werden physiologisch aktive Diatomeenzellen eher befallen. Die Infektionsrate hängt z.B. von Wirtsdichte, pH, Licht, Turbulenz, Zustand von Parasitoid und Diatomee ab. Generell steigt die Wachstumsrate der Parasitoiden mit zunehmender Temperatur schneller als die der Algen. Die hohe Wirtsspezifität von Parasitoiden, sowie Beobachtungen des Infektionsverhaltens, lassen darauf schließen, daß sich die verkiesselte Zellwand der Diatomeen als eine Art Schutzpanzer gegen Parasitoide entwickelt hat.

*Protozooplankton:* Die Wachstumsraten heterotropher Dinoflagellaten reicht an jene des Phytoplanktons heran. Einige fressen Beute, die ihre eigene Körpergröße wesentlich überschreitet (z.B. ganze Diatomeenketten). Da heterotrophe Protozoen bis zu 50 % der gesamten Mikroplanktonbiomasse stellen, kann theoretisch allein der Protozoenfraßdruck den Phytoplanktonbestand regulieren. Erstmals wurden Untersuchungen des Freßverhaltens eines antarktischen Dinoflagellaten im Labor durchgeführt. Die Freßrate dieser häufigen Art nahm mit der Nahrungsdichte zu, aber die Teilungsrate blieb stets weit unter der bei Diatomeenfutter.

*Metazooplankton:* Schwerpunkt der Arbeiten war die Untersuchung der Aufnahme- und Ausscheidungsraten von organischem Kohlenstoff (und anderen, biologisch wichtigen Elementen) durch die dominierenden Zooplankter der einzelnen pelagischen Ökosysteme im Frühjahr, da in dieser Jahreszeit die höchsten durch Zooplankter hervorgerufenen Exportraten des Jahres gemessen wurden.

### 3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen

Zwischen der Polarfront und dem Weddellmeer im atlantischen Sektor des Südpolarmeereres haben während des Frühjahrs die calanoiden Copepoden (dominiert von den Arten: *Calanus propinquus*, *Rhincalanus gigas*, *Calanoides acutus*) unter 5 % der täglichen Primärproduktion aufgenommen. Dadurch wurde die Entwicklung der beobachteten Diatomeenblüten nicht wesentlich beeinflusst. In an Bord durchgeführten Experimenten wurden Aufnahmeraten von Krill bei verschiedenen Planktonzusammensetzungen bestimmt. Obwohl die gemessenen Aufnahmeraten sehr hoch waren, war der Einfluß der Krillpopulation auf die Entwicklung der Phytoplanktonblüten wegen der sehr geringen Populationsdichte sehr gering.

Im Antarktischen Zirkumpolarstrom (ACC) südlich der Polarfront dominierten im Frühjahr Salpen (*Salpa thompsoni*), deren experimentell ermittelte Fraßleistung die Primärproduktion übertraf. Dieser enorme Fraßdruck und der hohe Export von Salpenkot in tiefere Wasserschichten waren biologische Gründe eines dauerhaft geringen Phytoplanktonbestandes ( $< 0,2 \text{ mg chl a m}^{-3}$ ) bei relativ hohen Exportraten ( $0,43 \text{ bis } 0,86 \text{ mol C m}^{-2}$  innerhalb von 22 Tagen) im südlichen ACC.

Der Einfluß von Diatomeen und toxischen Phytoplanktern auf die Fraß-, Exkretions- und Reproduktionsleistungen wurde mit Copepoden aus der Nordsee untersucht. Die häufigen boreal-neritischen Copepoden werden anscheinend nicht direkt von für Wirbeltiere toxischen Phytoplanktern beeinträchtigt. Die ökologische Rolle der Phytoplanktontoxine ist damit weiterhin unklar.

#### *Bakterien*

Isolate oligotropher Bakterien aus dem Südpolarmeer wurden auf ihre Fähigkeiten getestet, 95 organische Substrate zu verwerten, und zwar in BIOLOG Mikrotiterplatten für Gram-negative Bakterien. Die Methode wurde für marine, kälteadaptierte Bakterien modifiziert. Die oligotrophen Bakterienisolate ließen sich anhand ihrer Substratverwertungsmuster durch eine Clusteranalyse in fünf Gruppen auftrennen.

Eigene Untersuchungen hatten gezeigt, daß viele Bakterienisolate aus der Wassersäule des Südpolarmeereres höhere Salzkonzentrationen als Bakterien anderer Meeresgebiete tolerieren. Im Gegensatz zu den meisten marinen Bakterien können sich viele der antarktischen Bakterien bei NaCl-Konzentrationen vermehren, die vom Süßwasser bis zu sechsfach konzentriertem Seewasser reichen. Dies könnte gedeutet werden als Anpassung daran, daß zumindest die Bakterien der oberen Wasserschichten im Winter einfrieren und im Eis und in den Solekanälchen stark unterschiedliche Salzkonzentrationen überleben müssen, ehe sie nach der Eisschmelze wieder Bestandteil des Bakterioplanktons werden.

#### *Marine Pilze und pilzähnliche Protisten*

Insgesamt wurden über 2.000 marine Pilzstämmen aus polaren Ozeanen isoliert; etwa zehn Prozent davon sind psychrophile Vertreter. Insbesondere die Zusammensetzung

#### **Bakterien und Pilze**

und Aktivität des von marinen Pilzen produzierten Alginase-Enzymkomplexes konnte weiter aufgeklärt werden. Das biochemische Screening von über 100 Stämmen niederer mariner Pilze (pilzähnliche Protisten) in Kooperation mit der pharmazeutisch-chemischen Industrie ergab, daß diese Pilze hochinteressante organische Verbindungen zu synthetisieren vermögen.

### 3.8.2 Pelagische Ökosysteme

#### **Struktur pelagischer Systeme**

Es konnte gezeigt werden, daß sich das marine Zooplankton und Nekton durch wenige Körperformtypen (z. B. Copepoden, Euphausiiden, Clupeiden) charakterisieren läßt. Allen diesen Formen gemeinsam ist die beträchtliche Investition in Fluchtmuskeln, die schnelles Entkommen vor angreifenden Räubern ermöglichen. Weil innerhalb derselben Körperform verschiedene Ernährungstypen (z. B. Suspensionsfresser, Greifer) vorkommen, wird postuliert, daß die natürliche Selektion im Pelagial primär durch Räuber (top-down control) und nicht die Fähigkeit zum effizienten Nahrungserwerb (bottom-up control) bestimmt wird. Diese Betrachtungsweise bietet eine alternative Grundlage zur Beantwortung der Frage, weshalb relativ wenige Arten das Produktionsgeschehen im marinen Pelagial dominieren. So könnte etwa der außergewöhnlich große Bestand von Euphausiiden im Südpolarmeer (also des antarktischen Krills) darauf zurückzuführen sein, daß diese Organismen im Meereis über ein effektives Refugium vor Räubern verfügen.

#### **Felduntersuchungen** Antarktis

Der wesentliche Befund der „Polarstern“-Fahrt ANT X/6, durchgeführt im Rahmen des SO-JGOFS, war die Entwicklung von Phytoplanktonblüten in mesoskaligen Wirbeln der Polarfrontzone. Dies konnte mit der frontenspezifischen Hydrographie sowie den erhöhten Eisenkonzentrationen erklärt werden. Am Meereisrand dagegen herrschten ungünstige Bedingungen, und es entstanden keine Blüten. Demnach wären Frontenbereiche im gesamten Südpolarmeer die wichtigsten Gebiete, an denen der größte Kohlenstoffaustausch zwischen Atmosphäre und Ozean, aber auch der größte Kohlenstofftransport in die Ozeantiefen stattfindet.

Ziel der „Polarstern“-Fahrt ANT XIII/2 (Frontendynamik und Biologie) war es, den Einfluß der mesoskaligen Deckschichtdynamik entlang der Polarfront auf Produktion und Akkumulation von Phyto- und Zooplanktonbiomasse und somit auf den Kohlendioxidhaushalt zu untersuchen. Die Hydrographie wurde mittels eines geschleppten, zwischen Oberfläche und 400 m Wassertiefe undulierenden Meßsystems (SeaSoar) aufgenommen, das auch Chlorophyll-Fluoreszenz, Trübung sowie das Partikelspektrum im Bereich von 0,25 - 10 mm erfaßte. Das Meßprogramm wurde durch den Einsatz herkömmlicher Geräte auf mehreren Stationen vervollständigt.

### 3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen

Es zeigte sich eine deutliche Korrelation zwischen der Lage von mesoskaligen Wassermassen in der Frontenregion und der Biomasse und Zusammensetzung des Phytoplanktons. Regionen höherer Biomasse ( $>2,0 \text{ mg Chlorophyll m}^{-3}$ ) waren von außergewöhnlich großen, stacheligen oder nadelförmigen Diatomeen dominiert. Trotz des hohen spezifischen Gewichtes infolge dicker Kieselschalen sank wenig Material aus der Deckschicht. Es ist anzunehmen, daß am Ende der Wachstumsphase große Mengen an dickschaligen Diatomeen absinken und durch Lösungsprozesse hohe Silikatkonzentrationen im tiefen Wasser des Südpolarmeers erzeugen. Bis zum Boden absinkende Schalen führen zu einem Silikatgürtel unter dem Antarktischen Zirkumpolarstrom. In diesem Gürtel werden etwa Dreiviertel des jährlich von sämtlichen Flüssen weltweit ins Meer eingetragenen gelösten Siliziums (etwa 170 Mio t) durch Kieselalgen als Sediment abgelagert. Warum dieses Silizium ausgerechnet im Südpolarmeer abgelagert wird, ist noch nicht geklärt. Die Ergebnisse dieser Fahrt könnten dieses Rätsel erhellen.

Die Biomasse, Aktivität und Struktur der Bakteriengemeinschaften des tiefen Pelagials und Benthals im östlichen Weddellmeer wurde während der Expedition ANT XI/4 untersucht. Erstmals wurden unter Drücken, wie sie in der Tiefsee herrschen, Bakterienkonzentrationen bestimmt. Daraus kann abgeleitet werden, daß den oligotrophen, druckangepaßten Bakterien keine besondere Bedeutung im Tiefseebereich zukommt.

#### *Arktis*

Die 1993 in der Laptewsee begonnenen Arbeiten wurden 1995 auf einer weiteren Expedition fortgesetzt (ARK XI/1). Die kryo-pelagische sowie die pelago-benthische Kopplung sind Schwerpunkte dieser Arbeiten. Die Analyse mikrobieller Nahrungsbeziehungen und Stoffflüsse innerhalb des Meereises sowie zwischen Eis und Wassersäule ergaben, daß die bakterielle Aktivität im Eis trotz hoher Algenbiomassen zum Teil auffallend gering war. Eine hohe Produktion von Eisaigen im Vergleich zu einer eher niedrigen Produktion im darunterliegenden Wasser wurde in der sommerlichen Laptewsee gemessen, die nur ein Zehntel der Primärproduktion im eisfreien Wasser erreichte.

Sedimentfallen, die in drei Tiefenhorizonten (5 m, 20 m, 75 m) unter dem Eis befestigt worden waren, zeigen einen erheblichen Partikelfluß aus dem Eis in die darunterliegende Wassersäule. Rege Freßaktivität der organischen Substanz von Zooplankton in oberflächennahen Wasserschichten führt zu einer intensiven Regeneration der organischen Substanz.

Wie 1993 in der Laptewsee wurde eine gute Übereinstimmung zwischen chloroplastischen Pigmenten und der Aktivität von Enzymen gefunden. Beide verringerten

sich vom Schelf bis in die Tiefsee. Im Gegensatz zu 1993 war das Untersuchungsgebiet 1995 eisfrei. (Siehe auch Kapitel 2: Vom sibirischen Schelf zur arktischen Tiefsee – Nahrungsverfügbarkeit und mikrobielle Aktivität am Meeresboden)

#### *Nordsee und andere Meeresgebiete*

Die Ergebnisse aus sechs mehrtägigen Forschungsfahrten im Rahmen des vom BMBF geförderten interdisziplinären Forschungsprojekts „TRANSWATT“ zeigen, daß marine Pilzkeime in beträchtlicher Dichte und Artenvielfalt an der Zusammensetzung der planktischen Biomasse des Wattenmeeres beteiligt sind. Allerdings unterliegen die Populationen erheblichen jahreszeitlichen und regionalen Schwankungen, die vor allem durch abiotische Umweltfaktoren gesteuert sind. Im offenen Atlantik dagegen bestimmten Art und Konzentration des Planktons sowie der organischen Substrate im Wasser die Dichte, Zusammensetzung und Aktivität der marinen Pilzpopulationen.

#### **3.8.3** *Diatomeen- Taxonomie*

Am F.-Hustedt-Arbeitsplatz für Diatomeenkunde wurde die kürzlich gestiftete Sammlung Dietrich König sortiert. Die Sammlung enthält über 10.000 Präparate von Diatomeen aus dem Wattenmeer sowie Literatur. Fortschritte wurden bei der Übertragung der Hustedt-Sammlung in eine Computerkartei erzielt. Vier neue Arten wurden durch die wissenschaftliche Auswertung von Datenmaterial dieser Sammlung beschrieben.

#### **3.8.4** *Chemische Forschungsarbeiten*

Nach Auflösung der Sektion Chemie im August 1995 werden die Untersuchungen über die Verteilung von Nährsalzen in polaren Gebieten, über die Lipidzusammensetzung und über die Charakterisierung und Modifizierung gelöster organischer Substanzen in der Sektion Biologische Meereskunde fortgeführt.

#### **Lipide**

Die Untersuchungen der Lipide in polarem Zooplankton wurden auf die Zusammensetzung einzelner Lipidklassen erweitert. Lipide sind ein hervorragender Energiespeicher und für die Fluidität von Membranen verantwortlich. Die Membranlipide der Copepoden zeigen eine sehr einheitliche Zusammensetzung der Fettsäuren, die wahrscheinlich von den niedrigen Temperaturen geprägt und innerhalb der Copepodenart unabhängig von den Arten ist. Es wurde ein außerordentlich hoher Anteil hoch ungesättigter Fettsäuren in den Membranen gefunden. Diese sichern eine große Fluidität der Membranen auch bei niedrigsten Temperaturen. Die Speicherlipide liegen bei den meisten Zooplanktern in Form von Wachsestern vor. Diese Unterschiede gelten für Zooplankter aus beiden Polarregionen.



### *3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen*

Die Lipiduntersuchungen wurden auf die drei dominanten Krillarten in der Antarktis ausgedehnt. Zwei Krillarten speichern Lipide als Wachsester, während die andere Art Triacylglyceride speichert.

Die Bestimmung der Nährsalze in der Grönlandsee wurde während weiterer Expeditionen in den Jahren 1994 und 1995 fortgesetzt und steht in engem Zusammenhang mit den biologischen und hydrographischen Untersuchungen. Insbesondere Silikat hat sich als guter Tracer für den Ausstrom arktischen Oberflächenwassers erwiesen, da dort die Konzentrationen wesentlich höher sind als im atlantischen Wasser.

Der starke Konzentrationsanstieg von Silikat in der Polarfront ist entscheidend für die Diatomeenentwicklung in diesem Gebiet. Gleichzeitig sind die Nitrat- und Phosphatkonzentrationen hoch, so daß ideale Bedingungen für die Algenentwicklung vorhanden sind.

Gelöstes organisches Material (DOM) im Meer stellt ein großes Reservoir an organischem Kohlenstoff und organisch gebundenem Stickstoff dar. Im offenen Ozean ist die terrigene Komponente des DOM niedrig. Dies gilt für das Südpolarmeer in besonderem Maße. In den Arktischen Ozean gelangt jedoch über die sibirischen Flüsse ein erheblicher Anteil organischen Materials terrigener Herkunft. Um den Eintrag terrigener organischer Verbindungen in das aquatische Ökosystem zu verfolgen, wurde als Tracer Lignin gewählt, das nur von terrestrischen Pflanzen synthetisiert wird. Da Lignin im Wasser nur geringen Umwandlungsprozessen unterliegt, eignet es sich als Tracer für Transportvorgänge und für die Untersuchung terrigener Ablagerungen in Sedimenten. Zur Abschätzung des terrigenen Eintrags durch die Flüsse in den Arktischen Ozean wurden Wasserproben aus dem sibirischen Fluß Lena untersucht.

Bei ersten Untersuchungen von DOM im Eis wurden die Parameter gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) und Stickstoff (DON) sowie Nährsalze bestimmt. Erhöhte DOC- und DON-Werte in Verbindung mit großen Ammoniumkonzentrationen weisen auf erhebliche Remineralisationsprozesse im Eis hin.

#### ***Nährsalze***

#### ***Gelöste organische Substanzen***

### 3.9 Geowissenschaftliche Studien in Eisrandgebieten

Auf die Eisrandgebiete der Antarktis und Grönlands sowie die Permafrostlandschaften Sibiriens einschließlich der angrenzenden Küstenbereiche konzentrieren sich die Forschungsarbeiten der geowissenschaftlichen Arbeitsgruppe der Forschungsstelle Potsdam.

Übergeordnetes Ziel dieser Arbeiten ist die Rekonstruktion der Umweltgeschichte im Spätquartär. Für diesen Zeitraum soll untersucht werden, wie die heute eisfreien subpolaren Landgebiete auf die natürlichen Klimaschwankungen der Vergangenheit reagiert haben. Dabei geht es um die Grundlagen prognostischer Modelle für die Reaktion des Systems Erde auf mögliche künftige Klimaänderungen.

Diese Rekonstruktionen der Umwelt im terrestrischen Periglazialraum sind auf das engste mit entsprechenden Untersuchungen der marinen Geologie und der Glazio- logie des Instituts verknüpft. Für verschiedene Regionen, vor allem den Bereich der Laptewsee und der Taimyr-Halbinsel in Sibirien oder in Ostgrönland, werden auf diese Weise klimabedingte Veränderungen von den Gletschern über die Land- und Küsten- bereiche bis hin in die Tiefsee in ihrem komplexen Zusammenhang erforscht.

Die Umweltveränderungen der jüngsten Erdgeschichte sind in verschiedenen kontinentalen Ablagerungen gespeichert. Dies sind neben Sedimenten, Böden und fossilen Eiskörpern an Land insbesondere Ablagerungen in Seen der Periglazialregionen, die eine lückenlose, hochaufgelöste Rekonstruktion der letzten 15.000 bis 35.000 Jahre ermöglichen.

Zum Verständnis der Vorgänge in der Vergangenheit ist eine Charakterisierung und möglichst auch eine Quantifizierung der Prozesse notwendig, die heute unter bekann- ten äußeren Bedingungen ablaufen. Um diese zu erfassen, werden geochemische, sedimentologische und mikrobiologische Untersuchungen in Seen und Flüssen durch- geführt und die Prozesse in der saisonalen Auftauschicht der Permafrostböden charak- terisiert.

Eine besondere Bedeutung kommt der Untersuchung von Vorgängen zu, die bei Temperaturänderungen in den Dauerfrostböden ablaufen. Dies gilt vorrangig für das Verhalten von Kohlenstoff in diesen Böden, der dort in großen Mengen als Kohlen- dioxid und Methan gespeichert ist. Zum Verständnis der Abläufe in Dauerfrostböden sind in Zukunft auch biologische und bodenkundliche Studien in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern anderer deutscher und ausländischer Forschungseinrichtungen vorgesehen.

Klimatische Veränderungen wirken sich frühzeitig und deutlich auf den Periglazialraum aus, der den großen Inlandeismassen der Antarktis und Grönlands vorgelagert ist. Sie wirken sich überdies auf die Gletscher und den Permafrost in der sibirischen Arktis aus. Dementsprechend sind in den dort vorkommenden Ablagerungen Informationen über Umweltveränderungen während der jüngsten Erdgeschichte gespeichert. Eine wertvolle Quelle für Umweltdaten bilden die Bodensedimente von Seen. Aufgrund hoher Sedimentationsraten ermöglichen sie eine zeitlich hochaufgelöste Rekonstruktion der Umweltbedingungen. Im Idealfall können einzelne Jahreszyklen aufgelöst werden. In den Seesedimenten ist in der Regel der Zeitraum nach dem Ende der letzten Eisüberdeckung dokumentiert.

In heute eisfreien küstennahen Gebieten (Oasen) der Ostantarktis stellen Sedimente periglazialer Seen wichtige natürliche Datenarchive für Paläoumweltbedingungen dar. Durch C-14-Altersbestimmungen ist infolge der relativ hohen Sedimentationsraten eine zeitlich hochaufgelöste Rekonstruktion möglich.

Im Südsommer 1993/94 wurde – gemeinsam mit dem Arktis- und Antarktisinstitut (AARI) in St. Petersburg – eine viermonatige Expedition in die Bunger-Oase durchgeführt. Bei den Geländearbeiten konnten über 100 m Sedimentkerne in hervorragender Qualität gezogen werden. Unter Verwendung eines neu konzipierten Bohrgerätes gelang es, sowohl aus Binnen- als auch aus Epischelfseen Sedimentkerne zu gewinnen, in denen die gesamte postglaziale Sedimentationsgeschichte gespeichert ist. Durch sedimentologische und geochemische Untersuchungen werden die Umweltbedingungen zum Zeitpunkt der Sedimentbildung entschlüsselt. Wie für die Schirmacher-Oase konnte mit Sedimentaltern von etwa 24.000 bis 35.000 Jahren gezeigt werden, daß auch die Bunger-Oase während dieser Periode eisfrei war. Die bisherige Annahme eines über die gesamte Weichselzeit weitgehend stabilen ostantarktischen Eisschildes muß daher revidiert werden.

Im Südsommer 1995 wurde in Kooperation mit dem AARI in St. Petersburg eine wegen logistischer Probleme stark verkürzte Expedition in die Schirmacher- und die Untersee-Oase durchgeführt. Dank eines neuen Probennahmegeräts konnte der 1991/92 gewonnene Probensatz so weit ergänzt werden, daß die Arbeiten in diesem Gebiet nunmehr abgeschlossen sind. Vor allem am Untersee wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Bodenkunde und Photosynthese in Pushchino umfassende biogeochemische Untersuchungen durchgeführt. Die Existenz eines anoxischen Beckens in diesem See ist von besonderer Bedeutung für sein spezielles Ablagerungsmilieu und damit für die Interpretation der Informationen aus den älteren Sedimenten.

### **3.9.1 Rekonstruktion der spätquartären Umweltgeschichte an Sedimenten periglazialer Seen**

### **Umwelt- und Klima- geschichte der Ostantarktis während des letzten Klimazyklus**

**Die Umwelt-  
entwicklung Mittel-  
sibiriens  
im Spätquartär**

Die Rekonstruktion der Umweltentwicklung Mittelsibiriens im Spätquartär ist das Ziel eines BMBF-Verbundvorhabens, an dem neben der Forschungsstelle Potsdam des AWI auch das Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg und das Institut für Polarökologie der Universität Kiel sowie von russischer Seite das AARI in St. Petersburg, der Lehrstuhl für Geokryologie der Universität Moskau und das Institut für Bodenkunde und Photosynthese in Pushchino beteiligt sind.

In einem 1.400 km langen Süd-Nord-Transekt, der von der Taiga im Süden bei Norilsk über verschiedene Tundrenzonen auf der Taimyr-Halbinsel bis zur arktischen Wüste auf Severnaja Zemlja ein breites Spektrum unterschiedlicher Klima- und Vegetationszonen umfaßt, soll die Umweltentwicklung der jüngsten Erdgeschichte (bis etwa 130.000 Jahre vor der heutigen Zeit) rekonstruiert werden. Durch die Erfassung der rezenten Prozesse, die in diesem klimatischen Spektrum ablaufen, wird die Grundlage zur Interpretation von Informationen geschaffen, die in den Sedimentkernen für die Vergangenheit gespeichert sind.

Erstes Seesedimentmaterial wurde bei einer Vorerkundung 1993 aus Seen in der Umgebung von Norilsk gewonnen. Durch Pollenuntersuchungen konnte die Vegetationsgeschichte der Region für die letzten 17.000 Jahre detailliert rekonstruiert werden (siehe auch Kapitel 2: Spät- und postglaziale Vegetations- und Klimageschichte des nördlichen Mittelsibiriens). Sedimentologische und geochemische Parameter liefern zusätzliche Informationen zur Vereisungs- und Klimageschichte.

Im Frühjahr 1995 konnten während einer weiteren Expedition auf die Taimyr-Halbinsel vier Seen bis in 22 m Sedimenttiefe beprobt werden. Erste Untersuchungen an dem Probenmaterial lassen ähnlich gute Ergebnisse wie in Norilsk erwarten.

In einer ebenfalls 1995 durchgeführten Pilotexpedition nach Severnaja Zemlja wurden Voruntersuchungen an periglazialen Seen durchgeführt und geeignete Objekte für die Beprobung von Seeablagerungen auf einer für 1996 geplanten Expedition ausgewählt. Es würde dann Material vom kompletten Süd-Nord-Transekt zur Verfügung stehen.

**Die Vereisungs-  
geschichte Ost-  
grönlands**

Während der „Polarstern“-Expedition ARK X/2 wurde in Ostgrönland ein umfangreiches Entnahmeprogramm von Seesedimenten durchgeführt. Von insgesamt sechs Seen wurden Sedimentkerne von rund 70 m Gesamtlänge gewonnen, nachdem zunächst die günstigsten Kernlokalitäten mit einem neuen Sedimentecholot sichtbar gemacht werden konnten.

Die erbohrten Sedimente zeigen zum Teil Jahresschichtungen und spiegeln deshalb die Paläoumweltgeschichte besonders hochaufgelöst wider. Da sie zum Teil reich an organischem Material sind und deshalb mit der C-14-Methode gut datiert werden können, sind sie mit den Fjordsedimenten korrelierbar.

Die während dieser Expedition durchgeführten marin-geologischen und flachseismischen Arbeiten in Ostgrönland stehen in Zusammenhang mit dem PONAM-Projekt der Europäischen Forschungsgemeinschaft (ESF). PONAM (Polar North Atlantic Margins) hat die Entschlüsselung der Klima- und Umweltgeschichte zwischen Grönland und Spitzbergen während der jüngsten Erdgeschichte zum Ziel.

Die Umweltinformationen aus den beprobten Seesedimenten sollen durch Korrelation mit den marinen Sedimenten und dem GRIP-Eiskern ein umfassendes Bild von der Umweltenwicklung Ostgrönlands seit der letzten Eiszeit liefern.

Die Taimyr-Halbinsel, das nördlichste Gebiet der eurasischen Landmasse, unterlag im Quartär einem wiederholten Wechsel von Vereisungsphasen und Meerestransgressionen. Da dieses Gebiet klimatisch eine Übergangsstellung zwischen West- und Ostsibirien einnimmt, ist der Ablauf dieser Vorgänge hier besonders schwer zu rekonstruieren. Bisher konnten für das Spätpleistozän noch keine allgemein anerkannten Vorstellungen zur Vereisungsgeschichte erarbeitet werden.

Das multidisziplinäre Untersuchungsprogramm auf der Taimyr-Halbinsel soll Erkenntnisse über die heute im System „Permafrost-Boden-Hydrosphäre-Biosphäre“ ablaufenden Prozesse bringen und dadurch zum Verständnis des Spätquartär beitragen.

Während der Expeditionen von 1994 und 1995 in das Labas-Gebiet (östlicher Teil der Taimyr-Tiefebene) wurden umfangreiche paläogeographisch-geokryologische Arbeiten mit Partnern vom Lehrstuhl für Geokryologie der Universität Moskau durchgeführt. Sie wurden durch bodenkundliche und mikrobiologische Untersuchungen in den rezenten Tundrenböden ergänzt.

Bei den Feldarbeiten wurden natürlich aufgeschlossene Sediment- und Bodenprofile aufgenommen und beprobt sowie eine große Zahl von Kernbohrungen in den Permafrostboden niedergebracht. Durch die Geländearbeiten und spätere Laboruntersuchungen konnten die Ablagerungen und Paläoböden seit Beginn der Weichsel-eiszeit (etwa 100.000 Jahre) zeitlich eingeordnet werden und ermöglichten ein erstes Schema für die Bildungsbedingungen dieser Ablagerungen. Erwärmungsphasen waren meist mit der Bildung mächtiger Torflagen verbunden. Ob die damit einhergehende Akkumulation von Kohlenstoff eine mögliche Freisetzung von Kohlendioxid und Methan bei Erwärmung ausgleicht oder gar überkompensiert, müssen weitere Untersuchungen klären.

An einer Vielzahl von beprobten Eiskörpern wurden Wasserstoff- und Sauerstoffisotopenuntersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, daß sich damit Eisbildungen nach Alter und Genese unterscheiden lassen. In Kombination mit den

### *3.9.2 Paläogeographische und geokryologische Untersuchungen im sibirischen Permafrost*

Tritium-Analysen der russischen Partner sollen damit auch Informationen über das Wandern von Wasser und gelösten Stoffen im Permafrost gewonnen werden.

**3.9.3 Rezente  
Stoffumsätze im  
nördlichen  
Mittelsibirien**

Die Untersuchung der rezenten Prozesse dient der Erfassung von Gesetzmäßigkeiten unter kontrollierten (meßbaren) Bedingungen und damit dem Verständnis der Vorgänge, die während der kurzen aktiven Sommer-Periode in Permafrostregionen ablaufen. Die Untersuchungen konzentrierten sich bisher auf das Gebiet des Levinson-Lessing-Sees (Byrranga-Gebirge). Ein Schwerpunkt waren dabei hydrologische Untersuchungen zu Fragen des Stofftransportes in der saisonalen Auftauschicht. Während der Expedition 1994 wurden Meßgeräte in der Auftauschicht dreier Profile in der Umgebung des Sees installiert sowie Boden- und Oberflächenwässer für chemische und isotopenchemische Analysen genommen. Die Messungen und Beprobungen wurden bei der Expedition 1995 über einen Zeitabschnitt vom beginnenden Tauen im Juni bis zum kompletten Gefrieren im Oktober durchgeführt. Die Analyse der Proben und Meßdaten läßt ein vertieftes Verständnis der Prozesse erwarten, die beim Auftauen und Wandern des Wassers im Permafrost ablaufen.

Am Levinson-Lessing-See wurde 1995 damit begonnen, rezente Prozesse in den Zuflüssen sowie im See selbst zu untersuchen. Unter anderem wurden kontinuierlich die Schwebstofffracht und die Wasserführung erfaßt, Sedimentfallen wurden ausgelegt und Wasserproben für mineralogische und geochemische Untersuchungen entnommen. Parallel dazu wurden von den Verbundpartnern rezente mikrobiologische Prozesse im Boden und die damit verbundenen Methanflüsse erfaßt.

**3.9.4  
Materialtransport  
über die großen  
sibirischen Flüsse in  
die Laptewsee**

Das Ziel des Projektes, das im Rahmen des BMBF Verbundvorhabens „System Laptewsee“ durchgeführt wird, ist die Kennzeichnung und Quantifizierung des rezenten und fossilen Sedimenteintrages sibirischer Flüsse in die Laptewsee und den angrenzenden Arktischen Ozean. Die geochemische/mineralogische Charakterisierung der Flußsedimente und der Suspensionsfracht soll die Differenzierung der Frachten unterschiedlicher Flüsse sowie die Zuordnung zu Liefergebieten erlauben. Die Quantifizierung des Sedimenteintrags soll durch die Kombination dieser Ergebnisse mit hydrologischen Daten, die von der Universität Moskau erhoben werden, erreicht werden.

Nach zwei in den Sommern 1994 und 1995 durchgeführten Expeditionen zur Lena und zur Jana, wobei auch Proben des Olenjok und des Omoloy gewonnen werden konnten, sollen im Sommer 1996 die in den westlichen Teil der Laptewsee mündenden Flüsse Khatanga und Anabar untersucht werden.

Die Laborarbeiten an den im Sommer 1994 genommenen Proben der Lena konnten im Laufe des Jahres 1995 beendet werden (siehe auch Kapitel 2: Sibirien – Ursprungsregion arktischer Sedimente).

Der Baikalsee im südlichen Mittelsibirien ist der tiefste und älteste Süßwassersee der Erde. In seinen fünf bis sieben Kilometer mächtigen Sedimenten dürften die Umwelt- und Klimaveränderungen bis in das Tertiär mit einer hohen zeitlichen Auflösung gespeichert sein. Daher wurde 1989 das „Baikal Drilling Project (BDP)“ initiiert, an dem Forschungseinrichtungen Rußlands und der USA, seit 1992 auch Japans beteiligt sind.

In den ersten Jahren wurden seismische Vorerkundungen durchgeführt und kurze Sedimentkerne entnommen. Umfassende Analysen am Kernmaterial bestätigten die Erwartung, daß Umwelt- und Klimaänderungen in den Seesedimenten gespeichert sind. Im Frühjahr 1993 konnten aus einem Hochakkumulationsgebiet zwei jeweils 100 m lange Kerne gewonnen werden. 1995 erfolgte eine Bohrung in einem Niederakkumulationsgebiet, die eine Tiefe von etwa 200 m erreichte.

Im Sommer 1994 hat das AWI ein Angebot zur Beteiligung am BDP angenommen. In Bremerhaven und Potsdam wurden seitdem Analysen der Mineralzusammensetzung in der Tonfraktion und der Isotopenverhältnisse im organischen Kohlenstoff an einem der beiden 100 m langen Sedimentkerne durchgeführt. Sie erlauben eine vorläufige Rekonstruktion der Umweltgeschichte etwa der vergangenen 250.000 Jahre. Gemeinsam mit amerikanischen Wissenschaftlern werden diese Daten derzeit ausgewertet.

Im Rahmen der Expedition EUROSHACK wurden von Dezember 1994 bis Februar 1995 von einem AWI-Mitarbeiter Feldarbeiten in der Shackleton Range durchgeführt.

Die Untersuchungen dienen der Entschlüsselung der spätquartären Umweltentwicklung im atlantischen Randgebiet Ostantarktikas, hier speziell in einer Region, in der der Eisschild über zwei große Eisströme (Slessor-Gletscher, Recovery-Gletscher) in einen der größten antarktischen Schelfgletscher (Filchner-Schelfeis) übergeht.

Zur Aufhellung der Entwicklung seit dem letzten glazialen Maximum vor etwa 18.000 Jahren wurden unterschiedliche natürliche Datenarchive untersucht, die spätpleistozäne und/oder holozäne Umweltinformationen erwarten ließen. Es handelte sich dabei um Grundeis führende Moränen, Sedimente rezenter und fossiler Eisrandseen sowie organische Ablagerungen in Sturmvogel-Brutkolonien.

Trotz der hohen südlichen Breite und der damit verbundenen niedrigen Jahresmitteltemperaturen unter  $-25^{\circ}\text{C}$  existieren im Nordwestteil der Shackleton Range mindestens drei bis zu 1,5 Quadratkilometer große Seen, die permanent eisbedeckt sind. Diese bislang noch nicht untersuchten Eis-Wasser-Körper wurden bis in Tiefen von 6 m (maximale Länge des Bohrgestänges) durchbohrt, wobei in keinem Falle eine

### 3.9.5 Känozoische Umwelt- und Klimageschichte im südlichen Mittelsibirien

### 3.9.6 Untersuchungen zur spätquartären Klima- und Glazial- geschichte der Shackleton Range

Schicht freien Wassers angetroffen wurde, die stärker war als einige Zentimeter. Besonders bemerkenswert ist das Auffinden von Vorkommen fossiler Algen in Höhe von bis zu 70 m über dem Niveau der heutigen Seespiegel. Im Falle von Nostoc- und Folkerts-See läßt sich damit vermutlich das postpleistozäne Absinken der Gletscheroberflächen zeitlich hochauflösend dokumentieren.

### 3.10 Physik und Chemie der polaren Atmosphäre

Die Arbeiten zur Modellierung des arktischen Klimas sowie die Meßprogramme zur Untersuchung der polaren Atmosphäre in der Arktis und Antarktis wurden im Berichtszeitraum fortgesetzt. An der Koldewey-Station wurde ein neues Observatorium für stratosphärische Messungen aufgebaut (siehe auch Kapitel 4.7), das mit seinem umfangreichen Meßprogramm in das globale „Network for the Detection of Stratospheric Change“ (NDSC) eingebunden ist. Während der Sommerkampagne 1994/95 wurde in der Antarktis an der Neumayer-Station ein neues Luftchemisches Observatorium (siehe auch Kapitel 4.5) errichtet. Zusätzlich wurden auf mehreren „Polarstern“-Expeditionen, bei Flugzeugkampagnen sowie Meßkampagnen an den Stationen troposphärische und stratosphärische Spurenstoffe sowie atmosphärische Prozesse untersucht. Bei den Laborexperimenten standen vor allem heterogene chemische Reaktionen im Vordergrund, wie sie an den Oberflächen polarer stratosphärischer Wolken ablaufen können. Fast alle Forschungsaktivitäten waren in nationale oder internationale Programme eingebunden.

Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe „Stratosphärisches Ozon und UV-B-Strahlung“ koordiniert die wissenschaftlichen Aktivitäten zu diesen Themen innerhalb des Instituts und stimmt die Kooperationen mit nationalen und internationalen Partnern ab.

#### 3.10.1 Klimaprozesse **Simulation von Klimaprozessen der arktischen Atmosphäre**

Das regionale Klimamodell HIRHAM wurde auf die Simulation des arktischen Klimas nördlich von 65° N mit einer horizontalen Auflösung von 50 km angewendet und an den seitlichen Rändern durch ECMWF-Analysen angetrieben (ECMWF = European Center for Medium-Range Weather Forecasts). Das arktische Klima eines Winter- und eines Sommermonats wurde simuliert. Die Übereinstimmung mit den ECMWF-Analysen in den Temperatur-, Druck-, Geopotential- und Windverteilungen ist gut. Zusätzlich wurde das Modell gegen Stationsdaten validiert. Es wurden umfangreiche Sensitivitätsuntersuchungen zum Einfluß ungenau bestimmter Anfangsbedingungen, der Meereisdicke und der Horizontaldiffusion auf das arktische Klima durchgeführt. (Siehe auch Kapitel 2: Die Simulation atmosphärischer Klimaprozesse über der Arktis)



### *3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen*

In einem nichtlinearen atmosphärischen Low-Order-Modell mit orographischer und thermischer Anregung der langen Wellen wurde für realistische Werte des Temperaturgradienten zwischen Äquator und Pol chaotisches Lösungsverhalten gefunden. Die Analyse von Langzeitläufen des Modells über 1.100 Jahre zeigt Klimaschwankungen in der Zeitskala von Jahrzehnten. Die größte intern erzeugte Variabilität tritt im Periodenbereich zwischen 3 und 44 Jahren auf. Die Entwicklung nach empirischen orthogonalen Funktionen weist auf die Bedeutung der Wechselwirkung zwischen zonaler Strömung und der orographisch angeregten Welle und transienter Prozesse bei langzeitigen Klimaänderungen hin.

#### ***Die Ozonschicht über der Arktis und Antarktis***

Die Untersuchungen zu Veränderungen der Ozonschicht in der Arktis (Koldewey-Station) und Antarktis (Neumayer-Station) wurden auch 1994/95 weitergeführt. Der Nachweis chemischen Ozonabbaus in der arktischen Stratosphäre aus den Beobachtungen der EASOE-Kampagne (European Arctic Stratospheric Ozone Experiment) im Winter 1991/1992 konnte mit einer umfangreichen Auswertung von etwa 1.200 Ballonsondierungsdaten unter Zuhilfenahme von Trajektorienrechnungen und Abkühlungsraten erbracht werden. Der maximale Ozonverlust mit  $-1,7 \pm 0,3$  % pro Tag wurde für Ende Januar 1992 für die 475 K Fläche (19-20 Kilometer Höhe) bestimmt.

Im Rahmen des Second European Stratospheric and Mid-latitude Experiment (SESAME - Phase III) im Winter 1994/95 wurden in Zusammenarbeit mit dem Meteorologischen Institut der FU Berlin die Starts von über 1.000 Ozonsonden mit Hilfe diabatischer Vorwärtstrajektorien so koordiniert, daß der Ozongehalt einzelner Luftmassen mindestens zweimal hintereinander gemessen werden konnte. (Siehe auch Kapitel 2: Koordinierte Ozonsondierungen zur Bestimmung des Ozonabbaus im arktischen und subarktischen Winter)

Die vorläufigen Auswertungen bestätigen die Ergebnisse der EASOE-Messungen. Der maximale chemische Ozonabbau erreichte  $-1,7 \pm 0,4$  % pro Tag für Ende Januar und Mitte März 1995. Die verbesserte Auswertung ermöglichte darüber hinaus die Bestimmung der Verlustraten in guter zeitlicher und vertikaler Auflösung.

Erstmalig konnten über der Koldewey-Station Ozonprofile innerhalb des bis Anfang April 1995 stabilen stratosphärischen Wirbels gemessen werden, die – bedingt durch chemischen Ozonabbau – deutliche Minima der Ozonteilchendichte aufwiesen. Das Ozonminimum erstreckte sich in der zweiten Märzhälfte auf einen Höhenbereich von 14 bis 22 km. In einer dünnen Schicht zwischen 16 und

### ***Klimavariabilität der globalen atmosphärischen Zirkulation***

#### *3.10.2 Die polare Stratosphäre*

### Ny-Ålesund/Spitsbergen (79° N, 12° E)

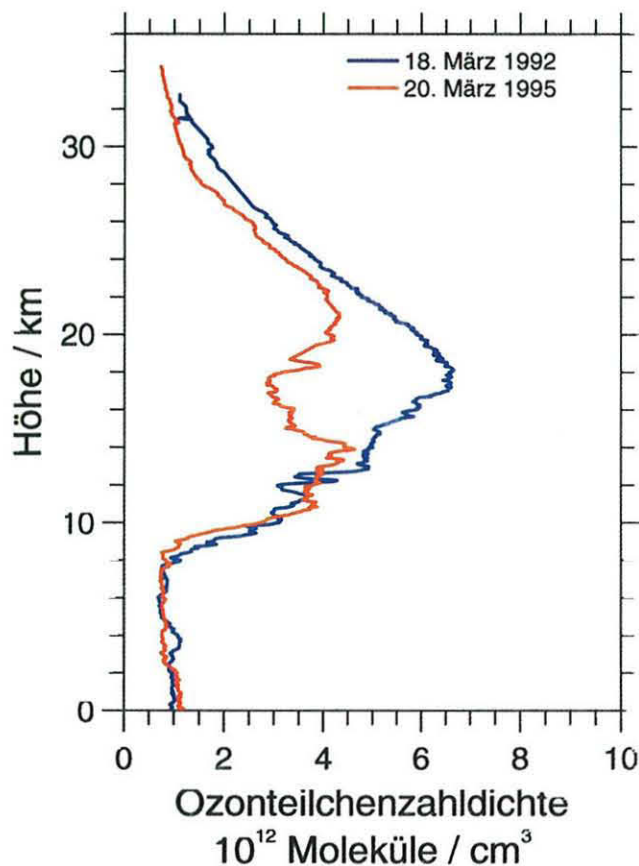


Abb. 1: Vergleich der Ozonprofile über Ny-Ålesund vom 18. März 1992 (blaue Kurve) und vom 20. März 1995 (rote Kurve). Die rote Kurve zeigt ein deutliches Ozonminimum im Höhenbereich von 14 bis 22 Kilometern.

18 km belief sich der Ozonverlust auf etwa 50 % (Abb. 1).

Die weitergeführten Vergleiche des Langzeitverhaltens der stratosphärischen Ozonschicht über der Arktis und Antarktis deuten darauf hin, daß in der unteren Stratosphäre der Arktis möglicherweise eine ähnliche Entwicklung einsetzt wie in der Antarktis vor etwa 15 Jahren.

#### **Stratosphärische Aerosole und ihre Wirkung auf die Ozonschicht**

Die Kombination der Aerosolmessungen in der Arktis mit einem Lidar (im Winter) und einem Photometer (im Sommer) zeigt einen Rückgang der als Folge des Pinatubo-Ausbruchs im Jahre 1991 stark erhöhten Aerosolbelastung der Stratosphäre. Die Abnahme der Aerosole in der Stratosphäre läßt sich fast völlig mit deren Sedimentation auf Grund der Schwerkraft erklären. Die neuesten Lidar-Messungen zeigen, daß der stratosphärische Aerosolgehalt wieder auf Werte vor dem Pinatubo-Ausbruch zurückgegangen ist.

Mit den Ozonsondierungen der Stationen Koldey, Neumayer und Syowa konnte gezeigt werden, daß insbesondere im Höhenbereich zwischen der Tropopause und etwa 15 km das vulkanische Aerosol den chemischen Abbau des Ozons in den Jahren 1992 und 1993 in der Arktis und Antarktis verstärkte.

Polare stratosphärische Wolken (polar stratospheric clouds - PSC), die sich während der Polarnacht bei tiefen Temperaturen ausbilden können, wurden seit 1989 mit dem Aerosol-Lidar über Spitsbergen vermessen. Dabei gab es im Januar 1993 und 1995 die stärksten Signale (Abb. 2).

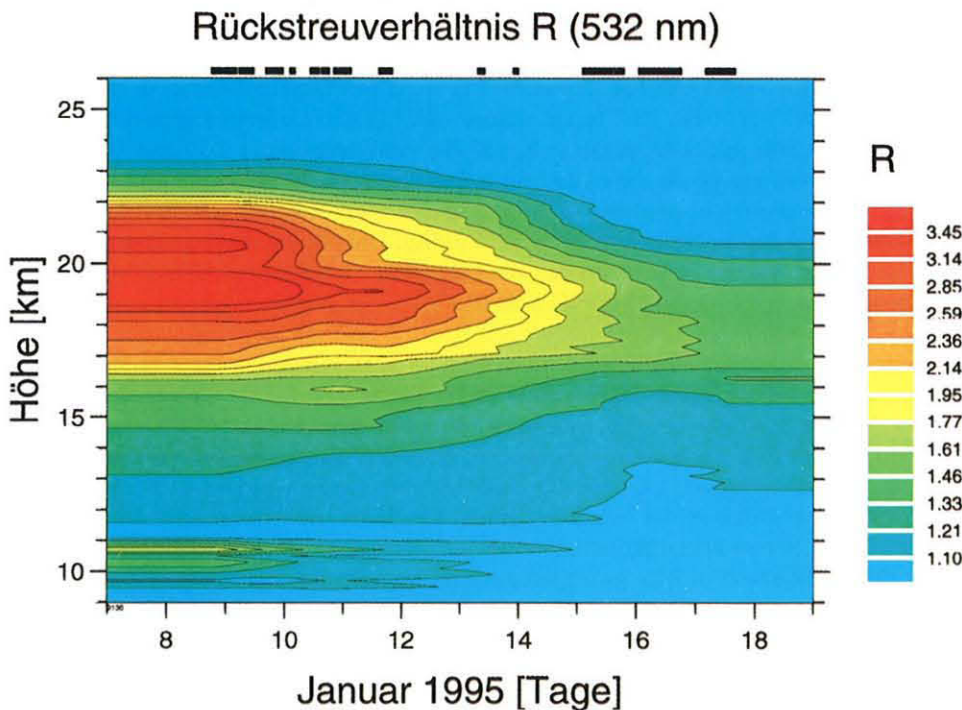


Abb. 2: Die mit einem Aerosol-LIDAR bei 532 nm gemessene zeitliche Entwicklung des Rückstreuverhältnisses über Ny-Ålesund im Januar 1995 als Funktion der Höhe. Zahlenwerte größer als 1 weisen auf die Anwesenheit von Aerosolen in der Atmosphäre hin. Die hohen Rückstreuverhältnisse im Bereich zwischen 15 und 23 Kilometern sind auf polare stratosphärische Wolken (PSC) zurückzuführen. Die erhöhten Rückstreuverhältnisse bei etwa 10 Kilometern Höhe wurden durch Zirren verursacht. Die vertikalen Markierungen am oberen Bildrand markieren die Meßzeiten des LIDARS.

Polare stratosphärische Wolken (PSC) vom Typ I setzen sich überwiegend aus festem Salpetersäuretrihydrat (nitric acid trihydrate = NAT) zusammen, während solche vom Typ II aus Wassereis bestehen. Von besonderem Interesse sind sphärische Teilchen, bei denen es sich um unterkühlte Tröpfchen handeln kann. Die Analyse der vom Januar 1993 abgeleiteten Volumendichten dieser Teilchen mit den Temperatur-Entwicklungen ihrer Luftpakete zeigt ebenso wie für den Januar 1995, daß sie aus einer ternären Lösung von  $\text{HNO}_3$ , Wasser und  $\text{H}_2\text{SO}_4$  bestehen können. Damit sind diese PSC gealterten vulkanischen Aerosolen sehr ähnlich. Dies wiederum könnte den ozonzerstörenden Effekt erklären, der auch für vulkanische Aerosole beobachtet wurde.

Die Voraussetzung für einen massiven Ozonabbau in der Stratosphäre der Polargebiete ist eine chemische Konditionierung der Stratosphäre während der Polarnacht. Dabei werden weitgehend inaktive Halogenreservoir-Verbindungen an den Oberflächen polarer stratosphärischer Wolken so umgewandelt, daß sie für den katalytischen Ozonabbau aktive Komponenten darstellen.

In Laborexperimenten wurden die heterogenen Reaktionen der Bromreservoirsubstanz HBr mit den Stickoxidreservoir-Verbindungen Distickstoffpentoxid ( $\text{N}_2\text{O}_5$ )

**Laboruntersuchungen von heterogenen chemischen Reaktionen an Modelloberflächen polarer stratosphärischer Wolken**

und Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) an PSC-ähnlichen, d. h. Salpetersäuretrihydrat- und Eisoberflächen (PSC Typ I bzw. PSC Typ II) untersucht. Bei den Untersuchungen der Reaktionen von HBr mit  $\text{N}_2\text{O}_5$  ergab sich, daß die Reaktivität von PSC-Typ-I-Oberflächen deutlich geringer ist als die einer reinen Eisoberfläche. In beiden Fällen entstehen als Endprodukte die leicht photolysierbaren und damit für den katalytischen Ozonabbau relevanten Bromverbindungen  $\text{Br}_2$  und  $\text{BrNO}$ . Detaillierte mechanistische Untersuchungen zeigten außerdem, daß die komplexe Oberflächenreaktion über die Zwischenprodukte  $\text{BrNO}_2$  und  $\text{HONO}$  abläuft.

**Messung stratosphärischer Spurengase im infraroten (IR) und ultravioletten, sichtbaren (UV/VIS) Spektralbereich**

Mit einem FTIR-Spektrometer (Fourier Transform Infrarot) werden an dem NDSC-Observatorium der Koldewey-Station Spurengase gemessen, die zur Untersuchung chemischer und dynamischer Prozesse in der polaren Atmosphäre von Bedeutung sind. Die Erweiterung des Spektrometers für den UV/VIS-Spektralbereich ermöglichte neben der Bestimmung von  $\text{O}_3$  und  $\text{NO}_2$  auch den Nachweis von OH-Radikalen. Damit konnten erstmals in der Arktis mit einem Interferometer Spurengase im UV/VIS-Bereich mit der Sonne als Lichtquelle vermessen werden.

Mit dem FTIR-Spektrometer gelangen auch Messungen der Eigenemission atmosphärischer Spurengase während der Polarnacht. Dabei muß die atmosphärische Aerosolschicht bei der Datenauswertung berücksichtigt werden, da sie einen starken Einfluß auf die Spektren und damit auf die Meßgenauigkeit bei der Bestimmung der Säulenkonzentrationen hat.

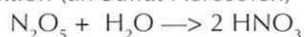
Die Absorptionsmessungen im Infraroten mit Sonne oder Mond als Lichtquelle ermöglichten die Auswertung der Säulenkonzentrationen von etwa 20 verschiedenen Spurengasen. Mit einem neuen Auswertungsverfahren konnten wesentlich mehr Spektren und Absorptionslinien untersucht werden als bisher. Alle seit Beginn der Messungen im März 1992 aufgenommenen Spektren wurden zur Untersuchung der Jahresgänge analysiert. Dabei konnten auch die jahreszeitlichen Variationen einiger troposphärischer Spurengase (z.B.  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ) erstmals fast komplett erfaßt werden. Auf einer „Polarstern“-Fahrt von Kapstadt nach Bremerhaven (ANT XI/5) wurde ein FTIR-Spektrometer erstmals erfolgreich auf einem Schiff zur Messung atmosphärischer Spurenstoffe eingesetzt.

Bei der detaillierten Auswertung der zur Verfügung stehenden FTIR-Spektren gelang auch die Bestimmung der Säulenkonzentrationen für Ozon unterschiedlicher isotopischer Zusammensetzung, die Informationen über die Bildungsmechanismen des stratosphärischen Ozons liefern können. Die schweren Isotope sind beim Ozon relativ zum natürlichen Isotopenverhältnis angereichert.

Die große Breite der Meßverfahren am NDSC-Observatorium ermöglicht Prozeßstudien der Vorgänge in der Stratosphäre über Spitzbergen. Mit dem FTIR-Spektrometer

wurde im Dezember 1992 eine deutliche Abnahme der Reservoorgase HCl und ClONO<sub>2</sub> beobachtet. Die starke Entwicklung polarer stratosphärischer Wolken zeigte sich in den Lidar-Messungen im Januar 1993. Der nachfolgende Ozonabbau konnte aus den Ozonsondenprofilen für Februar und März 1993 abgeleitet werden.

Zur Modellierung der Jahresgänge stratosphärischer Spurengase wurde ein von Brasseur (NCAR, Boulder) entwickeltes Modell der stratosphärischen Gasphasen-Chemie (ca. 40 Stoffe, 100 Reaktionen) um heterogene Reaktionen an Aerosolen und polaren stratosphärischen Wolken erweitert. Es konnte unter anderem gezeigt werden, daß der Jahresgang der HNO<sub>3</sub>-Säulendichte über Spitzbergen nur unter Berücksichtigung der heterogenen Reaktion (an Sulfat-Aerosolen)



realistisch wiedergegeben werden kann.

#### **Ozonabnahmen in der atmosphärischen Grenzschicht**

Troposphärische Ozonvariationen im arktischen Frühling wurden im Verlauf zweier Meßkampagnen 1994 und 1995 in Ny-Ålesund auf Spitzbergen untersucht. Die Messungen 1995 waren Teil der ARCTOC-Kampagne (ARCTOC - Arctic Tropospheric Ozone Chemistry). Dabei konnten insgesamt acht troposphärische Ozonminima mit Ozonabnahmen zum Teil bis zur Detektionsgrenze registriert werden. Die vertikale Ausdehnung der ozonarmen Luftmasse erreichte Höhen zwischen 500 und 1.300 m, wie aus Ozonsondenstarts ersichtlich ist. Trajektorienrechnungen weisen auf einen Ursprung der Luftmassen in der marinen Arktis hin.

Untersuchungen zur Größenverteilung von Aerosolen im *Accumulation Mode* zeigen, daß beim Auftreten der Ozonminima die Aerosolkonzentrationen im Größenbereich 0,09 - 0,11 µm Durchmesser ein Minimum aufweisen. Dies ist typisch für Sulfataerosole und weist darauf hin, daß die ozonarmen Luftmassen nur geringfügig anthropogen beeinflusst sind.

Erste Untersuchungen in der Antarktis zeigen, daß ähnliche Ozonabnahmen auch an der Neumayer-Station im Frühling beobachtet werden. Auch hier weisen Trajektorienrechnungen auf einen marinen Ursprung der Luftmassen hin. Die Stärke und Häufigkeit der troposphärischen Ozoneinbrüche ist stark durch die lokalen meteorologischen Bedingungen an den jeweiligen Stationen geprägt.

Im Rahmen des Umweltverbundes der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) wird seit mehreren Jahren ein Projekt zum Thema „Ozonbildung in der planetaren Grenzschicht“ durchgeführt. Messungen von Photo-

#### **Modellierung der Jahresgänge stratosphärischer Spurengase**

#### **3.10.3 Die polare und marine Troposphäre**

#### **Photooxidantien in der marinen Troposphäre**

oxidantien in der marinen Troposphäre befassen sich unter anderem mit der vertikalen Schichtung des Ozons und der regionalen Verteilung bodennahen Ozons und des Wasserstoffperoxids. Die Ergebnisse aus mehreren Atlantikfahrten mit dem Forschungsschiff „Polarstern“ belegen unter anderem die große Bedeutung, die der Wasserdampfgehalt der Luft auf die Verteilung der Photoxidantien  $O_3$  und  $H_2O_2$  hat.

Aus den gemessenen vertikalen Ozonprofilen kann man schließen, daß die photochemische Ozonzerstörung eine bedeutende Senke für bodennahes Ozon ist. Charakteristisch für die tropische Troposphäre des Südatlantiks zwischen  $30^\circ S$  und  $5^\circ S$  sind saisonal auftretende hohe Ozonwerte im Höhenbereich von 4.000 - 8.000 m. Die Messungen weisen auf zwei mögliche Ozonquellen hin: Eintrag ozonreicher, stratosphärischer Luftmassen und photochemische Ozonbildung, ausgelöst durch die Emissionen aus der Verbrennung von Biomasse, die über weite Strecken advehiert werden können.

Ozonsondierungen und Messungen zur Verteilung von bodennahem  $O_3$ ,  $H_2O_2$  und NO dokumentieren den geringen Grad anthropogener Belastung der arktischen marinen Troposphäre im Sommer. Die extrem niedrigen NO-Konzentrationen, die beobachtet wurden, schließen eine photochemische Ozonbildung aus. Advektion ozonreicher Luftmassen aus mittleren Breiten und Intrusion stratosphärischer Luft scheinen die wichtigsten Quellen troposphärischen Ozons im arktischen Sommer zu sein. Dagegen bedingen am Ende der arktischen Polarnacht photochemische Prozesse ein periodisches Abfallen der bodennahen  $O_3$ -Konzentration.

**Flugzeugmessungen  
troposphärischer  
Aerosole und Fallstudien  
zum Strahlungstransport**

Im Rahmen von Reflex III wurden im Sommer 1995 an Bord des Polarflugzeuges „Polar 4“ erste Testmessungen des vertikalen Extinktionskoeffizienten mit Sonnenphotometern durchgeführt. Diese Messungen bestätigten, daß signifikante Aerosolanreicherungen hauptsächlich in der Grenzschicht erfolgen.

Seit Januar 1995 wird ein halbautomatisches Photometer eingesetzt, mit dem sowohl die Sonne als auch der Mond als Lichtquelle verwendet werden kann. Erste Messungen während der Polarnacht zeigten, daß bereits vor Rückkehr der Sonne erhöhte troposphärische Aerosolkonzentrationen vorkommen können, wie sie vom „Arctic Haze“ bekannt sind.

Das Strahlungstransportmodell LOWTRAN 7 zeigt, daß das über den Spektralbereich von 0,3 bis  $3,0 \mu m$  integrierte „Aerosolforcing“ in der bodennahen Luftschicht im Frühjahr etwa 0,85 K/Tag und im Sommer etwa 0,3 K/Tag beträgt.

### *3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen*

HNO<sub>3</sub> und aerosolgebundenes Nitrat wurden als Indikatoren für die am Stickstoffkreislauf beteiligten Emissions-, Transport- sowie chemischen Transformations- und Depositionsprozesse untersucht.

Die Meßkampagnen auf Spitzbergen wurden in den Polarfrühling und Polarsommer gelegt, so daß im wesentlichen Bedingungen mit permanentem Tageslicht gegeben waren. Nitrat und HNO<sub>3</sub> waren während des Frühjahrs und des Sommers in unterschiedlichen Konzentrationen in der Arktis zu beobachten. Während unterschiedlicher Advektionsmuster waren im März relativ hohe Nitrat- und HNO<sub>3</sub>-Konzentrationen sowie hohe HNO<sub>3</sub>/NO<sub>3</sub>-Verhältnisse zu finden. Dieser Befund weist auf einen Transport aus mittleren Breiten mit minimalen Verlusten durch trockene oder nasse Deposition und eine fast homogene Verteilung und Akkumulation in der winterlichen arktischen Troposphäre hin.

Bei Aerosolen aus den Gebieten der Grönlandsee und der Framstraße wurde die Elementzusammensetzung untersucht. Als Tracer für Erdkrustenverwitterung wurden Al, Fe und Ca sowie die Seltenen Erden bestimmt. Zur Charakterisierung mariner Einflüsse wurden die Gehalte an Na, Mg, K und Sr analysiert. Mit den überwiegend anthropogenen Elementen Cd, Pb, Ni, Cu, Zn und As konnte in Kombination mit einer Trajektorienauswertung der Einfluß belasteter Luftmassen aus den mittleren Breiten nachgewiesen werden.

Das oben beschriebene Elementspektrum wurde auch auf einer „Polarstern“-Fahrt von Bremerhaven nach Punta Arenas (ANT XII/1) analysiert. Hier wurden nördlich der ITCZ besonders hohe Konzentrationen an Spurenmetallen gefunden.

Ergänzend zu den Aerosoluntersuchungen sind auf den Schiffsexpeditionen auch Niederschläge gesammelt und analysiert worden, um den atmosphärischen Eintrag in das Oberflächenwasser abzuschätzen. Die Elementanalysen der Regen- und Meerwasserproben wurden ergänzt durch Messungen von DOC, DON, Nährstoffen und Aminosäuren.

Im Februar 1994 wurde in Ny-Ålesund auf Spitzbergen ein automatischer Niederschlagssammler installiert, der zur Untersuchung der nassen Deposition von Spurenmetallen eingesetzt wird. Ergänzend dazu sind Totaldepositionssammler aufgebaut worden, die sowohl die nasse als auch die trockene Deposition erfassen. Inzwischen liegen für beide Sammlertypen die Depositionsdaten von einem Jahr vor. Der Datensatz beinhaltet die Konzentrationen und Depositionsraten für die Erdkrustenelemente Al, Ba, Ca, Cr, Fe, K, Mn, Sr und V sowie die Seltenen Erden. Für die Elemente Ca, K, Mg, Na und Sr konnte das Meersalz als Quelle identifiziert werden. Überwiegend anthropogenen Ursprungs waren die Elemente Cd, Cr, Cu, Ni, Pb und Zn. Beispielhafte

***Stickstoffhaltige  
Spurenstoffe in der  
marinen und arkti-  
schen Troposphäre***

***Spurenmetalle in  
Aerosolen und  
Niederschlägen***

Depositionsraten der nassen Deposition für das Erdkrustenelement Al betragen  $24 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ , für das Meersalzelement Na  $531 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$  und für die anthropogenen Elemente Pb und Cd  $2 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$  bzw.  $18 \text{ng}/\text{m}^2\text{d}$ .

***Die Verteilung von  
atmosphärischem  
Dimethylsulfid (DMS)  
und seiner Reaktions-  
produkte in der Arktis***

Dimethylsulfid wird von marinen Organismen an die Atmosphäre abgegeben und liefert den größten Beitrag zur natürlichen Emission gasförmiger Schwefelverbindungen. In der Atmosphäre wird Dimethylsulfid (DMS) oxidiert und bildet über mehrere Zwischenstufen wolkenphysikalisch relevante Aerosole, die als Sulfat und Methansulfonsäure (MSA) nachgewiesen werden können.

An der Koldewey-Station in Ny-Ålesund wurden 1994 und 1995 jeweils im Frühjahr Meßkampagnen zur Bestimmung von DMS, MSA und Sulfat durchgeführt. Als Hauptquellgebiete wurden die Barentssee und der nördliche Atlantik identifiziert. Die beobachteten DMS- und MSA-Zeitreihen deuten auf eine rasche Oxidation des DMS hin. Dagegen verlaufen die Sulfatkonzentrationen gegenläufig. Dies ist vermutlich auf den „Arctic Haze“ zurückzuführen.

***Deuterium in polarer  
Luftfeuchte***

Über den Prozeß der Oberflächenverdunstung von Schnee und Eis und dessen Einfluß auf die Isotopenverhältnisse des atmosphärischen Wasserdampfes in den darüber lagernden bzw. strömenden Luftmassen ist bisher wenig bekannt. Die Kenntnis der Veränderungen im Isotopenverhältnis bei der Deposition von Niederschlag ist für paläoklimatische Analysen von Bedeutung.

Zur Messung der isotopischen Zusammensetzung  $\delta\text{D}$  und  $\delta^{18}\text{O}$  von atmosphärischem Wasserdampf und Niederschlägen in der Antarktis wurden automatisch arbeitende Luftfeuchteprobensammler entwickelt, gebaut und an der Koldewey-Station erprobt. Während der 36. Japanischen Antarktisexpedition sind diese Geräte auf den Antarktisstationen Syowa ( $69,00^\circ \text{S} / 39,58^\circ \text{O} / 15 \text{m}$  über NN), Mizuho ( $70,70^\circ \text{S} / 44,33^\circ \text{O} / 2230 \text{m}$  über NN) und Dome F ( $77,32^\circ \text{S} / 39,70^\circ \text{O} / 3810 \text{m}$  über NN) installiert und Probenahmen durchgeführt worden.

Die umfangreichen massenspektroskopischen  $\delta\text{D}$ - und  $\delta^{18}\text{O}$ -Analysen der Luftfeuchte- und Niederschlagsproben sind inzwischen abgeschlossen.



### 3.11 Meereisforschung

#### **Einführung**

Das Meereis, das in seiner Maximalausdehnung den überwiegenden Teil der Polarmeere bedeckt, beeinflusst in erheblichem Maße physikalische, biologische, geochemische und geologische Vorgänge in den Polargebieten. Aufgrund der Bedeutung des Systems „Meereis“ widmen sich die verschiedensten Arbeitsgruppen am Alfred-Wegener-Institut direkt oder indirekt diesem Thema. Die bearbeiteten Themen zeichnen sich durch eine große Vielfalt aus. Im Rahmen einer intersektionellen Arbeitsgruppe „Meereis“ (IMG) wird versucht, meereisbezogene Arbeiten in einen sektions- und vor allem fachübergreifenden Rahmen zu stellen. Zusätzlich zur gemeinsamen Planung, Durchführung und Auswertung von Feldkampagnen werden insbesondere die Bearbeitung und Diskussion interdisziplinärer Fragestellungen im Rahmen der IMG durchgeführt.

Neben fachspezifischen Themen, wie beispielsweise der Nutzung geophysikalischer Verfahren zur Bestimmung der Meereisdicke oder Untersuchungen des Wachstums von Eisdiatomeen bei geringen  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen, werden im Zusammenhang mit dem Meereis auch breite multidisziplinäre Fragestellungen bearbeitet. Hier sind insbesondere Arbeiten zur Erforschung der Lebensbedingungen von Eisorganismen und ihre Steuerung durch physiko-chemische Prozesse zu nennen. Der Einfluß von Meereislebensgemeinschaften auf die chemischen und physikalischen Randbedingungen innerhalb ihres Lebensraumes konnte nun auch experimentell und anhand von Modellen nachgewiesen werden.

Mehrere Untersuchungen, die teilweise im Rahmen eines BMBF-Verbundprojektes in russisch-deutscher Zusammenarbeit durchgeführt werden, widmen sich der Bedeutung des Meereises für die Stoffflüsse im Bereich des Arktischen Ozeans, insbesondere den Transport partikulärer und gelöster Einschlüsse betreffend. Neben Prozessen in den sibirischen Schelfrandmeeren wird die Entwicklung und Dynamik des Meereises im weiteren Verlauf der Transpolardrift bis hin zum endgültigen Aufschmelzen des Eises in der Ostgrönlandsee erfaßt. Dies geschieht sowohl durch detaillierte Feldstudien als auch unter Nutzung von Fernerkundungsdaten sowie mit Hilfe numerischer Modelle.

Im folgenden soll ein kurzer Überblick über die wesentlichen meereisbezogenen Forschungsarbeiten im Zeitraum 1994/95 gegeben werden.

**3.11.1**  
**Untersuchungen in**  
**der Antarktis**

**Meereisbewegung in Abhängigkeit vom Windfeld**

Die großskalige Dynamik des Meereises im Weddellmeer sowie im Arktischen Ozean wurde mit einem numerischen Modell simuliert, wobei Eisalter, Rauigkeit, Schnee-Eis und Lagrangesche Trajektorien als zusätzliche prognostische Größen implementiert worden sind. Um die Modellergebnisse zu verifizieren und zu optimieren, wurden die mit Hilfe satellitengestützter, passiver Mikrowellensensoren (SMMR, SSM/I) durchgeführten Beobachtungen mit der simulierten Eiskonzentration und dem Eisalter verglichen. Die Trajektorien des Meereises werden mittels ARGOS-Driftbojen beobachtet.

Die Auswertung aller bisherigen Bojenmessungen des AWI und weiterer sieben in- und ausländischer Arbeitsgruppen zeigte, daß die Eisbewegung in allen Regionen des Weddellmeeres (mit Ausnahme des an die Antarktische Halbinsel angrenzenden Gebiets) in guter Näherung in linearer Abhängigkeit vom Windfeld darstellbar ist. Die Driftgeschwindigkeit beträgt im Mittel 1,4 % des geostrophischen Windes. Aus den Bojendaten läßt sich kein Zusammenhang zwischen den kinematischen Größen des Windantriebs bzw. der Eisbewegung und Effekten interner Spannungen nachweisen, wobei dies insbesondere für die Divergenz der Eisbewegung gilt. Aufgrund der zugrundeliegenden vergleichbaren Größenskalen ist dies auch für die numerische Modellierung von Bedeutung.

Untersuchungen zur Kinematik und Dynamik des Meereises im Weddellmeer mit Hilfe von Fernerkundungsdaten, die im Vergleich zu Bojen eine wesentlich bessere Abdeckung des Untersuchungsgebietes ermöglichen, konnten durch Vervollständigung der Datenbasis (AVHRR- und ERS-1 SAR-Aufnahmen) vorangetrieben werden. Für das Jahr 1992 liegt nun eine fast vollständige Flächenabdeckung vor. In einer Studie der winterlichen Eissituation im südwestlichen Weddellmeer konnte eine deutliche Korrelation der Eisverteilung mit der Meeresbodentopographie nachgewiesen werden. Durch Kombination von AVRR- und SAR-Aufnahmen derselben Region konnte die Eiskinematik auf verschiedenen Größenskalen verglichen werden. Es ergibt sich so ein konsistentes Bild für die Driftgeschwindigkeit sowie für die Divergenz und Scherung eines Eisfeldes.

Die satellitengestützte Bestimmung der Meereisverteilung (SSM/I-Mikrowellensensor) unterliegt durch atmosphärische Einflüsse teilweise erheblichen Fehlern. Mit Hilfe eines auf empirischen Daten beruhenden Strahlungstransportmodells konnten für den Bereich des Weddellmeeres erstmals korrigierte Daten der Eiskonzentration gewonnen werden.

**Erfassung der Eisdicke**

Zur Bestimmung der zeitlichen Veränderung der Eisdicken im Weddellmeer, die bislang nicht aus Satellitenfernerkundungsdaten ableitbar ist, wurden Zeitreihen der

### *3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen*

Tiefgänge mit Hilfe von Eisecholoten an Verankerungen gewonnen (insgesamt sechs Datensätze von ein bis zwei Jahren). Zur Validierung der Daten mußte zunächst ein empirisches Modell entwickelt werden.

Für die indirekte Bestimmung der Eisdicke kam ein elektromagnetisches Meßverfahren zum Einsatz. Außerdem konnte während zweier „Polarstern“-Expeditionen (ANT XI/3 und ARK XI/1) erstmals mit einer Meßanordnung, bestehend aus Laseraltimeter und Elektromagnetik-Sensor, die Eisdickenverteilung und -rauigkeit in Echtzeit vom fahrenden Schiff aus bestimmt werden.

Nachdem bereits durch Auswertung von Eiskerndaten und Dickenmessungen der signifikante Beitrag von Schnee-Eis zur Massenbilanz des Meereises im Weddellmeer belegt worden war, wurde mit einem gekoppelten eindimensionalen Salzfluß-Eiswachstumsmodell der Gesamteinfluß des Schnees auf das Meereiswachstum untersucht. Zur Berücksichtigung dynamischer Prozesse wurde die Bildung von Schnee-Eis zusätzlich in einem großskaligen Meereismodell implementiert. Die Modelle zeigen, daß die thermische Isolierung durch die Schneedecke zu einer Abnahme des Eisvolumens führt. Diese Ergebnisse sind relevant für Vorhersagen möglicher Verschiebungen in der Meereisbedeckung als Folge von Klimaschwankungen, durch die sich sowohl Lufttemperaturen als auch Niederschlagsmengen ändern würden.

Aussagen über die Meereisverbreitung in geologischer Vorzeit sind noch mit Unsicherheiten behaftet. Durch Untersuchungen an Meereisproben, Sinkstoff-Fallenmaterial sowie Oberflächensedimenten und Sedimentkernen konnten jedoch mikropaläontologische Indikatoren für die antarktische Meereisverbreitung der jüngeren geologischen Vergangenheit definiert werden. Daraus ließ sich eine signifikante Abnahme der Meereisbedeckung (um 60 % für den Winter und um 90 % für den Sommer) zwischen dem letzten Hochglazial vor rund 19.000 Jahren und dem Klimaoptimum vor 9.000 Jahren nachweisen. Vergleiche mit Ergebnissen aus einem großskaligen numerischen Modell zeigen eine gute Übereinstimmung. Die Modellierung kann hierbei die quantitative Bedeutung der Steuergrößen und Auswirkungen solcher Veränderungen erhellen sowie die Abschätzung kurzfristiger, insbesondere saisonaler Veränderungen ermöglichen.

Die erste Überwinterung eines Biologen auf der Neumayer-Station hatte zum Ziel, die saisonale Veränderung des Lebensraumes Festeis und der darunter liegenden Plättcheneisschicht (ein Eistyp, der vorwiegend im antarktischen Schelfeisgürtel vorkommt) zu erkunden. Hierzu wurde neben der Artenzusammensetzung und der Biomasseentwicklung die zeitliche Veränderung der physikalischen und chemischen Parameter (wie Eiswachstum, Salzgehalt, Temperatur, Lichtregime) sowie die Konzentrationen der

***Meereismodellierung  
und Rekonstruktion  
der Meereis-  
bedeckung in geologi-  
scher Vergangenheit***

***Jahresgang der  
Lebensgemeinschaft  
im Fest-  
und Plättcheneis***

wichtigsten gelösten Gase und Nährsalze untersucht. Es gelang durch das Projekt erstmals, dieses Ökosystem über eine ganze Vegetationsperiode hinweg zu studieren. Trotz großer Eisdicke und hoher Schneeeauflage begannen die Algen sich bereits im August stark zu vermehren. Im Sommer erreichten sie Biomassen von 1 mg Chlorophyll *a* pro Liter, vergleichbar mit denen der Plättcheneisgemeinschaften der schnee-armen Festeisgebiete vor McMurdo (Arrigo et al. 1995). Eng benachbarte Lebensräume wie das Meereis, das Plättcheneis und das Interstitialwasser weisen große Unterschiede in der Artenzusammensetzung auf.

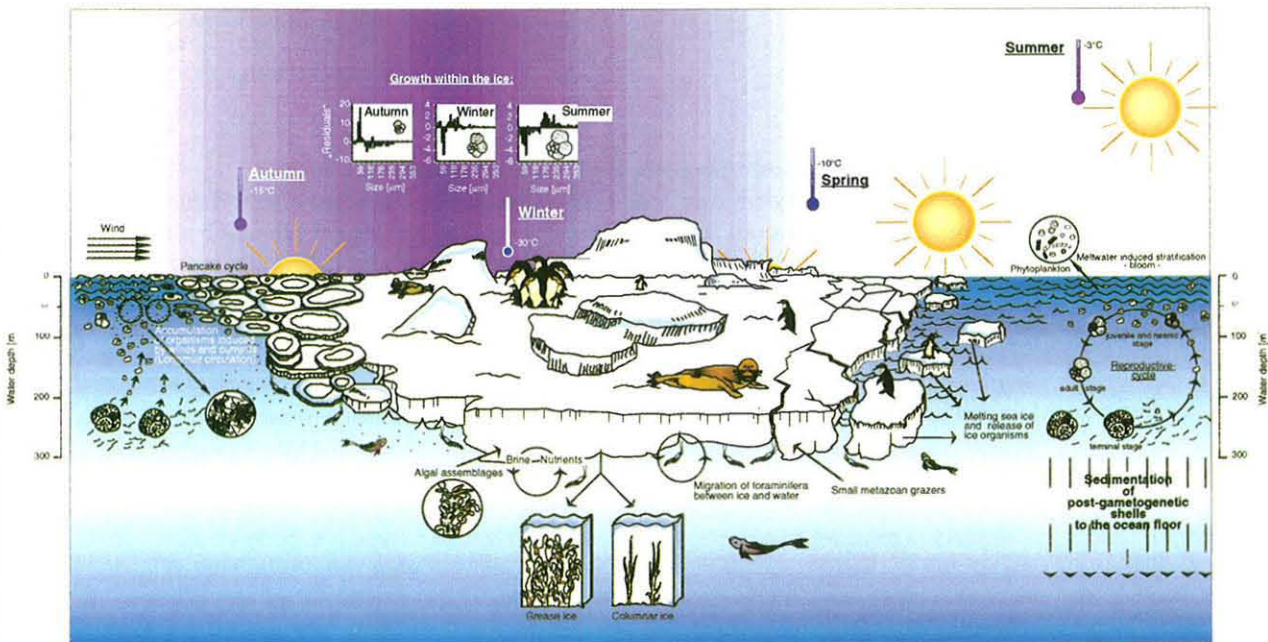
Zusammen mit den Ergebnissen aus dem Drescher-Inlet (die ebenfalls in diesem Jahr gewonnen wurden) kann nun genauer erklärt werden, welche Bedeutung die Plättcheneisgemeinschaft für die Biologie der Schelfgebiete hat.

#### **Meereislebens- gemeinschaften**

Die Untersuchungen der Lebensgemeinschaften im Meereis konzentrierten sich in den letzten zwei Jahren auf die Bakterien, Pilze, Foraminiferen und Copepoden. Hier wurde insbesondere der Einfluß von Eisbildung und -genese auf die Organismen untersucht.

Bakterien werden während der Eisbildung nicht durch physikalische Mechanismen in der Neueismatrix angereichert. Sie gelangen vielmehr durch Anheftung an Algenzellen oder Einbettung in Algenaggregate, die einer effektiven physikalischen Anreicherung unterliegen, in das Eis. Dabei werden planktische Bakterienpopulationen, die in junges Meereis eingeschlossen worden sind, physiologisch stark gehemmt. In der wachsenden Eisdecke entwickeln sich neue Bakteriengesellschaften aus Formen, die an die besonderen Umweltbedingungen innerhalb der Meereissole angepaßt sind. Sie können im dicken Eis beträchtliche Biomassen aufbauen. Die Gesamtproduktion der Bakterien ist dann entsprechend hoch und kann in den lichtschwachen Perioden die Primärproduktion der Algen übertreffen. Die Zusammenfassung der bisherigen mykologischen Untersuchungsergebnisse zeigt, daß lebensfähige Pilzkeime im Meerwasser und Meereis der Antarktis (Weddellmeer) regelmäßig, in lokal hoher Dichte und Artenvielfalt, bis 76°33' S vorkommen. Die niederen Pilze (pilzähnliche Protisten) sind überwiegend auf die unteren, dem Wasser zugewandten Eisschichten beschränkt, während die Hefen außerdem noch die mittleren und die filamentösen Pilze sämtliche Eisschichten besiedeln. Insgesamt wurden über 2.000 marine Pilzstämme aus polaren Ozeanen isoliert; etwa 10% davon sind psychrophile Vertreter.

Die Foraminifere *Neogloboquadrina pachyderma* tritt im winterlichen Meereis in vielfach höheren Individuendichten auf als in der darunter gelegenen Wassersäule. Diese Anreicherung erfolgt im Herbst in starker Abhängigkeit von den jeweiligen Eisbildungsmechanismen (Abb.). Während des Winters nutzt *N. pachyderma* das Eis



als Habitat und die Eisalgen als Nahrungsquelle. Die im Eis herrschenden Lebensbedingungen wirken fördernd auf die Entwicklung der Gesamtpopulation dieser Art im Antarktischen Ozean. Hierdurch wird es der Art auch außerhalb des kurzen antarktischen Sommers möglich, einen relativ hohen Individuenbestand zu erhalten. Der Foraminiferenbestand des Weddellmeeres wird beeinflusst durch die großräumigen zyklischen Strömungen des Weddellwirbels, den Eintrag von Individuen aus dem Antarktischen Zirkumpolarstrom, den Einschluß der Individuen in das Eis, die Verfrachtung des Eises, die Entlassung von Exemplaren aus dem Eis und die saisonale Bildung einer schmelzwasserinduzierten Oberflächenschichtung.

Der Lebenszyklus der kleinen calanoiden Copepodenart *Stephos longipes* ist stark an das Meereis gekoppelt. Die meisten Tiere leben in den untersten Zentimetern des Eises, wo sich auch die höchste Phytoplanktonbiomasse befindet und wo daher die Nahrungsbedingungen optimal sind. Ähnlich wie bei den Foraminiferen übersteigt die Bestandsdichte (Anzahl pro Liter) der *S. longipes* im Meereis jene in der Wassersäule um ein Vielfaches. Die Populationsstruktur der Copepoden ist in den verschiedenen Habitaten unterschiedlich: Meereis und Untereisschicht beherbergen eine junge Population mit Nauplien und dem ersten Copepoditstadium, in der Wassersäule dagegen dominieren ältere Stadien und Adulte. Eine junge Population scheint im Meereis zu überwintern, eine ältere dagegen in größeren Wassertiefen bzw. nahe dem Meeresboden.

*Lebenszyklus der planktischen Foraminifere Neogloboquadrina pachyderma als Beispiel für die Kopplung zwischen planktischen Organismen und dem Meereis (nach D. Berberich, 1996).*

**3.11.2**  
**Untersuchungen in**  
**der Arktis**

**Quantifizierung des Meereisexports aus dem Arktischen Ozean**

Der Meereisexport aus dem Arktischen Ozean in die Grönlandsee kontrolliert den Süßwasserhaushalt des europäischen Nordmeeres und trägt somit erheblich zur Steuerung der ozeanischen Zirkulation und des Klimas bei. Im Rahmen eines EU-Förderprogramms sind für die Jahre 1993-95 Zeitreihen des Eismassenflusses in der Grönlandsee erstellt worden. Die Eisdickenmessung erfolgte mit Eisecholoten auf 75° N im Ostgrönlandstrom. Die Driftgeschwindigkeit und die Driftrichtung des Eises wurden durch Korrelationsrechnungen aus Satellitenbilddaten automatisch bestimmt. Der daraus abzuleitende Eismassenfluß soll mit Modellrechnungen verglichen werden, die als Folge der Variabilität des Windantriebs Standardabweichungen des jährlichen Süßwasserexports um 20 % vorhersagen.

**Einschluß und Trans-**  
**port von Sedimenten**  
**im Meereis**

Untersuchungen des Meereisregimes in der sibirischen Laptewsee widmen sich insbesondere dem Einschluß von Sedimenten in das Meereis der ausgedehnten Flachwasserbereiche sowie deren anschließendem Export in das Arktische Becken. Neben Felduntersuchungen zur Auswirkung der Sedimenteinschlüsse auf die spektrale Albedo des Eises wurde in einer Reihe von Feldstudien die kleinskalige Umlagerung gelöster und partikulärer Stoffe in Abhängigkeit vom Schmelzwasserfluß untersucht. Tracerversuche zeigten unerwartet hohe Dispersionsgeschwindigkeiten von bis zu einigen Metern pro Stunde in oberflächennahen Eis- und Schmelzwasserlagen. Durch Kombination von Fernerkundungsmethoden und detaillierten Feldstudien konnte erstmals der Sedimenttransport durch das Meereis quantifiziert werden. Der meereisgebundene Sedimentexport vom Laptewsee-Schelf in das Arktische Becken kann in derselben Größenordnung liegen wie der Eintrag durch die sibirischen Flüsse.

Untersuchungen zum weiteren Transportweg des eurasischen Meereises im Verlauf der Transpolardrift wurden durch eine Kombination von sedimentologischen Daten, die auch Aufschluß über Liefergebiete geben, sowie die Auswertung der Eisdrift im Rahmen des internationalen arktischen Bojen-Programms durchgeführt. Neben der Identifizierung von Liefergebieten und Senken erlauben diese Arbeiten auch, die beobachtete Mineralzusammensetzung der eurasischen Randmeere als Folge des Meereistransports zu erklären (siehe Kapitel 3.6 – Bericht der Sektion Meeresgeologie). Mit Hilfe eines großskaligen Meereismodells ist es nun möglich, sowohl die heutige Situation als auch Zustände in vergangenen geologischen Epochen numerisch zu simulieren.

**Chemische Untersu-**  
**chungen im Meereis**

Chemische Umsatzprozesse während des Sommers können für das Meereis wie auch für die Wassersäule von Bedeutung sein. Während einer Expedition in die Grönlandsee

### 3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen

(ARK X/1) wurde diese Fragestellung im Rahmen eines weitergefaßten Beprobungsprogrammes bearbeitet. Neben einer Abreicherung der Meersalzkomponenten um bis zu drei Größenordnungen in Schmelzwasserproben konnte eine Anreicherung anthropogen beeinflusster Komponenten im Schnee bzw. im Schneeschmelzwasser nachgewiesen werden.

Bei ersten Untersuchungen des gelösten organischen Materials (DOM) im Eis wurden die chemischen Parameter gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) und Stickstoff (DON) sowie Nährsalze im Zusammenhang mit Chlorophyll als biologische und der Eistextur und dem Salzgehalt als physikalische Kenngrößen bestimmt. Erhöhte DOC- und DON-Werte in Verbindung mit großen Ammoniumkonzentrationen weisen auf erhebliche Remineralisationsprozesse im Eis hin.

In Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der Universität Quebec in Montreal, Kanada, wurden Nematoden aus Meereisproben von der hocharktischen Resolute-Passage untersucht. Bisher wurden fünf Arten identifiziert. Der Erhaltungszustand vieler Nematoden läßt vermuten, daß sie keine günstigen Lebensbedingungen im Eis vorfinden. Es ist nicht bekannt, wo die Nematoden die viermonatige eisfreie Sommerzeit verbringen und wie sie in das wachsende Neueis gelangen. Es wird eine Verschleppung durch schwimmende größere Tiere vermutet (gewisse verwandte Monhysteroidea sind mit Krebsen und Walen assoziiert).

An vier arktischen Eis-Amphipoden wurden Studien zur Populationsdynamik, zur Ernährung und zum Verhalten durchgeführt. Die Krebse können zwei bis sechs Jahre alt werden. Trotz der im Vergleich zu anderen Amphipodenarten relativ hohen individuellen Wachstumsleistung ist das Verhältnis der jährlichen Produktion zur Biomasse eher gering (P/B-Rate von *Gammarus wilkitzkii* = 0,3). Die untersuchten Arten sind Allesfresser, die vor allem abgestorbenes organisches Material nutzen.

### **Meereislebensgemeinschaften**

### 3.12 Kohlenstoffkreislauf

Fragen zum ozeanischen Kohlenstoffkreislauf haben sich in den letzten Jahren zu einem wichtigen Schwerpunktthema am Institut entwickelt. Im Vordergrund stehen hierbei Untersuchungen zur Effektivität der 'biologischen Kohlenstoffpumpe' sowie zu paläozeanographischen und paläoklimatischen Rekonstruktionen. Die Bearbeitung dieser fachübergreifenden Themen erfolgt im Rahmen einer seit 1994 eingerichteten multidisziplinären Arbeitsgruppe.

### 3.12.1 Effizienz der 'biologischen Kohlenstoffpumpe'

Die 'biologische Kohlenstoffpumpe' bezeichnet das Zusammenspiel aller biologischen Prozesse im Meer, die für den Transport von Kohlenstoff aus der Deckschicht in die Tiefe verantwortlich sind. Der Begriff 'Pumpe' weist dabei auf die Tatsache hin, daß der Kohlenstofftransport gegen einen bestehenden  $\text{CO}_2$ -Vertikalgradienten mit höheren Werten im Tiefenwasser geschieht. Die daraus resultierende Untersättigung der Deckschicht an Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) relativ zur Atmosphäre wird durch Lösung von  $\text{CO}_2$  aus der Atmosphäre ausgeglichen. Die Effizienz dieser Pumpe beeinflusst die Menge des im Tiefenwasser und in den Sedimenten gespeicherten Kohlenstoffs und damit indirekt den  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre. Im Rahmen der Arbeiten zum ozeanischen Kohlenstoffkreislauf wurden am Institut eine Reihe von Faktoren untersucht, welche die Effizienz der biologischen Kohlenstoffpumpe wesentlich mitbestimmen.

### Kohlenstoffwerb im Phytoplankton

Bei der photosynthetischen Umwandlung anorganischen Kohlenstoffs in organische Materie, dem ersten Schritt der biologischen Pumpe, richtet sich der Untersuchungsschwerpunkt auf die Fragen, welche Form des anorganischen Kohlenstoffs –  $\text{CO}_2$  oder Bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) – vornehmlich von den Algen genutzt wird und auf welchem Weg die Zellen den Kohlenstoff aufnehmen. Hierzu wurde eine Reihe von Laboruntersuchungen mit repräsentativen Phytoplanktonarten durchgeführt. Dabei hat sich ergeben, daß molekulares  $\text{CO}_2$  die dominante und für die überwiegende Zahl der getesteten Arten einzige Kohlenstoffquelle ist. Bei ausreichendem  $\text{CO}_2$ -Angebot findet die Kohlenstoffaufnahme fast ausschließlich über diffusiven  $\text{CO}_2$ -Transport statt. Nur ein Teil der getesteten Arten war imstande, bei  $\text{CO}_2$ -Mangel durch direkte Nutzung von Bikarbonat oder aktiven Transport von  $\text{CO}_2$  die Kohlenstoffaufnahme zu beschleunigen.

Da molekulares  $\text{CO}_2$  im Meerwasser weniger als 1% des gelösten anorganischen Kohlenstoffs ausmacht und die chemische Umformung von  $\text{HCO}_3^-$  zu  $\text{CO}_2$  eine vergleichsweise langsame Reaktion darstellt, ist die biologische Verfügbarkeit von  $\text{CO}_2$ , trotz der hohen Konzentrationen an Gesamtkohlenstoff im Meerwasser, begrenzt. Unsere weiteren Untersuchungen richteten sich deshalb auf die Rolle des Enzyms Carboanhydrase, welches die rasche Umwandlung zwischen Bikarbonat und  $\text{CO}_2$  katalysiert. Enzymkinetische Abschätzungen und Laborexperimente mit spezifischen Carboanhydrase-Inhibitoren haben allerdings ergeben, daß der Beitrag dieses Enzyms zum  $\text{CO}_2$ -Erwerb gegenüber dem diffusiven Transport von untergeordneter Bedeutung ist und die  $\text{CO}_2$ -Verfügbarkeit nicht wesentlich erhöht.

Das Fazit dieser Untersuchungen ist, daß der  $\text{CO}_2$ -Bedarf einer photosynthetisierenden Algenzelle die Verfügbarkeit von  $\text{CO}_2$  übersteigen und das Zellwachstum somit  $\text{CO}_2$ -limitiert sein kann. Dieses Ergebnis konnte in Modellrechnungen und



### 3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen

durch Labormessungen von Algenwachstumsraten bei unterschiedlichem  $\text{CO}_2$ -Angebot bestätigt werden. Daraus ergeben sich Konsequenzen für die Effizienz der photosynthetischen Kohlenstofffixierung: die Fixierungsrate ist abhängig vom  $\text{CO}_2$ -Partialdruck. Dieser unterliegt in geologischen Zeiträumen bekanntlich erheblichen Schwankungen, z. B. im Wechsel von Glazial- zu Interglazialzeiten, und hat, anthropogen bedingt, seit Beginn der Industrialisierung stetig zugenommen. Ob und in welchem Ausmaß diese Abhängigkeit zwischen Algenwachstum und  $\text{CO}_2$ -Angebot Einfluß auf die ozeanische Primärproduktion insgesamt und damit letztlich auf die Effizienz der biologischen Kohlenstoffpumpe hat, ist Gegenstand gegenwärtiger Untersuchungen.

Fragen zum Kohlenstoffwerb von in Laugenkanälen und Infiltrationsschichten des polaren Meereises lebenden Eisalgen wurden in enger Kooperation mit der Meereisgruppe bearbeitet (siehe auch Kapitel 2: Zur Ökologie des sommerlichen Meereises: Das Wachstum von Eisdiatomeen bei geringen Kohlendioxid-Konzentrationen).

In einer theoretischen Arbeit wurde der Frage nachgegangen, welchen Einfluß die Form einer Algenzelle in einer turbulenten Umgebung, wie es die ozeanische Deckschicht darstellt, auf die Nährstoffversorgung (inklusive Kohlenstoff) hat. Auf der Größenskala typischer Planktonalgen äußert sich die Turbulenz als laminares Scherfeld. Dabei unterscheidet sich das aus der Scherung resultierende Strömungsfeld um eine Zellkette oder langgestreckte Zelle wesentlich von dem um eine kugelförmige Einzelzelle. Deutlich höhere Strömungsgeschwindigkeiten an der Oberfläche langgestreckter Formen haben auch eine erhöhte Nährstoffzufuhr zur Folge. Die Ergebnisse dieser Untersuchung fließen in die kleinskaligen Modelle zum Kohlenstoffwerb (s.o.) und zur  $^{13}\text{C}$ -Fraktionierung von Phytoplankton ein (s.w.u.).

Ein bis heute noch nicht untersuchter möglicher Einfluß von Änderungen im  $\text{CO}_2$ -Partialdruck auf das Plankton bezieht sich auf das bisher als konstant angenommene Redfield-Verhältnis, welches ein Maß für die elementare Zusammensetzung der organischen Materie im Phytoplankton darstellt (insbesondere C/N/P). Die Tatsache, daß  $\text{CO}_2$  unter bestimmten Umständen wachstumslimitierend für Phytoplankton sein kann, gibt Anlaß dazu, auch eine mögliche Abhängigkeit des Redfield-Verhältnisses vom  $\text{CO}_2$ -Angebot zu vermuten. Modellsimulationen zeigen, daß bereits geringfügige Veränderungen im Redfield-Verhältnis starke Auswirkungen auf die Effizienz der 'biologischen Pumpe' und damit auf den  $\text{CO}_2$ -Austausch zwischen Ozean und Atmosphäre haben.

Erste Laborexperimente deuten darauf hin, daß das C/P-Verhältnis bestimmter Kieselalgen bei  $\text{CO}_2$ -Limitierung stark abnehmen kann, während sich das C/N-Verhält-

**Redfield-Verhältnis:  
Abhängigkeit von  
 $p\text{CO}_2$**

nis nur geringfügig ändert. Das Phytoplankton würde demzufolge heute mehr  $\text{CO}_2$  pro Einheit des Nährsalzes Phosphat fixieren als während der letzten Eiszeit, als der  $\text{CO}_2$ -Partialdruck deutlich niedriger lag. Eine derartige Abhängigkeit des Redfield-Verhältnisses vom  $\text{CO}_2$ -Angebot würde damit als negative Rückkopplung bei Schwankungen des atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Gehaltes fungieren: Erhöhte  $\text{CO}_2$ -Gehalte würden eine Erhöhung des Redfield-Verhältnisses nach sich ziehen und damit die Effizienz der biologischen Kohlenstoffpumpe erhöhen und umgekehrt.

### 3.12.2 Rekonstruktion des $\text{CO}_2$ -Partialdrucks vergängerer Epochen (Paläobarometer)

Die Erstellung eines Paläobarometers beruht darauf, daß das Verhältnis der stabilen Kohlenstoffisotope  $^{12}\text{C}$  und  $^{13}\text{C}$  in photosynthetisch gebildeter organischer Materie ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ ) mit dem  $\text{CO}_2$ -Gehalt des Meerwassers korreliert ist, in dem es synthetisiert wurde. Da photosynthetische Kohlenstofffixierung ausschließlich in der lichtdurchfluteten Deckschicht der Ozeane stattfindet, also in einer Zone, die im direkten Gasaustausch mit der Atmosphäre steht, schlagen sich Änderungen im atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Gehalt auch auf das  $\delta^{13}\text{C}$ -Verhältnis der primär produzierten organischen Materie nieder. Durch Ablagerung eines Teils dieser Materie in Tiefseesedimenten wird das im Oberflächenwasser entstandene Signal dauerhaft konserviert. Aus Messungen des  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ -Wertes in Sedimentkernen der Tiefsee läßt sich somit der Paläo- $\text{CO}_2$ -Gehalt in der ozeanischen Deckschicht und – mit gewissen Einschränkungen – in der mit ihr im Austausch stehenden Atmosphäre rekonstruieren. Da die Akkumulation des organischen Materials in Tiefseesedimenten über viele Millionen Jahre verfolgt werden kann, ist eine Rekonstruktion des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes weit über den aus Eiskernen gewonnenen Zeitrahmen hinaus möglich.

Im Gegensatz zu dem aus Gaseinschlüssen in polaren Eiskernen bestimmten  $\text{CO}_2$ -Partialdruck in der Atmosphäre ( $p\text{CO}_2$ ), der aufgrund der kurzen Durchmischungsdauer der Atmosphäre als globales Signal betrachtet werden kann, handelt es sich bei den über das Paläobarometer ermittelten  $\text{CO}_2$ -Partialdrücken in der ozeanischen Deckschicht ( $P\text{CO}_2$ ) um lokale Werte. Durch einen direkten Vergleich dieser beiden Werte läßt sich deshalb auf Abweichungen vom Gleichgewichtszustand zwischen Ozean und Atmosphäre schließen. Dadurch können Meeresgebiete als  $\text{CO}_2$ -Quellen (Ausgasen von  $\text{CO}_2$ ) bzw.  $\text{CO}_2$ -Senken (Aufnahme von  $\text{CO}_2$  aus der Atmosphäre) identifiziert werden. Da  $p\text{CO}_2$ -Bestimmungen aus Eisbohrkernen nur für die letzten ca. 200.000 Jahre möglich sind, können derartige Vergleiche nur für diesen Zeitraum angestellt werden.

Für die Anwendung des Paläobarometers ist das  $\delta^{13}\text{C}$ -Signal des organischen Materials allerdings nur einer von zwei erforderlichen Parametern. Ebenso wichtig ist es, den  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert des für die Bildung organischer Materie genutzten anorganischen

Kohlenstoffs zu kennen. Dieser Wert kann aus der isotopischen Zusammensetzung der Kalzitgehäuse von in der Deckschicht lebenden planktischen Foraminiferen abgeleitet werden. Erst durch Kombination dieser beiden Parameter läßt sich, wie in Abb. 1 schematisch dargestellt, der dazugehörige  $\text{CO}_2$ -Gehalt rekonstruieren. Um einen Beitrag zur Entwicklung und Eichung des Paläobarometers zu leisten, wurden am AWI Untersuchungen zum Einbau der stabilen Kohlenstoffisotope  $^{12}\text{C}$  und  $^{13}\text{C}$  bei der Bildung organischer Materie im Phytoplankton wie auch bei der Bildung der Kalzitgehäuse planktischer Foraminiferen unternommen. Parallel dazu wurden die aus diesen Arbeiten gewonnenen Erkenntnisse dazu genutzt, mit Hilfe eines gekoppelten Kohlenstoff-Ozeanzirkulationsmodells die ozeanweite  $\delta^{13}\text{C}$ -Verteilung zu simulieren und mit den bisher zur Verfügung stehenden Feldmessungen zu vergleichen.

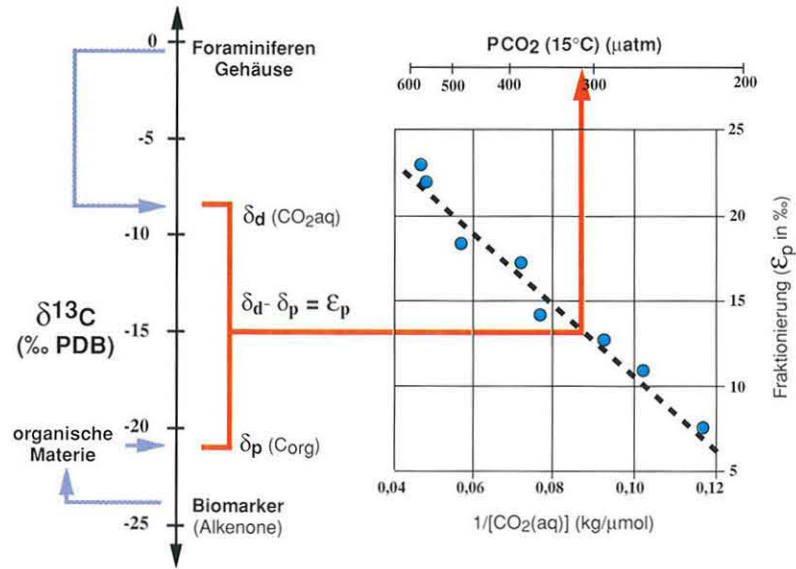


Abb. 1: Prinzip des „Paläobarometers“: Die zentrale Größe bei dieser Methode zur Rekonstruktion des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes vergangener Epochen ist die photosynthetische Fraktionierung der stabilen Kohlenstoffisotope  $\epsilon_p$ , welche die Berechnung der  $\text{CO}_2$ -Konzentration und – unter Zuhilfenahme der Temperatur – des  $\text{CO}_2$ -Partialdruckes im Wasser erlaubt.  $\epsilon_p$  ergibt sich aus der Differenz der isotopischen Zusammensetzung  $\delta_d$  des  $\text{CO}_2(\text{aq})$ , das die Kohlenstoffquelle darstellt, und der Zusammensetzung  $\delta_p$  des organischen Materials im Phytoplankton. Da  $\delta_d$  für vergangene Zeiten nicht gemessen werden kann, wird dieser Wert aus dem  $\delta^{13}\text{C}$  der Kalzitschalen von Foraminiferen bestimmt. Auch  $\delta_p$  kann im allgemeinen nicht direkt gemessen werden, da das organische Material der Sedimente teilweise größere Beimengungen an terrigenem Material besitzt. Es ist daher vorzuziehen, die isotopische Zusammensetzung bestimmter Biomarker (z. B. Alkenone) zu messen und daraus auf  $\delta_p$  rückzuschließen.

**<sup>13</sup>C-Fraktionierung im  
marinen  
Phytoplankton**

Bei der Bildung organischer Materie bevorzugt das Phytoplankton das leichtere Kohlenstoffisotop <sup>12</sup>C. Unter der Voraussetzung, daß molekular gelöstes CO<sub>2</sub> die Hauptkohlenstoffquelle darstellt (siehe 3.12.1), ist der Grad dieser Fraktionierung u.a. abhängig vom CO<sub>2</sub>-Angebot. Je größer das Angebot, um so mehr meiden die Algen das schwere <sup>13</sup>C. Zunächst wurde versucht, diese Beziehung in einem theoretischen Modell quantitativ zu beschreiben. Das Modell erlaubt eine Vorhersage der <sup>13</sup>C-Fraktionierung in Abhängigkeit von der CO<sub>2</sub>-Konzentration, von der Zellgröße, der Zellwachstumsrate, der Permeabilität der Zellmembran und einiger anderer biotischer und abiotischer Parameter. Ein Vergleich von Modellvorhersagen mit Messungen des δ<sup>13</sup>C-Wertes partikulären organischen Kohlenstoffs (δ<sup>13</sup>C<sub>POC</sub>) im Oberflächenwasser zeigt, daß das Modell den beobachteten Trend der Beziehung zwischen δ<sup>13</sup>C<sub>POC</sub> und der CO<sub>2</sub>-Konzentration sehr gut wiedergibt, daß es allerdings sehr sensibel auf Veränderungen einiger Modellparameter reagiert.

Zur Überprüfung des Modells wurden Laborexperimente mit monospezifischen Phytoplanktonkulturen durchgeführt, bei denen sämtliche in das Modell eingehende Parameter vorgegeben bzw. gemessen wurden. Die vom Modell vorhergesagte Abhängigkeit der <sup>13</sup>C-Fraktionierung von der CO<sub>2</sub>-Konzentration des umgebenden Meerwassers konnte für zwei Kieselalgenarten bestätigt werden. Untersuchungen unter Verwendung anderer experimenteller Ansätze und mit weiteren Arten werden zur Zeit durchgeführt. Die bisher erzielten Ergebnisse können als Bestätigung des Modells und damit auch für die Anwendbarkeit des „Paläobarometers“ gewertet werden.

**Anwendung des  
Fraktionierungsmodells**

Das oben beschriebene <sup>13</sup>C-Fraktionierungsmodell wurde in ein vom Hamburger Max-Planck-Institut für Meteorologie entwickeltes, gekoppeltes Kohlenstoff-Ozeanzirkulationsmodell (HAMOCC 3) implantiert. Ziel dieser Arbeiten ist es, die ozeanweite δ<sup>13</sup>C-Verteilung im gelösten anorganischen Kohlenstoff (DIC) und partikulären organischen Kohlenstoff (POC) zu simulieren. Die aus dem Modell resultierende Verteilung im δ<sup>13</sup>C<sub>DIC</sub> und δ<sup>13</sup>C<sub>POC</sub> (Abb. 2) wurde mit Feldmessungen verglichen.

Dabei ergab sich eine generell gute Übereinstimmung in den großräumigen horizontalen und vertikalen Verteilungsmustern von δ<sup>13</sup>C<sub>DIC</sub> und δ<sup>13</sup>C<sub>POC</sub>. Kleinräumig traten teilweise allerdings merkliche Abweichungen zwischen Modellvorhersage und den vorliegenden Feldmessungen auf. So konnte die beobachtete Asymmetrie im δ<sup>13</sup>C<sub>POC</sub> zwischen der Nord- und Südhemisphäre, gekennzeichnet durch deutlich negativere Werte in den südlichen gegenüber den nördlichen Polargebieten, vom Modell nicht reproduziert werden. Eine detaillierte Interpretation der erhaltenen Abweichungen ist aufgrund der geringen Datenmenge bei den Feldmessungen zum gegenwärtigen Zeitpunkt allerdings nur eingeschränkt möglich. Aus diesen Untersu-

chungen lassen sich jedoch zahlreiche Hypothesen ableiten, die als Basis für zukünftige Meßprogramme genutzt werden sollen.

### **<sup>13</sup>C- und <sup>18</sup>O-Fraktionierung in planktischen Foraminiferen**

Foraminiferen sind winzige, den Amöben verwandte, marine Organismen. Die Kalkschalen planktischer Foraminiferen sind die wichtigsten Informationsträger für die Klimarekonstruktion vergangener Epochen. Aus dem Sauerstoffisotopenverhältnis ( $\delta^{18}\text{O}$ ) läßt sich z. B. die Paläotemperatur der Meere ableiten, im Borisotopenwert ( $\delta^{11}\text{B}$ ) liegt der Paläo-pH-Wert verschlüsselt und im  $\delta^{13}\text{C}$  der Kalkschalen ist das für das Paläobarometer benötigte Isotopenverhältnis des gelösten anorganischen Kohlenstoffs gespeichert.

Diese „Tracer“ werden aber nicht direkt proportional zum Ausgangssignal im Gehäuse eingebaut, sondern durch Fraktionierungsprozesse bei der Kalzitbildung gegenüber diesem etwas verschoben. Der Grad dieser Verschiebung hängt u.a. von dem Karbonatsystem des Meeres ab und weist zudem artspezifische Unterschiede auf. Diese sog. 'Vitaleffekte' wurden in kontrollierten Laborexperimenten an der symbiontenträgenden Art *Orbulina universa* und der symbiontenfreien Art *Globigerina bulloides* untersucht.

In Kulturexperimenten konnte gezeigt werden, daß unter eiszeitlichen  $\text{CO}_2$ -Bedingungen ( $\text{pCO}_2=180 \mu\text{atm}$ ) gehälterte Foraminiferen 0,5 ‰ (*O. universa*) bis 1 ‰ (*G. bulloides*) leichtere  $\delta^{13}\text{C}$  Werte aufweisen als solche, die unter warmzeitlichen Bedingungen ( $\text{pCO}_2=280 \mu\text{atm}$ ) wuchsen (Abb. 3a). Auch für das  $\delta^{18}\text{O}$ -Signal zeigen unsere Resultate eine Reduktion um 0,15 ‰ (*O. universa*) bzw. 0,30 ‰ (*G. bulloides*) für das Glazial im Vergleich zum Interglazial (Abb. 3b). Unter heutigen Bedingungen ( $\text{pCO}_2=360 \mu\text{atm}$ ) gehälterte Foraminiferen weisen eine entsprechend schwerere isotopische Zusammensetzung auf.

Effekte dieser Größenordnung sind von beträchtlicher Bedeutung für paläozeanographische und paläoklimatische Rekonstruktionen. Eine Änderung im  $\delta^{18}\text{O}$  um 1 ‰

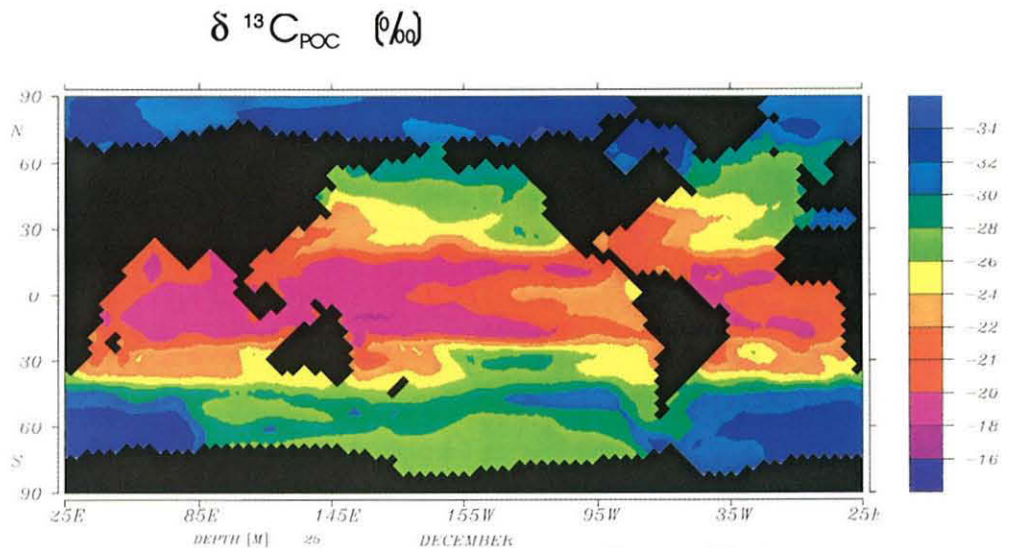
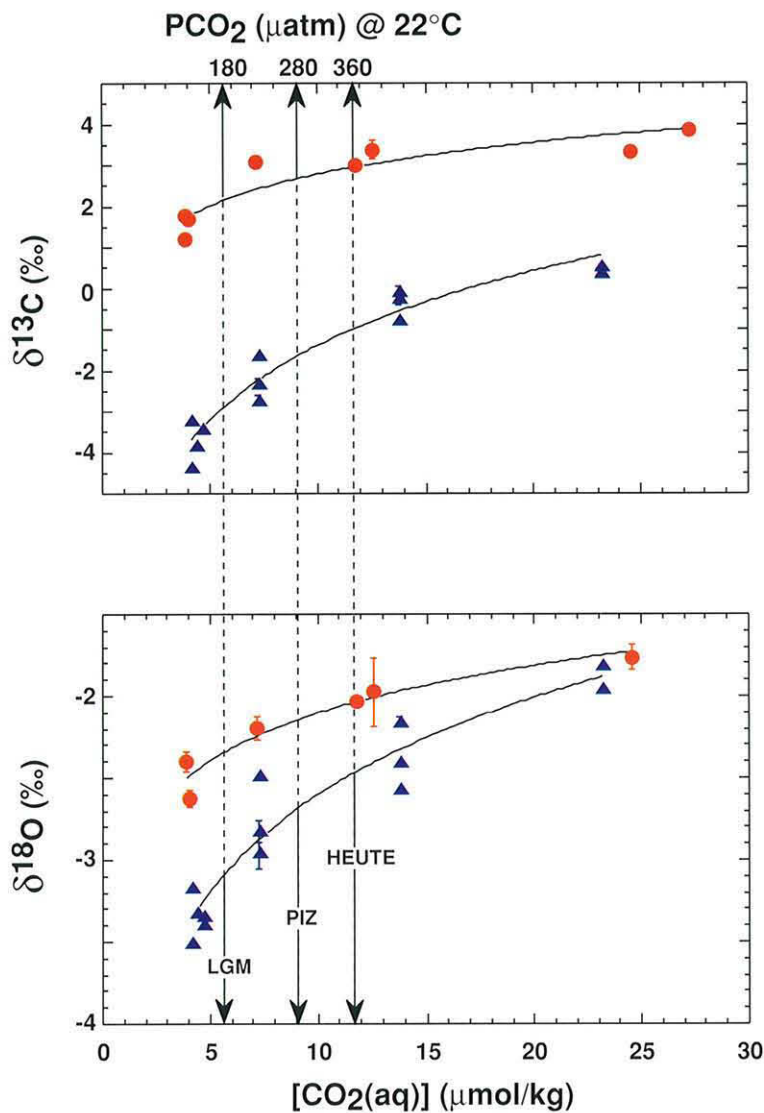


Abb. 2: Modellvorhersage der ozeanweiten  $\delta^{13}\text{C}$ -Verteilung des partikulären organischen Kohlenstoffs im Oberflächenwasser, ermittelt durch Kombination eines gekoppelten Kohlenstoff-Ozeanzirkulationsmodells mit einem  $^{13}\text{C}$ -Fraktionierungsmodell.



entspricht beispielsweise einer Änderung in der Temperatur um  $4^\circ\text{C}$ . Da die oben beschriebene Beziehung zwischen isotopischer Zusammensetzung und dem Karbonatsystem in Paläorekonstruktionen bisher unberücksichtigt blieb, ist zu vermuten, daß über das  $\delta^{18}\text{O}$  ermittelte Paläotemperaturen des glazialen Oberflächenwassers grundsätzlich überschätzt wurden. Auch die zum Ende des letzten Glazials beobachtete Veränderung des  $\delta^{13}\text{C}$ -Wertes ist demzufolge nicht notwendigerweise, wie bisher angenommen, auf einen erhöhten Eintrag terrigenen Kohlenstoffs in die Ozeane zurückzuführen, sondern kann ihre Ursache in der Verschiebung im Karbonatsystem der Ozeane haben, wie sie mit der Änderung des  $\text{CO}_2$ -Partialdruckes einhergeht.

Um die Mechanismen der  $\delta^{13}\text{C}$ -Fraktionierung besser zu verstehen, muß zuerst der Einfluß der biologischen Prozesse auf das lokale Karbonatsystem

Abb. 3: Zusammensetzung der stabilen Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope in Gehäusen von *Orbulina universa* (rote Symbole) und *Globigerina bulloides* (blaue Symbole) in Abhängigkeit von der  $\text{CO}_2$ -Konzentration. Die mit Pfeilen gekennzeichneten Konzentrationen ergeben sich bei Gleichgewicht mit atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Partialdrücken (bei  $22^\circ\text{C}$ ), wie sie zur Zeit des letzten glazialen Maximums (LGM) und in präindustrieller Zeit (PIZ) geherrscht haben bzw. heute herrschen.

### 3. Berichte der wissenschaftlichen Arbeitsgruppen

untersucht werden. Das Karbonatsystem in der direkten Umgebung der Foraminiferenzelle wird durch die photosynthetische  $\text{CO}_2$ -Aufnahme der Symbionten, die respiratorische  $\text{CO}_2$ -Abgabe der Symbionten und der Foraminifere selbst, sowie durch die bei der Schalenbildung stattfindende Kalzifikation bestimmt. Als erster Schritt zum besseren Verständnis der Isotopenfraktionierung wurde ein Diffusions-Reaktions-Modell entwickelt, welches diese Prozesse auf den Skalen einer einzelnen Foraminifere beschreibt.

Die für das Modell benötigten Parameter, Respirations- und Kalzifikationsraten der Foraminifere sowie Photosyntheseraten der Symbionten, wurden im Labor gemessen. Die Kalzifikationsrate für *O. universa* wurde mit stabilen Kalziumisotopen ( $^{48}\text{Ca}$ ) ermittelt. Zur Bestimmung der Photosynthese- und Respirationsraten wurden  $\text{O}_2$ -Mikroelektroden eingesetzt. Auf der Basis der so gewonnenen Stoffumsatzraten wurde es möglich, das Diffusions-Reaktions-Modell zu betreiben. Zur Überprüfung der Modellergebnisse wurde mit Hilfe einer pH-Mikroelektrode das pH-Profil von der Gehäusewand bis ins umgebende Medium gemessen und mit Modellvorhersagen verglichen. Dabei wurde eine gute Übereinstimmung zwischen modellierten und gemessenen pH-Profilen festgestellt.

Durch das Verständnis der Wechselwirkung zwischen Vitaleffekten und dem Karbonatsystem ist es nun möglich, mit Hilfe des Diffusions-Reaktions-Modells auch die Fraktionierung der Kohlenstoffisotope zu untersuchen. Durch Lösen der Modellgleichungen für  $^{12}\text{C}$  und  $^{13}\text{C}$  soll das Modell letztlich die Abhängigkeit der Fraktionierung vom Karbonatsystem verstehen helfen.

Der eigentliche Zweck des Paläobarometers ist es, aus  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ -Messungen in Sedimentkernen den  $\text{CO}_2$ -Partialdruck vergangener Epochen zu rekonstruieren. Zur Eichung des Paläobarometers bieten sich Eisbohrkerne an, die Informationen über den atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Gehalt der letzten 200.000 Jahre enthalten. Ausgehend von diesen Werten kann unter Berücksichtigung der temperaturabhängigen  $\text{CO}_2$ -Löslichkeit in Meerwasser und der  $^{13}\text{C}$ -Fraktionierung bei der Bildung organischer Materie eine Vorhersage der  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ -Werte über diesen Zeitraum getroffen werden. Diese können dann zu in Sedimentkernen gemessenen  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ -Werten in Beziehung gebracht werden (Abb. 4). Obgleich bei dem hier gezeigten Beispiel Abweichungen zwischen Modellvorhersage und den gemessenen Werten auftreten, wurden die grundsätzlichen Trends vom Modell reproduziert. Die gute Übereinstimmung der Absolutwerte ist insofern überraschend, weil die Modellberechnungen auf den bisher noch relativ spärlichen Informationen zur  $^{13}\text{C}$ -Fraktionierung im Phytoplankton (s.o.) beruhen.

### Eichung des Paläobarometers

Die Verwendung von  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  in Sedimenten für Paläorekonstruktionen birgt eine grundsätzliche Unsicherheit dadurch, daß zusätzlich zu dem in der Deckschicht produzierten  $\text{C}_{\text{org}}$  auch organisches Material terrigenen Ursprungs in die

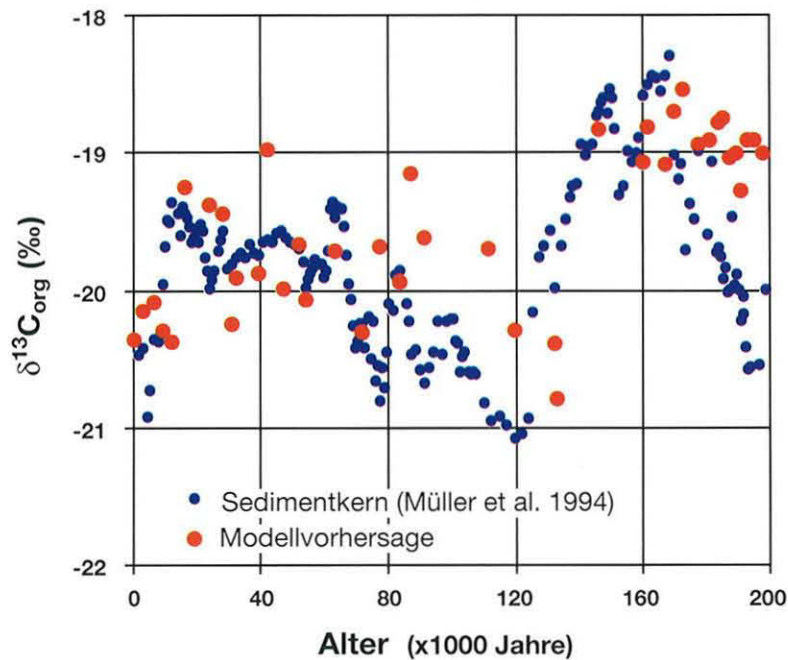


Abb. 4: Vergleich von Modellvorhersage und Messungen des  $\delta^{13}\text{C}$ -Wertes im organischen Material für einen Sedimentkern aus dem Angola-Becken über die letzten 200.000 Jahre (Daten aus Müller et al. 1994).

Sedimente eingetragen werden kann. Eine weitere Ungenauigkeit entsteht durch Fraktionierungsprozesse während des Abbaus von organischer Substanz. Um diesen Ungenauigkeiten zu begegnen, wurde damit begonnen, das  $\delta^{13}\text{C}$  in sogenannten Biomarkern, organismenspezifischen und in ihrer Struktur bekannten Stoffgruppen, zu verwenden. Eine für diesen Zweck geeignete Stoffgruppe sind die Alkane, eine Gruppe von langkettigen Kohlenstoffverbindungen. Alkane werden nach bisherigen Erkenntnissen ausschließlich von Coccolithophoriden gebildet, einer im Meer weit verbreiteten Algengruppe, welche ausgedehnte Phytoplanktonblüten ausbildet. Unsere Untersuchungen hierzu konzentrieren sich gegenwärtig auf die Fragen, ob die bisher nur für Kieselalgen ermittelte Abhängigkeit zwischen  $^{13}\text{C}$ -Fraktionierung und der  $\text{CO}_2$ -Konzentration gleichermaßen auch für Coccolithophoriden gilt und inwieweit sich diese Abhängigkeit in den Alkanen in gleicher Weise wie im gesamten organischen Kohlenstoff abbildet. Die Bearbeitung dieser Fragen wird in Laborexperimenten und an hochaufgelösten Sedimenten aus dem Santa Barbara Becken geschehen.



## 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

### 4.1 Forschungsschiff „Polarstern“

#### **Antarktisexpedition ANT XI/3, Punta Arenas - Kapstadt**

Der Fahrtabschnitt ANT XI/3, unter der Fahrtleitung von Prof. Dr. Heinz Miller, begann am 14.1.1994 in Punta Arenas und endete am 25.3.1994 in Kapstadt. Zum ersten Male operierte „Polarstern“ mit einem multidisziplinären – im wesentlichen geowissenschaftlichen – Forschungsprogramm im Amundsen- und Bellingshausenmeer im pazifischen Sektor der westlichen Antarktis (Abb. 1).

Das marine Forschungsprogramm hatte seinen Schwerpunkt in mehreren geophysikalischen Meßprofilen über den Kontinentalrand von Bellingshausen- und Amundsenmeer. In Abhängigkeit von der Eissituation wurden gravimetrische, magnetische und seismische Messungen durchgeführt, um die Strukturen der Erdkruste und ihrer sedimentären Bedeckung aufzulösen und so einen Beitrag zur Bestimmung der geologischen Entwicklung wie auch zur Rekonstruktion der Klimageschichte zu leisten (siehe auch Kapitel 2: Die Plattentektonik des

#### 4.1.1 Elfte Antarktis- expedition der „Polarstern“ (Januar - Juni 1994)

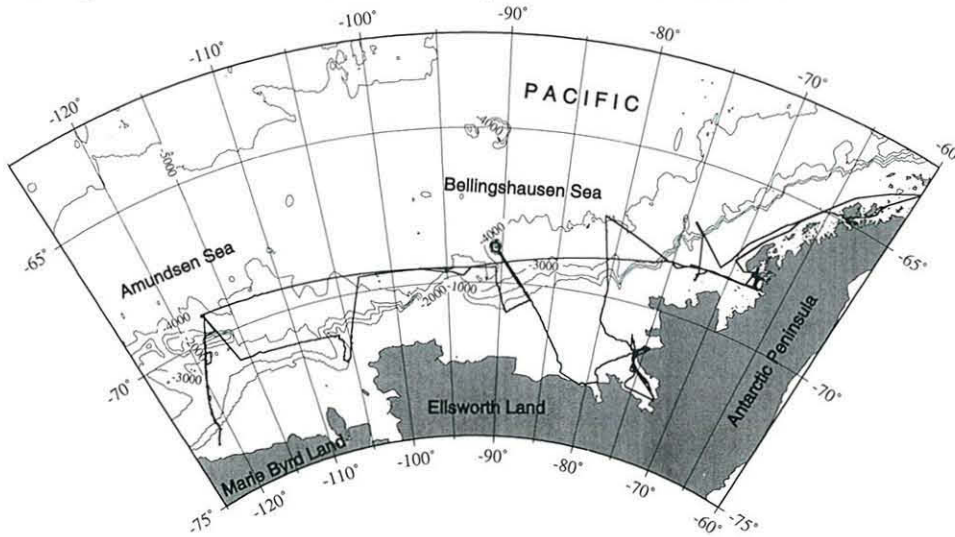


Abb. 1: Polarstern-Expedition ANT XI/3. Zum ersten Male operierte „Polarstern“ im pazifischen Sektor der westlichen Antarktis: im Amundsen- und Bellingshausenmeer.

Bellingshausenmeeres). Diese geophysikalischen Arbeiten lieferten einen wichtigen Beitrag zum Projekt „Antarctic Lithosphere“ (ANTALITH).

Im Rahmen der marin-geologischen Arbeiten wurden die oberflächennahen Sedimente beprobt und Kernmaterial für die Untersuchung der jüngsten Klimageschichte gewonnen. Die Daten über die oberflächennahen sedimentären Stockwerke wurden durch sedimentechographische Untersuchungen mit Hilfe des Parascound-Systems ergänzt, die Informationen über die tieferen Bereiche der Sedimente lieferten. Die Untersuchungen des sedimentären Untergrundes wurden durch kontinuierliche Messungen mit dem Fächercholot Hydrosweep vervollständigt. In ausgewählten Gebieten wurden mit Hydrosweep flächendeckende Messungen durchgeführt.

Untersuchungen des Meereises mit Hilfe geophysikalischer Verfahren dienten der Kontrolle von ERS-1-Altimeter- und Radarbilddaten. Sie lieferten gemeinsam mit den verfügbaren Satellitenfernerkundungsdaten ein abgerundetes Bild der kinematischen und dynamischen Veränderung des Meereises. Gleichzeitig wurden Studien zu den optischen Eigenschaften des Meereises durchgeführt, um die Licht- und Energiebilanz sowie ihre Bedeutung für Lebensgemeinschaften in und unter dem Meereis quantitativ abzuschätzen.

Die biologischen Arbeiten dienten einem ersten Überblick, da diese Gebiete bisher noch nicht von Biologen erforscht worden waren. Die Verbreitung der benthischen und neritischen Arten und ihre Ökologie sollten untersucht werden. Die spektralen Eigenschaften des Unterwasser-Strahlungsfeldes und ihre Beeinflussung durch das Phytonplankton wurden mittels Spektradiometer erfaßt. Spezielle Studien waren dem Krill und den Copepoden gewidmet.

Die Rückreise nach Kapstadt wurde für weitere profilierende geophysikalische Messungen genutzt. Dabei wurden in ausgesuchten Gebieten im Bereich des antarktischen Frontensystems Erkundungsarbeiten für künftige Bohrungen des „Ocean Drilling Program“ (ODP) durchgeführt.

#### ***Antarktisexpedition ANT XI/4, Kapstadt - Kapstadt***

Dieser Fahrtabschnitt führte in der Zeit vom 29.3. bis 19.5. 1994 unter der Fahrtleitung von Dr. Gerhard Kuhn von Kapstadt aus zu maringeologischen Untersuchungen in den atlantisch-indischen Sektor des Südpolarmeeres (Abb. 2). Der Expeditionsverlauf mußte mehrfach ad hoc angepaßt werden: ein Krankheitsfall erzwang nach sieben Tagen eine Unterbrechung der Forschungsarbeiten und die

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

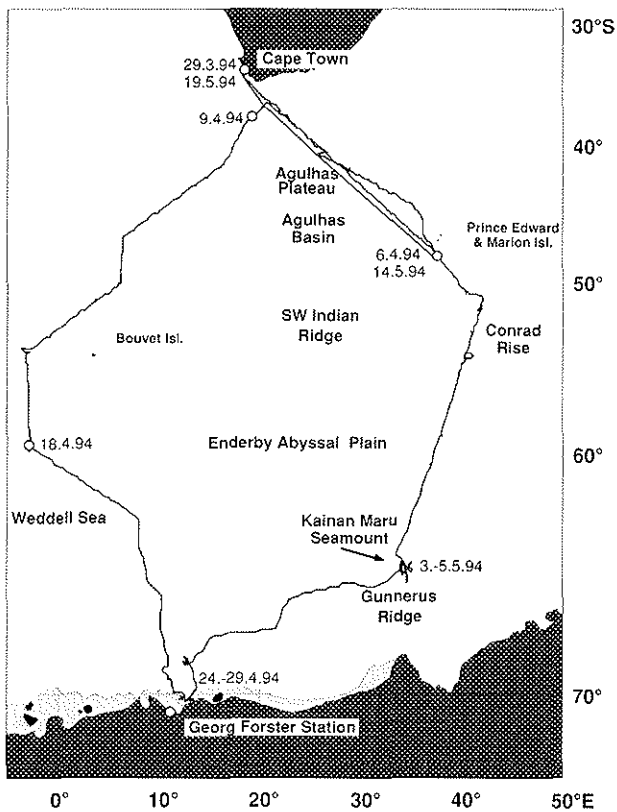


Abb. 2: Die Antarktisexpe-  
dition ANT XI/4 führte „Polar-  
stern“ zu marin-geologischen  
Untersuchungen in den atlant-  
isch-indischen Sektor des  
Südpolarmeeres.

aufgezeichnet werden, die durch Sedimentsetzung, Zonen mit Fluidaufstiegen und durch Tiefseespalten gekennzeichnet sind. Der Schnitt zwischen Kainan-Marus-Seamount und Conrad Rise wurde auf einem Satelliten-Subtrack des ERS-1 gefahren, um die großflächigen altimetrischen Satellitenmessungen mit den bathymetrischen und gravimetrischen Schiffsmessungen vergleichen und eichen zu können.

Rückfahrt nach Kapstadt. Später waren die logisti-  
schen Arbeiten bei der Forster-Station wegen ungün-  
stiger Eisverhältnisse an der Schelfeiskante sehr  
behindert, so daß das bei den Entsorgungsarbeiten  
angefallene Material nicht geladen werden konnte.  
Die Übernahme von vier Personen für die Rückreise  
nach Kapstadt gelang nur mit Hilfe der Hubschrauber  
des russischen Schiffes „Somov“.

Auf zwei Profilschnitten zwischen Afrika und der  
Antarktis wurden Oberflächensedimente und Sedi-  
mentkerne für mikropaläontologische, geochemische,  
isotopengeologische, sedimentologische und sedi-  
mentphysikalische Untersuchungen gewonnen. Sehr  
lange, zeitlich hoch aufgelöste Sedimentkerne wur-  
den auf dem Conrad Rise gewonnen, der mit mächtigen  
kieseligen Sedimenten bedeckt ist, die für die  
Region südlich der Polarfront typisch sind. Im Bereich  
des Kainan-Marus-Seamounts gut aufgeschlossene  
ältere, tertiäre Schichten konnten erfolgreich beprobt  
werden. Von diesen Sedimentproben werden Auf-  
schlüsse über die ältere Vereisungsgeschichte der  
Antarktis erwartet.

Sedimentechographische (Parasound) und bathy-  
metrische (Hydrosweep) Messungen wurden auf allen  
Dampfstrecken durchgeführt. Im nördlichen Wed-  
dellmeer-Becken konnten dabei interessante, für  
Tiefseebecken unerwartet kleinräumige Strukturen

Untersuchungen an der Grenzfläche Meer/Meeresboden, in der Wassersäule, an der Grenzschicht Atmosphäre/Ozean und Arbeiten zur Fernerkundung von Meereisverbreitung und Drift vervollständigten das wissenschaftliche Programm. Im Bereich des Agulhas-Wirbels wurden Driftbojen ausgesetzt. An Langzeitstationen westlich von Bouvet Island wurden Langzeitverankerungen mit Strommessern und Sedimentfallen zur Messung des jährlichen Partikelflusses aufgenommen und neue ausgebracht. Diese Stationsarbeiten wurden durch hydrographische Meßprofile ergänzt, die Informationen über die aktuelle Wassermassenverteilung lieferten.

**Antarktisexpedition  
ANT XI/5, Kapstadt -  
Bremerhaven**

Auf dem fünften Fahrtabschnitt der 11. Antarktisexpedition, der Heimreise von Kapstadt nach Bremerhaven (21. 5. bis 17. 6. 1994, Fahrtleitung Prof. Dr. Otto Schrems), wurde „Polarstern“ auf einer langen atlantischen Süd-Nord- Traverse wieder als mobiles Observatorium für die Untersuchung großskaliger Prozesse in Atmosphäre und Ozean genutzt.

Bei diesen Untersuchungen lag das Hauptinteresse auf Profilen der stratosphärischen Ozonkonzentration sowie der Bestimmung der Gehalte atmosphärischer Spurengase. Täglich wurden Ballone mit Ozon- und Radiosonden gestartet, die Ozonprofile bis in Höhen von ca. 35 km lieferten. Ferner wurden erstmals von einem Schiff aus erfolgreich Messungen mit einem FTIR-Spektrometer zur Bestimmung von Spurengasen in der Troposphäre und Stratosphäre durchgeführt. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Untersuchung ausgewählter Spurenstoffe in der marinen Troposphäre. Hierfür wurden sowohl Proben gesammelt als auch Messungen an Bord durchgeführt. Die Verteilung von natürlichen und anthropogenen Spurenstoffen über die Süd- und Nordhemisphäre sowie Austauschprozesse an der Grenzfläche Luft/Meerwasser wurden bestimmt. Es wurden Kohlendioxid, Ozon, Aerosole, Rußpartikel, Carbonylsulfid, halogenierte Verbindungen, organische Nitrate und polyzyklische Aromate (PAH's) gemessen.

Die Untersuchungen von Spurenstoffen im Meerwasser konzentrierten sich auf Chlorophyll, chlorierte Cyclohexane, Benzole, Anisole und Biphenyle. In der innertropischen Konvergenzzone (ITCZ) wurden Regenwasserproben gesammelt, aus denen in den Heimatlabors der Gehalt an organischen Spurenstoffen und Spurenmetallen bestimmt wurde.

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

##### **Arktisexpedition ARK X/1, Bremerhaven - Tromsø**

Der erste Fahrtabschnitt der zehnten Arktisexpedition der „Polarstern“ führte unter der Leitung von Dr. Eberhard Fahrbach vom 6.7. bis 15.8.1994 mit einem multidisziplinären Forschungsprogramm in die Framstraße und in die Grönlandsee.

Die Arbeiten hatten ihren Schwerpunkt am ostgrönländischen Kontinentalhang bei 75°N. Dort wurden – mit starker Beteiligung des Sonderforschungsbereich 313 der Universität Kiel – acht umfangreiche biologische Stationen ausgeführt, die einen hangnormalen Schnitt zwischen 2.800 und 200 m Tiefe und einen hangparallelen Schnitt bei 800 m Tiefe umfaßten. Auf diesen Stationen wurde die Wassersäule mittels der CTD-Sonde mit Kranzwasserschöpfer, Multi-, Ring- und Planktonnetz beprobt. Fotoschaukel, Bodenwasserschöpfer und Großkastengreifer, Agassiztrawl und Epibenthoschlitten wurden zur Benthos- und Sedimentuntersuchung eingesetzt.

Ziel dieser multidisziplinären Arbeiten in der Grönlandsee ist das vertiefte Verständnis der physikalischen, chemischen, biologischen und geologischen Bedingungen und Prozesse in diesem Seegebiet, welche wesentlich durch den Eisrand und den Kontinentalhang bestimmt werden. Es ging zum einen darum, das heutige Ökosystem zu beschreiben. Zum anderen sollten aus den Sedimenten Informationen über frühere Bedingungen abgeleitet werden. Die biologischen Projekte befaßten sich mit dem Leben im Meereis, in der Wassersäule und am Meeresboden.

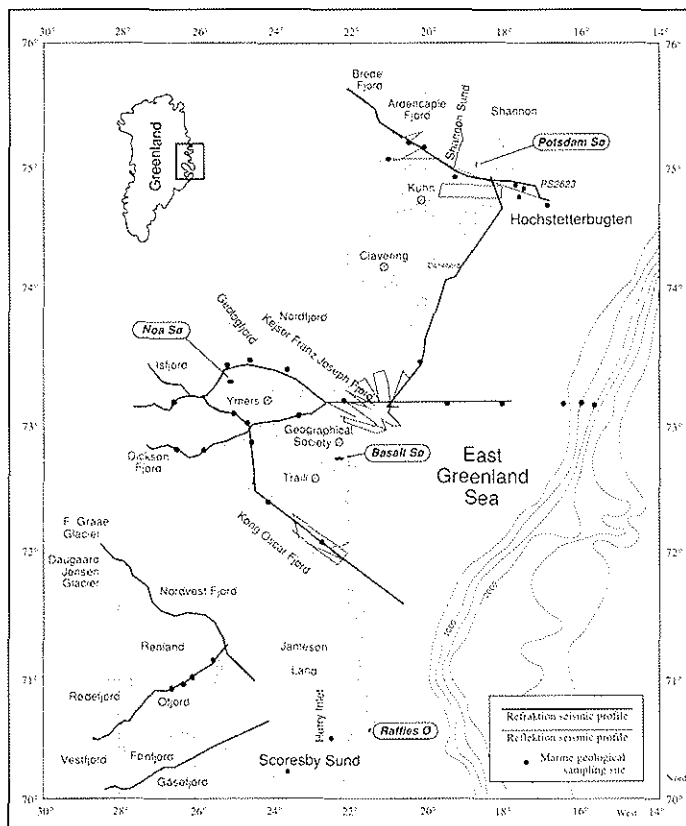
Die physikalischen Arbeiten umfaßten die Untersuchung der atmosphärischen Grenzschicht mit der Hubschrauber-Schleppsonde „Helipod“, wobei die technische Erprobung dieses Systems im Vordergrund stand. Ziele der Meereis-Fernerkundung waren die Verbesserung der Interpretation von Satellitendaten und die Beschreibung der aktuellen Eissituation als Planungshilfe für die Forschungsarbeiten.

In einer Reihe von Projekten wurden luft- und meereschemische Aspekte miteinander verknüpft. So wurde die vertikale und horizontale Verteilung von Ozon und mehrerer Photooxidantien gemessen. Die luftchemischen Messungen zeigten eine geringe anthropogene Belastung der arktischen marinen Troposphäre mit Stickoxiden und Aerosolen im Sommer. Dies steht in deutlichem Gegensatz zur Situation im Spätwinter und Frühling. Konzentrationsmessungen von Schwermetallen und ihrer organischen Komplexe sollten Aufschluß über ihre biogeochemischen Kreisläufe geben, wobei die Transportwege und die biogene Produktion in

##### **4.1.2 Zehnte Arktisexpedition der „Polarstern“ (Juli - Oktober 1994)**

Abb. 3: Im Mittelpunkt der Arktisexpedition ARK X/2 von „Polarstern“ standen geowissenschaftliche Untersuchungen in den Fjorden Ostgrönlands sowie auf dem vorgelagerten Schelf und Kontinentalhang.

polaren Meeresgebieten im Vordergrund standen. Nährsalze wurden zur Unterstützung der biologischen Projekte und als Tracer spezieller Wassermassen gemessen. Am 75. Breitengrad wurde ein quasi-synoptischer hydrographischer Schnitt durch die Grönlandsee aufgenommen. Die Messungen lieferten weitere Informationen über die Grönlandsee als Bildungsgebiet von Wassermassen, die über die regionalen Verhältnisse hinaus von Bedeutung sind. Die Zunahme der potentiellen Temperatur im Grönlandsee-Tiefenwasser seit dem Vorjahr, die den Trend der vergangenen Jahre fortsetzte, wies darauf hin, daß auch im vergangenen Winter keine tiefreichende Konvektion stattgefunden hatte.



**Arktisexpedition ARK X/2, Tromsø - Bremerhaven**

Im Mittelpunkt dieser Expedition vom 17.8. bis 6.10.1994 unter der Leitung von Dr. Hans-Wolfgang Hubberten standen geowissenschaftliche Untersuchungen in den Fjorden Ostgrönlands sowie auf dem vorgelagerten Schelf und Kontinentalhang (Abb. 3).

Auf dieser dritten geophysikalisch-geologischen Reise der „Polarstern“ nach Ostgrönland wurden acht tiefenseismische Profile mit einer Gesamtlänge von 1.750 km in drei verschiedenen Gebieten aufgenommen: 840 km im Hauptarbeitsgebiet des Keiser-Franz-Joseph- und Kong-Oscar-Fjord, 410 km im Gebiet Hochstetterbugten und 500 km im Scoresby Sund. Um den Krustenaufbau der ostgrönländischen Kaledoniden (bis 76°N) zu kartieren, wurden insgesamt 57 automatische Registrierstationen entlang der Fjorde und auf Nunatakern aufgestellt. Diese Stationen registrierten mehrere Tage lang seismische Signale, die mit Luftpulsern (2 „guns“ mit je 32 l) auf „Polarstern“ angeregt wurden.

Die meeresgeologischen Untersuchungen erweiterten den Datensatz von vorhergegangenen „Polarstern“-Expeditionen auf die Gebiete Keiser-Franz-Josef- und Kong-Oscar-Fjord sowie die Hochstetterbugten bis nach 76°N. Insgesamt wurden 43 Sedi-

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

mentkerne gewonnen. Erste sedimentologische und sedimentphysikalische Untersuchungen an Bord zeigten vollständige Sedimentabfolgen, mit deren Hilfe die Enteisungsgeschichte seit dem letzten glazialen Maximum rekonstruiert werden kann.

Reflexionsseismische Untersuchungen über 1.100 Profilkilometer in den Fjordmündungen dienten der Kartierung untermeerischer glazialer Strukturen wie Moränen früherer Vereisungsphasen. Während der gesamten Expedition wurden kontinuierlich sedimentechographische Untersuchungen zur Erkundung des oberen Sedimentstockwerks und zur Definition von Kernstationen mit dem „Parasound“-System durchgeführt.

Zusätzlich wurden, mit unterschiedlichem Erfolg, Proben für ein paläozeanographisches Projekt in der zentralen Grönlandsee und in der Dänemarkstraße genommen. Die geologischen Arbeiten in diesen Gebieten wurden ergänzt durch den Einsatz eines neuartigen Ozeanbodenhydrophons, mit dem Feinstrukturen der oberflächennahen Sedimente vermessen und mit den Sedimentkernen verglichen werden können.

Parallel zu den marin-geologischen Arbeiten wurde ein umfangreiches terrestrisches Programm zur Beprobung von Seesedimenten durchgeführt. Im Gebiet von Keiser-Franz-Joseph- und Kong-Oscar-Fjord sowie Hochstetterbugten wurden aus sechs Binnenseen insgesamt etwa 70 m Sedimentkerne gewonnen. Geeignete Kernpositionen wurden mit einem erstmals eingesetzten, neuartigen Sedimentecholot erkundet.

#### **Antarktisexpedition ANT XII/1, Bremerhaven - Punta Arenas**

Der erste Fahrabschnitt der 12. Antarktisreise der „Polarstern“ führte vom 18.10. bis 21.11. 1994 von Bremerhaven nach Punta Arenas (Abb. 4). Fahrtleiter war Dr. Gerhard Kattner. Die Arbeiten konzentrierten sich auf physikalische und chemische Untersuchungen im Wasser und der Luft, für die während der gesamten Fahrt Messungen durchgeführt wurden. Auf einigen ergänzenden Stationen wurden bis zum Meeresboden Proben genommen. Ein großer Teil der Untersuchungen steht in engem Zusammenhang mit früheren Messungen und dient zur Abschätzung globaler Trends in der Atmosphäre und im Wasser.

Im Gebiet des Äquators und südlich bis in das Argentinien-Becken wurde neben den chemischen Untersuchungen ein intensives, ozeanographisches Programm als Beitrag zum „World Ocean Circulation Experiment“ (WOCE) durchge-

#### **4.1.3 Zwölfte Antarktisexpedition der „Polarstern“ (Oktober 1994 - Mai 1995)**

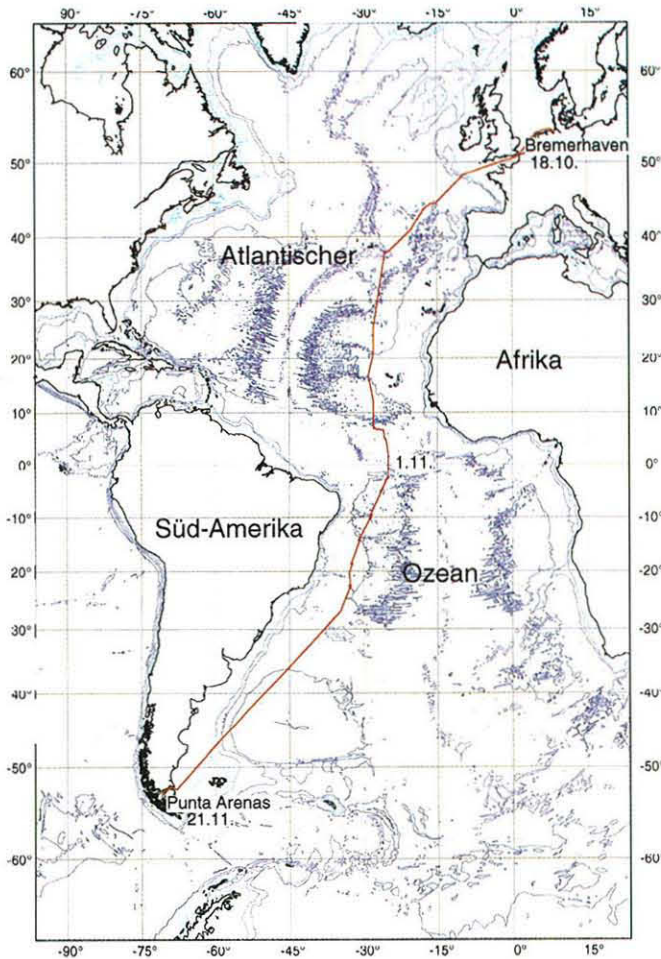


Abb. 4: Während der Antarktisexpedition ANT XII/1 von „Polarstern“ konzentrierten sich die Forschungsarbeiten auf physikalische und chemische Untersuchungen im Wasser und der Luft.

führt. Dafür wurden 79 Schwimmkörper (Floats), die in ca. 800 m Wassertiefe driften, und 35 Oberflächendrifter ausgesetzt, die Daten über Position, Temperatur und Tiefe zur detaillierten Ermittlung der Strömungsverhältnisse liefern.

Die meereschemischen Untersuchungen konzentrierten sich auf Messungen natürlicher und anthropogener Spurenstoffe. Untersuchungen über gelöste organische Substanzen wurden über weite Bereiche durchgeführt, um eine Verallgemeinerung unserer bisherigen Kenntnisse zu ermöglichen. Ähnliches gilt für die Bestimmung der halogenierten Kohlenwasserstoffe sowie  $N_2O$ , die sowohl im Wasser als auch in der Luft kontinuierlich bestimmt wurden. Dabei sollte insbesondere der Beitrag der Meere zum atmosphärischen Haushalt von Methylbromid bestimmt werden. Es hat sich herausgestellt, daß die Meere wahrscheinlich in weiten Bereichen eine Senke für Methylbromid darstellen.

Während der gesamten Fahrt wurden Proben für die Spurenmetallanalyse im Wasser und in Aerosolen genommen. Im Bereich der „Intertropical Convergence Zone“ (ITCZ) wurden Regenwasserproben mit dem Ziel gesammelt, den Eintrag von Spurenmetallen aus der Atmosphäre in das Oberflächenwasser im Verlauf von Niederschlagsereignissen verfolgen zu können.

Die Bestimmung von Quecksilber, Wasserstoffperoxid und Formaldehyd sowie  $CO_2$  und  $O_3$  wurden durchgeführt, um weitere Aufschlüsse über die Chemie der Atmosphäre zu erhalten. Die Untersuchung der Verteilung von Aerosolpartikeln wird Informationen über deren Entstehung, Größen- und Konzentrationsverteilung erbringen.



#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

Daten über Nukleationsereignisse und über den relativen Anteil von anthropogenen und biogenen Emissionen wurden gewonnen, um zur Zeit laufende Modellierungen zu unterstützen.

Der zweite Fahrtabschnitt (Fahrtleiter Prof. Dr. Dieter Fütterer) von Punta Arenas (23.11.1994) nach Kapstadt (3.1.1995) führte „Polarstern“ mit einem gemischten wissenschaftlichen und umfangreichen logistischen Programm in den Bereich der Antarktischen Halbinsel und in das südöstliche Weddellmeer.

Begünstigt durch ruhige Wetterbedingungen, wurden im Gebiet der Süd-Shetland-Inseln auf einem Netz von ca. 80 Standardstationen um Elephant Island intensive Untersuchungen zum Krillbestand und Zooplankton im Rahmen der „Convention for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources“ (CCAMLR) durchgeführt. Trotz der frühen Jahreszeit wurden im Nordwesten und Osten von Elephant Island größere Krillkonzentrationen angetroffen. Ergänzt wurden diese Arbeiten durch ökologische und taxonomische Untersuchungen am Crustaceen-Benthos, zur Taxonomie der Meereis-Ciliaten und der Auswirkung der UV-Strahlung auf das antarktische Phytoplankton.

Während der Transitfahrten von Südamerika zur Neumayer-Station und zurück nach Südafrika wurden kontinuierliche Messungen mit XBTs (Expendable Bathy-Thermograph) vom fahrenden Schiff zur physikalischen Ozeanographie durchgeführt. Um den folgenden Fahrtabschnitt zeitlich zu entlasten, wurden vor Kap Norvegia und im Bereich der Polarfrontzone bei Bouvet Island Langzeitverankerungen mit Strommessern und Sedimentfallen aufgenommen und ausgelegt.

Neben dem wissenschaftlichen Programm auf See standen vor allem logistische Aufgaben bei der Neumayer-Station und bei der britischen Station Halley im Vordergrund. Die Versorgung der Neumayer-Station und die logistische Unterstützung des Sommerprogramms erfolgten im Zuge einer Meereisentladung bei sehr guten äußeren Bedingungen und konnten an einem Tage abgeschlossen werden. Kern des Sommerprogramms an der Neumayer-Station waren der weitere Ausbau und die Inbetriebnahme des neuen luftchemischen Observatoriums und Labors.

Die britische Station Halley wurde wegen der schwierigen Eisverhältnisse zusammen mit HMS „Bransfield“ des British Antarctic Survey (BAS) angelaufen. „Polarstern“ führte die Entladearbeiten der Ausrüstung für die internationale geologische EUROSHACK-Expedition (European Expedition to the Shackleton Range) und für das aeromagnetische Flugprogramm MAGRAD durch. Trotz anfäng-

**Antarktisexpedition  
ANT XII/2,  
Punta Arenas - Kapstadt**

licher Transportprobleme konnten die Teilnehmer der EUROSHACK mit ihrer Ausrüstung, sowie größere Treibstoffmengen für das Flugprogramm von „Polar 2“ und „Polar 4“ zügig an Land gesetzt werden. Die EUROSHACK-Expedition wurde mit britisch-deutscher Logistik (BAS, AWI und BGR) und Beiträgen von Rußland und Italien durchgeführt. Der deutsche Beitrag wurde von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), dem AWI und verschiedenen – von der DFG geförderten – Universitätsinstituten getragen.

**Antarktisexpedition  
ANT XII/3, Kapstadt -  
Punta Arenas**

Der Fahrtabschnitt ANT XII/3 von „Polarstern“ unter der Leitung von Dr. Wilfried Jokat führte vom 05.01. bis 19.03.1995 in das innere Weddellmeer. Der Fahrtabschnitt war geprägt durch umfangreiche, logistische Unterstützung der terrestrischen, auf dem Eis arbeitenden Gruppen der Aerogeophysik, Biologie, Geologie und Glaziologie bei der Neumayer-Station, der Drescher-Station, bei Halley, in den Bergen der Shackleton Range, auf der Berkner-Insel und der Filchner-Station. Das marine Programm hatte physikalisch-ozeanographische Untersuchungen zum Schwerpunkt und umfaßte eine Reihe geophysikalischer Experimente.

Im Drescher-Inlet wurden vier Biologen mit Biwakschachteln abgesetzt. Ihr Programm bestand aus Untersuchungen zum Tauch- und Freßverhalten von Robben mit verbesserten Datenloggern sowie der Untersuchung der Mikroorganismen im und unter dem Meereis.

Eine große Gruppe von Glaziologen und Geophysikern führte Experimente auf dem Ronne-Schelfeis durch. Diese Programme waren Teil des internationalen Filchner-Ronne-Schelfeis-Programmes (FRISP) und befaßten sich mit dem Massenhaushalt und der Dynamik des Schelfeises. Ein Schwerpunkt dieser Arbeiten lag auf Experimenten zur Untersuchung der Prozesse in der Wassersäule direkt unter dem Schelfeis. Hierfür wurden zwei Heißwasserbohrungen durchgeführt sowie die Schmelzsonde (SUSI) eingesetzt. Bei beiden Experimenten wurden unter dem Schelfeis Strömungsmesser und Thermistorketten im Eis ausgebracht. Der Datentransfer über ARGOS erfolgte leider nur anfangs reibungslos. Später auftretende Fehler konnten wegen schlechten Wetters nicht mehr behoben werden.

Ein weiterer Schwerpunkt der Expedition lag auf der Erfassung geophysikalischer Daten an der Grundlinie des Foundation-Eisstromes, um die Eisdynamik an dieser kritischen Stelle besser zu verstehen. Hierfür wurden seismische Daten, Schwere- und Neigungsmesserdaten sowie Eisdickenmessungen sowohl am Boden als mit Flugzeugen registriert. Während das Flugprogramm aufgrund der guten

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

Wetterbedingungen zügig abgearbeitet werden konnte, war der Zeitraum für die geophysikalische Traverse wegen der langen An- und Abfahrtswege zu kurz bemessen, um alle Programmziele zu erreichen.

Fragen zur paläoklimatischen Entwicklung standen bei der Eiskernbohrung auf der Berkner-Insel im Vordergrund. Es wurden zwei Bohrungen auf 180 bzw. 100 m abgeteuft. Dies entspricht einer Zeitspanne von ca. 1.000 Jahren Klimageschichte im Gebiet des südlichen Weddellmeeres. Erste Messungen am Eiskern und im Bohrloch wurden im Feld durchgeführt. Eine automatische Wetterstation wurde aufgestellt. Ergänzend hierzu wurden umfangreiche Eisdickenmessungen zwischen den Gipfelpunkten der Reinwarth- und Thyssenhöhe durchgeführt. Zur Quantifizierung der Eisdynamik wurden in Flugeinsätzen insgesamt fünf Corner-Reflektoren auf der Berkner-Insel, dem Hemmen Ice Rise und dem Foundation-Eisstrom abgesetzt. Die gesamte Ausrüstung für Berkner Island wurde mit Flugzeugen im Rahmen der britisch-deutschen Kooperation transportiert mit Unterstützung durch zwei Twin-Otter des British Antarctic Survey (BAS).

Das aerogeophysikalische Programm nutzte die Filchner-Station als logistische Basis. Von hier starteten „Polar 2“ und „Polar 4“ zu geophysikalischen Meßflügen. Eisdicken- und aeromagnetische Messungen wurden überwiegend parallel ausgeführt. Neben der Unterstützung des Grundlinien-Experimentes wurden umfangreiche Flüge über dem Ronne-Schelfeis und der Berkner-Insel durchgeführt.

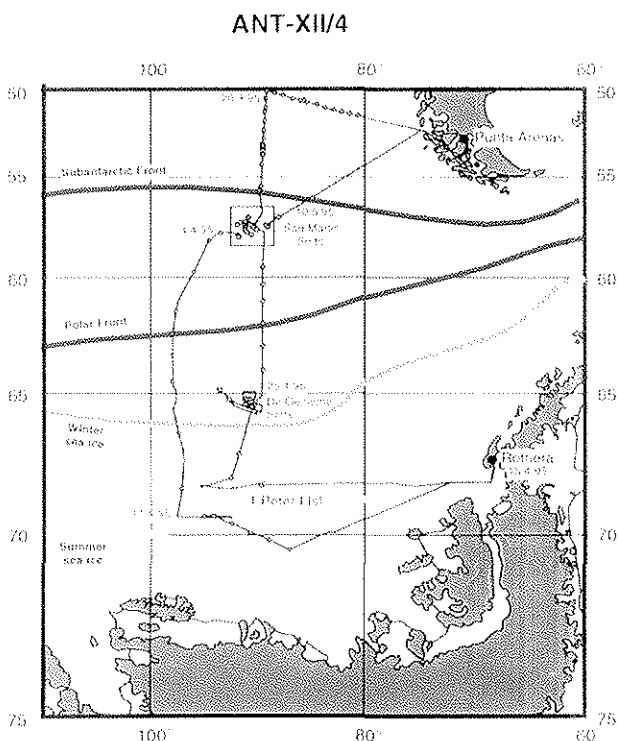
Der Schwerpunkt des marinen Programms lag auf ozeanographischen Arbeiten. Neben CTD-Schnitten entlang der Filchner-Ronne-Schelfeiskante waren ebenfalls lange Schnitte über die Schelfkante in die Tiefsee geplant. Diese konnten aufgrund der Eissituation jedoch nicht vollständig abgearbeitet werden. Neben diesen Arbeiten wurden insgesamt acht norwegische Verankerungen mit sehr begrenztem Erfolg angefahren. Nur eine Verankerung vor dem Ronne-Schelfeis konnte vollständig geborgen werden. Sechs neue Verankerungen wurden über dem Filchner-Schelf ausgelegt. Auf der Heimreise wurden zwei Verankerungen im zentralen Weddellmeer geborgen.

Bei den marin-geophysikalischen Untersuchungen standen Messungen zur Reflexions- und Refraktionsseismik im Übergangsbereich Schelf-Tiefsee im Vordergrund. Insbesondere die seismische Vermessung der magnetischen ORION-Anomalie als der vermuteten Kontinent-Ozean-Grenze hatte eine hohe Priorität. Diese Region konnte jedoch wegen der ungünstigen Eisbedingungen nicht erreicht werden. Lange seismische Linien auf dem Ronne-Schelf konnten aufgrund der weit

offenen Polynja mit einem 2.600 m langen Streamer vermessen werden. Zwei refraktionsseismische Profile mit einem mittleren Stationsabstand von 40 km und insgesamt 12 Registrierstationen konnten vor dem Ronne-Schelfeis vermessen werden.

Infolge der umfangreichen Arbeitsprogramme auf dem Ronne-Schelfeis war „Polarstern“ logistisch stark beansprucht. Insbesondere die Beladearbeiten vom 25. bis 27. Februar vor der Filchner-Station und die Umstauarbeiten vom 7. bis 10. März vor der Neumayer-Station konnten nur unter schwierigsten Bedingungen und äußerstem Einsatz aller Beteiligten erfolgreich durchgeführt werden.

Abb. 5: Die Expedition ANT XII/4 war die erste Expedition der „Polarstern“ in küstenferne Bereiche des südöstlichen Pazifik und Bellingshausenmeeres.



#### Antarktisexpedition ANT XII/4, Punta Arenas - Punta Arenas

Die Expedition ANT XII/4 vom 21.3. bis 14.4.1995 unter der Fahrtleitung von Dr. Rainer Gersonde war die erste Expedition der „Polarstern“ in küstenferne Bereiche des südöstlichen Pazifik und Bellingshausenmeeres (Abb. 5); sie führte damit in eines der wissenschaftlich bislang am wenigsten untersuchten Gebiete des Südpolarmeeres.

Schwerpunkt der Expedition waren marin-geowissenschaftliche Beprobungen in Kombination mit sedimentechographischen (Parasound), refraktions- und reflexionsseismischen, gravimetrischen und bathymetrischen (Hydrosweep) Meßprogrammen. Die übergeordneten Ziele waren (1) die Erkundung und Beprobung eines Meteoriten-Einschlaggebiets im Bereich der San Martín-Tiefseekuppen, (2) die Gewinnung langer Sedimentkerne zur Rekonstruktion der quartären und pliozänen (ca. 3 Millionen Jahre) Entwicklung des Paläoklimas in der pazifisch-antarktischen Kaltwasserzone, und (3) Erkundung der plattentektonischen Kollisionszone im Bereich der Peter I-Insel und der De Gerlache-Tiefseekuppen.

Im Einschlaggebiet des Meteoriten, das aus früheren amerikanischen Arbeiten grob bekannt war, wurden nach intensiven bathymetrischen und sedimentechographischen Vorerkundungen

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

eines etwa 30.000 km<sup>2</sup> großen Seegebietes an 20 ausgewählten Positionen Sedimentkerne mit Längen bis zu 19,2 m gewonnen. Damit gelang es erstmals, ein Meteoriteneinschlagereignis in den tiefen Ozean zu dokumentieren. Erste Datierungen ergaben für den Einschlag des Meteoriten ein Alter von etwa 2,4 Millionen Jahre (oberes Pliozän). In einigen Sedimentkernen wurden bis zu 1,6 cm große Relikte des Meteoriten gefunden, die es erlauben, den Chemismus zu analysieren.

Sedimentkerne und Oberflächenproben, die auf Profilen zwischen 50° S und 68° S gewonnen werden konnten, ergänzen die Beprobungen zur Erfassung der paläozeanographischen Entwicklung des Südpolarmeeres. Erste Ergebnisse zeigen, daß im Gegensatz zu Atlantik und Indik im südöstlichen Pazifik kein „Opalgürtel“ in den quartären Ablagerungen südlich der Polarfront und nördlich der Wintermeereisgrenze ausgebildet ist.

Die tiefenseismischen Messungen unter Einsatz von Ozeanbodenhydrophon-Systemen und einem 2.400 m langen „Streamer“ erbrachten wichtige neue Ergebnisse zur Struktur und zum tektonischen Aufbau des ozeanischen Basements sowie eine Tiefenabschätzung der Kruste-Mantel-Grenze (Moho-Diskontinuität) im Bereich Peter I-Insel und De Gerlache-Tiefseekuppen. Die bathymetrische Vermessung und geologische Erkundung der De Gerlache-Tiefseekuppen ergab eine steile Plateaustruktur (Guyot), die bis auf 300-400 m Wassertiefe aus der Tiefsee herausragt und frei von Weichsedimenten ist. Dredgen am oberen Hang erbrachte frische, datierbare Basalte sowie ein monomiktes Basaltkonglomerat, das vermutlich in einem hochenergetischen Brandungsbereich entstanden ist.

Das marin-geowissenschaftliche Programm wurde durch Untersuchungen der Grenzschicht Atmosphäre/Ozean und in der Wassersäule ergänzt. Im Rahmen eines hydrographischen Programmes wurden CTD- und XBT-Profile über die Strombänder des Antarktischen Zirkumpolarstromes (ACC) hinweg durchgeführt. Daneben wurden auch Wasserproben zur Untersuchung von stabilen Isotopen, natürlichen Radionukliden, Nährstoffgehalten sowie verschiedenen anderen Stoffen (Barium, Methylschwermetallverbindungen) mit Hilfe von Wasserschöpfern sowie *insitu* Pumpen entnommen.

Messungen des CO<sub>2</sub>-Austauschs zwischen Ozean und Atmosphäre ergaben, daß im Untersuchungsgebiet CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre abgegeben wurde (CO<sub>2</sub>-Quelle). Ursache dafür könnte die beobachtete sehr geringe Phytoplanktonproduktion sein. Damit einhergehende, ebenfalls sehr geringe Eisenkonzentrationen im Oberflächenwasser geben einen weiteren Hinweis darauf, daß der Spuren-

stoff Eisen trotz ausreichender Nährsalze wie Nitrat, Phosphat und Silikat, die Primärproduktion im Südpolarmeer begrenzen kann. Möglicherweise ist die dauerhaft geringe Produktion im Bellingshausenmeer auch in geologischen Zeiträumen Ursache für das beobachtete Fehlen eines Opalgürtels.

Am 15.4.1995 lief „Polarstern“ die britische Station Rothera auf der Adelaide-Insel an, um die dortige Flugbasis des British Antarctic Survey mit 160 t Flugzeugtreibstoff zu versorgen.

**4.1.4 Elfte Arktisexpedition der „Polarstern“ (Juli - Oktober 1995)**

**Arktisexpedition ARK XI/1, Bremerhaven - Tromsø - Murmansk - Tromsø**

Der erste Fahrtabschnitt der elften Arktisexpedition der „Polarstern“ unter der Fahrtleitung von Dr. Eike Rachor vom 7. 7. bis 20.9.1995 war die zweite „Polarstern“-Expedition in sibirische Gewässer und zugleich ein weiterer, überaus erfolgreicher Beitrag zur deutsch-russischen Kooperation in der Arktisforschung. Im Mittelpunkt der Expedition stand das deutsch-russische Projekt LADI (Laptev Sea - Arctic Deep Basins Interrelations). Hauptziel des multidisziplinären Programms war die Untersuchung der stofflichen und ökologischen Beziehungen der sibirischen Schelfmeere – der nördlichen Laptew- und Karasee sowie der nordwestlichen Ostsibirischen See – zu den angrenzenden arktischen Tiefseebecken sowie die Erfassung der großräumigen Wasserzirkulation und Eisdrift und der damit verbundenen Transportprozesse.

Die 15 russischen Teilnehmer an der Expedition wurden mit ihrer Ausrüstung am 14.7. in Murmansk an Bord genommen. Am 11.9.1995 wurde die Rückfahrt aus der östlichen Karasee angetreten. Die russischen Partner verließen „Polarstern“ am 17.9. in Murmansk.

Günstige Eisverhältnisse in der Wilkitski-Straße und der westlichen Laptewsee ermöglichten einen unerwartet frühen Beginn der Stationsarbeiten am 19. Juli. Auf sieben Schnitten über den Kontinentalrand der Laptewsee und den Lomonosow-Rücken wurde ein breit gefächertes Arbeitsprogramm durchgeführt. Anschließend konnte sogar noch die Inselgruppe Sewernaja Zemlja im Norden umfahren und ein Profilschnitt aus der Laptewsee bis auf den Karasee-Schelf im Gebiet des Woronin-Trogs bearbeitet werden. Für diese Arbeiten nördlich von Sewernaja Zemlja, wo aufgrund meist schwierigster Eisverhältnisse bislang kein Forschungsschiff gearbeitet hatte, war innerhalb kürzester Frist während der Expedition sehr unbürokratisch vom russischen Forschungsministerium eine zusätzliche Forschungsgenehmigung erteilt worden, die eine wertvolle Erweiterung des Arbeitsprogramms ermöglichte.

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

Alle geplanten Profilschnitte konnten nicht nur, wie geplant, erfolgreich abgearbeitet werden, sondern erstreckten sich viel weiter als erwartet in die Tiefseebecken hinein. Die nördliche Umfahrung von Sewernaja Zemlja erlaubte Messungen in der Übergangsregion zwischen Kara- und Laptewsee, wie sie bislang noch nicht möglich gewesen waren. Alle beteiligten Disziplinen, physikalische Ozeanographie, Tracer-Ozeanographie, Meeres- und Aerosol-Chemie, Meereis-Glaziologie, Biologie und Meeresgeologie konnten ein umfangreiches Daten- und Probenmaterial gewinnen.

Im Bereich des Lomonosow-Rückens wurden drei Langzeitverankerungen für die Untersuchung des Wasseraustausches zwischen Amundsen-Becken (atlantisch) und Makarow-Becken (pazifisch) ausgebracht. Die Verankerungen sollen im Rahmen von ACSYS (Arctic Climate System Study) des WCRP (World Climate Research Program) von FS „Polarstern“ und RV „Oden“ 1996 wieder aufgenommen werden. In die auf dem zentralen Lomonosow-Rücken ausgebrachte Verankerung wurden zeitgesteuerte Sedimentfallen integriert, um den Jahresgang der Partikelflüsse zu registrieren.

Die Meereisuntersuchungen, unterstützt durch Satellitenaufnahmen, ergaben einen umfassenden Überblick über die verschiedenen Herkunftsgebiete und die Sedimentfracht aus der Laptewsee und der Ostsibirischen See. Umfangreiche Daten wurden zur Bedeutung des sommerlichen Schmelzens für die Entwicklung des mehrjährigen Eises gewonnen.

Für die biologischen Untersuchungen wurden alle wichtigen Ökosystem-Kompartimente (Eis, Wasser, Boden) umfassend beprobt. Ergänzt durch experimentelle Bestimmungen von Umsatzraten, geben sie neue Einsichten in die Intensität der pelago-benthischen Kopplungen und über die Bedeutung der Produktion, Umwandlung und auch der Ferntransporte organischer Substanz vom Schelf in Richtung Tiefsee. So zeigten die Benthosuntersuchungen am Kontinentallhang von Sewernaja Zemlja eine von Suspensionsfressern dominierte Fauna. Es ist dies ein Indikator dafür, daß in dieser normalerweise eisbedeckten Region durch Strömung Nahrung herangeführt wird, vermutlich vom angrenzenden Karasee-Schelf.

Die Messungen in den ungewöhnlich ausgedehnten eisfreien Bereichen auch über der Tiefsee, werden es ermöglichen, Szenarien über ökologische Verhältnisse bei anhaltender Erwärmung des Arktischen Ozeans zu erarbeiten, da die biologischen Produktions- und Umsatzraten in eisfreien und eisbedeckten Meeresgebieten sich um Größenordnungen unterscheiden können, wie es auch Messungen während dieser Expedition erneut belegten.

Am Schnittpunkt von Gakkel-Rücken und Kontinentalhang konnten auf einer Station in 2.000 m Wassertiefe wie schon 1993 eine gut erhaltene subfossile Hydrothermalfauna und hydrothermale Ablagerungen mit Greifer und Kerngerät beprobt werden.

Einige Arbeitsgruppen konnten ihre im Sommer auf „Polarstern“ durchgeführten Untersuchungen während der dritten deutsch-russischen Transdrift-Expedition mit dem russischen Eisbrecher „Kapitan Dranitsyn“ im Frühherbst in der Laptewsee fortsetzen.

**Arktisexpedition  
ARK XI/2, Tromsø -  
Bremerhaven**

Unter dem Thema „Herbst in der Grönlandsee“ hatte der Fahrtabschnitt ARK XI/2 vom 22.9. bis 29.10. 1995 (Fahrtleitung Prof. Dr. Gunther Krause) das Ziel, die Kenntnisse über die meteorologischen, physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse in der Jahreszeit der schnell abnehmenden solaren Einstrahlung und des Beginns der Abkühlungsphase zu verbessern. Feldbeobachtungen unter den besonders ungünstigen Umweltbedingungen in der herbstlichen Grönlandsee lagen bisher nur sporadisch vor. Daher sollte diese Expedition eine wichtige Kenntnislücke im Jahresgang schließen.

In der Meteorologie stand die Messung oberflächennaher turbulenter Flüsse von Masse, Impuls, Wärme und Wasserdampf mit neuen Geräten an Bord und mit der vom Hubschrauber geschleppten Sonde „Helipod“ im Vordergrund. Großräumig wurden parallel dazu Temperatur- und Eisfelder über Sensoren der NOAA-Wettersatelliten erfaßt.

In der physikalischen Ozeanographie ging es hauptsächlich darum, die Ausgangssituation der Wassermassenschichtung vor und während des Beginns der winterlichen Konvektion zu erfassen. In engem Zusammenhang dazu standen die Nährsalzmessungen, die neben Temperatur und Salzgehalt u. a. zur Charakterisierung von Wassermassen herangezogen werden. Weitere Untersuchungen der Meereschemie konzentrierten sich auf die Lipide, die für das Überleben von Organismen in den winterlichen Polargebieten eine wichtige Voraussetzung bilden. Außerdem wurden natürliche Halogenverbindungen untersucht.

Einen breiten Raum nahmen multidisziplinäre Studien über die Neueisbildung und ihre Auswirkungen auf Organismen und die Biomasse im gesamten Untersuchungsgebiet ein. Dazu wurden u. a. Videoaufnahmen und photographische Verfahren in der Grenzschicht unter dem Eis eingesetzt, Eisbohrungen und Probenentnahmen durchgeführt.



#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

Verschiedene Projekte des Sonderforschungsbereichs 313 an der Universität Kiel untersuchten die Produktion sedimentationsfähiger Partikel im Pelagial und im Meereis in der Wassersäule und am Meeresboden. Dabei wurden die pelagischen Produktionsprozesse für Organismen und der vertikale Partikelfluß in der Wassersäule erfaßt sowie die Auswirkungen auf die Benthosgemeinschaften am Meeresboden untersucht.

Neben diesen auf die speziellen herbstlichen Bedingungen zugeschnittenen Vorhaben wurden für den Abschluß des bathymetrischen Kartenwerkes „Framstraße“ Teilgebiete der Framstraße bathymetrisch mit dem Fächersonar Hydro-sweep vermessen sowie zahlreiche Strommesserankerungen aufgenommen und teilweise neu ausgelegt.

#### 4.2 FS „Victor Hensen“

Zu Beginn des Jahres 1994 setzte die „Victor Hensen“ den Charter-Einsatz vor der Pazifik-Küste Costa Ricas fort. In drei Fahrtabschnitten wurden unter Leitung des Max-Planck-Instituts für Marine Mikrobiologie, Bremen (Dr. Thamdrup), der Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften (Dr. Hebbeln), und des Zentrums für Marine Tropenökologie (ZMT), Bremen (Prof. Wolff), biologische, geologisch/paläoklimatische und ozeanographische Profilmessungen senkrecht zur Küste (20 - 200 m Wassertiefe) sowie biochemische Untersuchungen im anoxischen Bodenwasser und im Sediment durchgeführt.

Nach ihrer Rückkehr war die „Victor Hensen“ zwischen Mitte April und Anfang September bei insgesamt 27 Fahrten mit 74 Seetagen in der Deutschen Bucht sowie in der Nord- und Ostsee im Einsatz. Vom Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie, Bremen (Dr. Hüttel), wurden advective Stoffflüsse in der Eckernförder Bucht biogeochemisch und sedimentologisch untersucht. Die Universität Oldenburg, FB Physik (Dr. Reuter), setzte in Kooperation mit dem AWI (Prof. Krause) ihre im Rahmen von EUROMAR und JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study) koordinierten Projekte zur Erfassung physikalischer Gradienten in der Deutschen Bucht mit Hilfe von Fernerkundungs- und insitu-Messungen fort. Im Rahmen des vom Forschungsministerium geförderten, interdisziplinären Forschungsprojekts TRANSWATT wurden unter Beteiligung des AWI, der Biologischen Anstalt Helgoland, des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie, des FTZ Büsum und ZMK der Universität Hamburg zwei großräumige Aufnahmen hydrographischer,

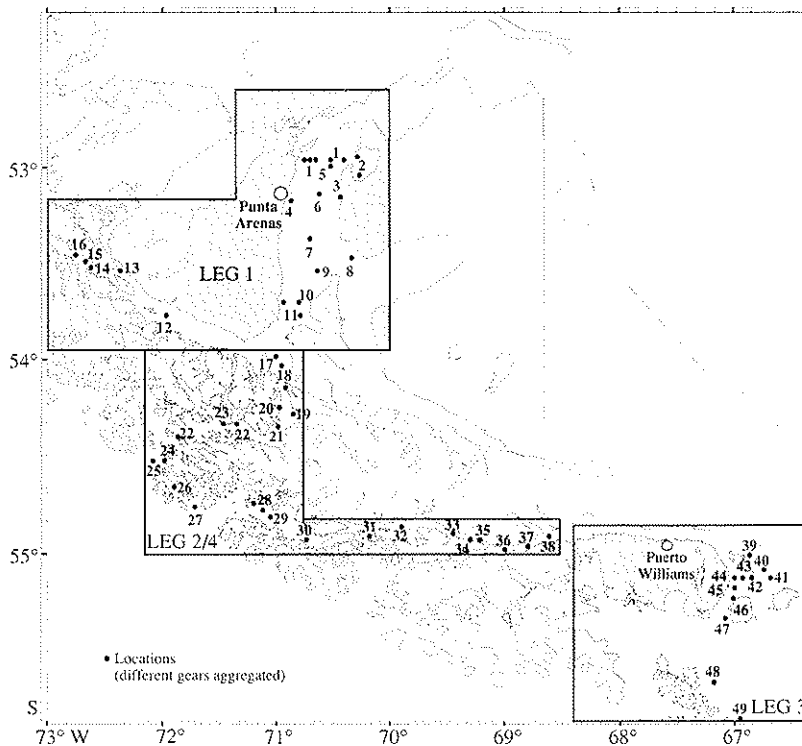


Abb. 6: Der bisher größte Überseeinsatz der „Victor Hensen“ führte das Schiff für das internationale Forschungsprojekt „Joint Magellan Campaign“ nach Südamerika in das Gebiet der Magellan-Straße, der Kanäle südlich der Magellan-Straße und den Beagle-Kanal, einschließlich Kap Hoorn. Die 49 Stationen der Expedition sind mit Punkten gekennzeichnet.

chemischer und biologischer Parameter im Bereich der Flußmündungen und Hauptpriele des Wattenmeeres durchgeführt. Die Langzeituntersuchungen der Benthosbestände in der südlichen Nordsee sowie Fischereiuntersuchungen im Rahmen des EU-Projekts IMPACT-II mit Ergänzungen durch Arbeiten zur Fisch- und Decapodenökologie und -ökophysiologie wurden intensiviert.

Am 6. September 1994 legte die „Victor Hensen“ von Bremerhaven zu ihrem bisher größten Überseeinsatz nach Südamerika (Punta Arenas/Chile) ab (siehe Karte). Das internationale Forschungsprojekt „Joint Magellan Campaign“ (Prof. Arntz) im Gebiet der Magellan-Straße, der Kanäle südlich der Magellan-Straße und im Beagle-Kanal, einschließlich Kap Hoorn, zielte vor allem auf zwei Fragestellungen ab:

1. Vergleich der Fauna und Ökosysteme der Antarktis, insbesondere der Antarktischen Halbinsel, mit derjenigen der zu Zeiten des Kontinents Gondwana mit ihr verbundenen Magellan-Region Südamerikas.
2. Erforschung latitudinaler Gradienten hinsichtlich der Populationsdynamik und Ökophysiologie antarktisch/subantarktischer Invertebraten. Insgesamt 510 Proben (Benthos, Plankton, Sedimente etc.) wurden während der vier Fahrtabschnitte durch 47 Wissenschaftler gewonnen, 24 Wissenschaftler kamen von chilenischen Universitäten. Erste Ergebnisse zeigen, daß das Zooplankton der Magellan-Region nicht so stark durch Euphausiaceen und Salpen dominiert wird wie in vielen Gebieten der Antarktis. Die wichtigste Form, *Euphausia vallentini*, ist kleiner als ihre antarktischen Verwandten. Gelatinöse Formen, wie z.B. *Beroe cucumis* kommen in bemerkenswert hoher Biomasse im Gebiet der Magellan-Region vor. Das

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

Mesozooplankton dagegen wird beiderseits der Drake-Passage von Copepoden dominiert. Die Tiefenzonierung des Makrozoobenthos ist im Gebiet der Magellan-Region deutlicher ausgeprägt als in antarktischen Gewässern, wo tiefenunabhängige „patchiness“ vorherrscht. Die Gemeinschaften der Suspensionsfresser sind in der Magellan-Region keineswegs so reichhaltig wie in der Antarktis. Die Biomasse der Infauna des Sediments dagegen ist in beiden Regionen etwa gleich groß. Erhebliche Unterschiede bestehen allerdings in der Zusammensetzung der Fauna peracarider Crustaceen. Die für die Antarktis so charakteristischen, größeren Isopoden- und Amphipoden-Arten scheinen in der Magellan-Region vollständig zu fehlen.

Am 26. November 1994 verließ „Victor Hensen“ chilenische Gewässer, um ab Januar 1995 in Charter des ZMT, Bremen, vor der Küste Brasiliens eingesetzt zu werden. Im Rahmen des Brasilianisch-Deutschen „Joint Oceanographic Projects“ (JOPS-II) wurden bis Mitte Mai 1995 insgesamt 11 Fahrtabschnitte mit 116 Seetagen durchgeführt. Die Forschungsarbeiten konzentrierten sich auf Untersuchungen von Stoffflüssen, Lebensgemeinschaften und ihrer kleinskaligen Verteilung, des Einflusses von Mangrovenwäldern auf Produktivität und Diversität der Küstengewässer Nordostbrasilien, der Verteilung von Fischlarven, der biogeochemischen Austauschprozesse und der geophysikalischen Kartierung oberflächennaher Sedimentstrukturen im Gebiet des Kontinentalschelfs. Die Ergebnisse werden zur Zeit vom ZMT zusammengestellt.

Die Rückreise nach Bremerhaven wurde für einen weiteren, neuntägigen Fahrtabschnitt im Seegebiet der Kanarischen Inseln genutzt, um hydrographische und optische Eigenschaften sowie die Phytoplankton- und Nährstoffverteilung in der oberen Wassersäule (0-200 m) zu erfassen. Daran waren im Rahmen des internationalen JGOFS Programms und der ESTOC Verankerung (EU-Projekt) die Universitäten Bremen, Hamburg und Oldenburg sowie das AWI beteiligt. Parallel dazu wurden Fernerkundungsdaten mit Hilfe von Forschungsflugzeugen erhoben.

Nach einer dreiwöchigen Wertzeit nahm „Victor Hensen“ seinen Einsatz im Bereich der Deutschen Bucht sowie der Nord- und der Ostsee wieder auf. In 15 Fahrten mit insgesamt 67 Seetagen wurden die Forschungsarbeiten zur Fischerei (IMPACT-II/EU), zur Fisch- und Decapodenökologie und -physiologie, zum Nordseebenthos (Langzeitstudien) und dem Transport, Transfer und der Transformation von Biomasse-Elementen in Wattgewässern (TRANSWATT-Projekt des BMBF) fortgeführt; neu hinzu kamen Untersuchungen des AWI zur Phytoplanktonvertei-

lung und -produktion, zur UV-B-Wirkung auf das Phytoplankton und zur Interaktion zwischen Phyto- und Zooplankton im Gebiet der Deutschen Bucht. Eine neun-tägige Reise zur Erforschung der Tiefwasser-Korallen-Bänke (mounds) führte auf die Sula-Ridge in mittelnorwegischen Schelfgewässern (ein Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft) unter Beteiligung britischer, dänischer und deutscher Wissenschaftler.

### 4.3 Polarflugzeuge

Die beiden Flugzeuge vom Typ Dornier Do 228-101 des Alfred-Wegener-Instituts wurden intensiv für Meßvorhaben in der Arktis und Antarktis (dort zum Teil auch für logistische Zwecke) eingesetzt. Die wissenschaftliche Ausrüstung der Flugzeuge „Polar 2“ (D-CAWI) und „Polar 4“ (D-CICE) für geowissenschaftliche und atmosphärische Messungen wurde weiter verbessert. Unter anderem wurden verschiedene Modifikationen am Skifahrwerk der „Polar 4“ vorgenommen, um die bei früheren Einsätzen festgestellten Probleme beim Start von weichen Schneepisten zu beseitigen. Die Skibeläge, -form und -verstrebenungen wurden geändert und bei zwei Grönlandkampagnen des Jahres 1994 erprobt. Die Tests erfolgten in verschiedenen Höhen, bei verschiedenen Wetterbedingungen und Oberflächenzuständen. In einer Höhe von 3.200 m wurde bei buckliger, harter Piste ein Abfluggewicht von ca. 6 t erreicht; bei weicher Piste in 800 m Höhe ist ebenfalls eine deutliche Verbesserung erkennbar.

#### 4.3.1 Geophysikalische Einsätze in der Arktis

Die aeromagnetische Befliegung in Nordostgrönland wurde im Rahmen zweier Einsätze (AEROMAG '94 und AEROMAG '95) fortgesetzt. Zentrales Ziel der Vorhaben ist die Kartierung des ostgrönländischen Kontinentalrandes. Das Gebiet ist zu einem großen Teil eisbedeckt und deshalb der direkten geologischen Erforschung nicht zugänglich. Durch die Aufnahme der Anomalien des Erdmagnetfeldes ergeben sich Aussagen über den Aufbau der Erdkruste und letztlich die geologische Entwicklung Ostgrönlands, das mit Schottland, Nordskandinavien und Spitzbergen geologisch zum einstigen „kaledonischen Gebirge“ gehörte. Bei AEROMAG '94 im April und Mai 1994 und AEROMAG '95 im Juni und Juli 1995 handelte es sich um Übersichtsbefliegungen. Die Messungen waren so angelegt, daß ihr Meßraster auf einfache Art verdichtet werden kann, um z.B. mit zusätzlicher Sensorik (Eis-

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

dickenradar, Gravimeter, etc.) Gebiete von besonderem Interesse genauer aufzunehmen. Die Aeromagnetikausrüstung und das neue Bordrechnersystem der „Polar 2“ haben sich in den Feldeinsätzen sehr gut bewährt.

Beim Vorhaben AEROMAG '94 wurde bei günstigen Wetterbedingungen ein 152.000 qkm großes Gebiet aeromagnetisch aufgenommen. Als Ausgangsbasis für das Untersuchungsgebiet in Nordostgrönland, gleichzeitig der nördlichste Teil des gesamten Untersuchungsgebiets, diente die Station Nord. Station Nord ist der nördlichste Flugplatz Grönlands und steht unter dänischer Militärverwaltung. Träger der Aeromagnetik-Meßausrüstung war wiederum die „Polar 2“, für die SAR-Aufgaben stand die „Polar 4“ zur Verfügung.

AEROMAG '94 wurde in Absprache mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und dem GGU (Grönlandischer Geologischer Dienst) als eigenständiges Parallelprojekt zum CASE-Projekt geplant. Das CASE-Projekt beinhaltet eine umfassende geologisch-tektonische Geländeaufnahme in Spitzbergen und Nordostgrönland zur Erforschung des ehemaligen Zusammenhangs beider Gebiete.

AEROMAG '95 ist die südliche Fortsetzung von AEROMAG '94 und überdeckt einen weiteren Teil der für das Case-Projekt interessanten Gebiete. Im Gebiet der AEROMAG '95-Kampagne liegen die Ausflußgletscher Nioghalvfjordsbrae und Zacharias-Eisstrom.

Da im Laufe des Jahres 1995 mehrere dänische Versorgungsflüge der Station Nord ausfielen, stand für AEROMAG '95 nur ein relativ knapper Treibstoffvorrat zur Verfügung. Die Wetterbedingungen in Nordgrönland waren zeitweise so schlecht, daß für längere Zeiträume keine Flüge möglich waren. Diese Engpässe führten letztendlich dazu, daß das 130.000 qkm große aeromagnetische Meßgebiet zwar vollständig, aber nur mit halber Überdeckung abgeflogen werden konnte.

Im Sommer 1994 wurde die Entwicklung eines EMR-Systems (Elektromagnetisches Reflexionsradar) in Zusammenarbeit von AWI, TU Hamburg-Harburg und Fa. Aerodata bis zur Einsatzreife abgeschlossen. Im September 1994 erfolgte die Ersterprobung des EMR-Systems mit der „Polar 2“ in Grönland. Die Systemfunktion erwies sich als gut. Es kam zu keinen Störeinflüssen auf die Avionikgeräte der Flugzeugführer. Nach einigen Detailverbesserungen während der Kampagne wurde eine Eindringtiefe in das grönländische Inlandeis von mehr als 3.400 m erreicht, so daß das Eisbett mit kräftigen Reflexionen gut erkennbar war. Als kleinere Störursacher wurden die Aeromagnetikanlage, der Bordrechner und die EMR-

Anlage selbst erkannt. Im Laufe der EMR-Einsätze in beiden Polargebieten erwies sich die Anlage als geeignet, die Eisdicken und die innere Struktur bis zu Tiefen von ca. 4 km mit einem horizontalen Meßabstand von ca. 3 m und einer vertikalen Auflösung von 10 - 20 m zu erfassen.

Im Laufe des AEROMAG '95-Programms fand unter Einsatz des neuen Eisradars auch ein Erkundungsflug über das grönländische Inlandeis statt. Dieser Flug führte über die Eisbohrstellen des „Greenland Ice Core Project“ (GRIP) in Zentralgrönland bis ca. 76° N, 44° W. Dieser Flug gab Aufschluß über die innere Schichtung des Eises und die Fließbewegung zwischen den Bohrungen. Außerdem dient er der Klärung, inwieweit im Bereich des südlichsten Punktes dieses Profils das Eis gleichmäßig genug geschichtet und in Bodennähe alt genug für weitere Tiefbohrungen im Rahmen des GRIP ist.

#### 4.3.2 Geophysikalische Einsätze in der Antarktis

Die beiden Polarflugzeuge „Polar 2“ und „Polar 4“ wurden von November 1994 bis März 1995 erstmals nach mehrjähriger Unterbrechung wieder in der Antarktis eingesetzt. Die wissenschaftlichen und logistischen Expeditionseinsätze verliefen erfolgreich.

Das Vorhaben MAGRAD 94/95 umfaßte kombinierte Aeromagnetik-Eisradar-Vermessungen im Gebiet des Shackleton-Gebirges und des Filchner-Ronne-Schelfeises. Von der britischen Überwinterungsstation Halley ausgehend, wurde ein Kissegment mit einer Schenkellänge von mehr als 500 km küstenparallel zu Queen Maud Land und Coats Land erflogen. Damit wurde eine Lücke zwischen der russischen Detailbefliegung in Queen Maud Land südlich der Neumayer-Station und den russischen Übersichtsbefliegungen über Coats Land geschlossen.

Darüberhinaus wurde die westliche Shackleton Range – parallel zu den geologischen Geländeaufnahmen im Rahmen des Euroshack-Projektes – mit detaillierten Nord-Süd-Profilen überdeckt. Die Shackleton Range weist ost-weststreichende magnetische Lineamente auf, deren westliche Verlängerung in der weiteren Datenauswertung auf mögliche Zusammenhänge mit dem Transantarktischen Gebirge und der Grenville Front untersucht werden soll. In einer Übersichtsbefliegung ist das Gebiet zwischen Heimefront Fjella und Shackleton Range untersucht worden. Die Auswertung wird die geologisch-tektonischen Grenzen zwischen den Gebieten festlegen.

Zur Bilanzierung der Eismassentransporte vom antarktischen Inland auf das Filchner-Ronne-Schelfeis werden neben Parametern wie der Fließgeschwindigkeit

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

und Deformation sehr genaue Daten über den Querschnitt der Eisströme benötigt. Diese wurden mit der neuen, im Jahr 1994 in Ostgrönland erfolgreich erprobten EMR-Anlage an Bord der „Polar 2“ gewonnen. Parallel dazu wird über drei Sensoren das absolute Erdmagnetfeld gemessen. Mit der „Polar 2“ wurde im Verlauf der Filchner-5-Kampagne ein Bereich an der „Groundingline“ (Berührungslinie des Schelfeises mit dem Felsbett) zwischen dem Foundation-Eisstrom und dem Institute-Eisstrom sowie entlang der Fließlinien über dem Ronne-Schelfeis und quer dazu vermessen. Insgesamt wurden in 36 Flugstunden 8.500 km Meßstrecke aufgenommen. Das Meßraster im südlichen Teil des Filchner-Ronne-Schelfeises wurde so angelegt, daß der Foundation-Eisstrom und der Möller-Eisstrom im Bereich ihrer Groundingline mit hoher Dichte und der Institute-Eisstrom mit verminderter Dichte abgedeckt wurden. Zusätzlich sind Meßprofile parallel zur Fließrichtung über die jeweiligen Aufsetzlinien gelegt worden.

Als Ergebnis ist zu nennen, daß der Foundation-Eisstrom bei 83° S etwa 40 km breit ist und eine Mächtigkeit von 1.500 - 1.600 m hat. Der im Westen folgende Möller-Eisstrom ist mit 1.300 - 1.400 m signifikant weniger mächtig. Die noch laufende Gesamtauswertung umfaßt sowohl Eismächtigkeiten als auch Strukturmerkmale wie Reflexionskoeffizienten und Spalten. Sie wird bereits bestehendes Kartenmaterial des Filchner-Ronne-Schelfeises im südlichen Teil erheblich verbessern. Der Überflug von der Reinwarthöhe über Berkner Island bis zur Thyssenhöhe ergab im Bereich der Thyssenhöhe Eisdicken zwischen 950 und 1.100 m. Die interne Struktur deutet auf den Übergang von holozänem zu pleistozänem Eis in ca. 700 - 800 m Tiefe, was durch einen Vergleich mit Modellrechnungen von Wagenbach et al. (1994) gestützt werden kann.

Die „Polar 4“ leistete logistische Unterstützung (Versorgungsflüge und Eiskerntransporte) des Bohrcamps auf der Thyssenhöhe. Sie diente einem Wissenschaftlertransport zwischen der Station Belgrano II und der Filchner-Station. Zwei Firnkerne konnten unter logistischer Unterstützung durch die „Polar 4“ vom südlichen Foundation-Eisstrom bei ca. 84° S und 85° S gewonnen werden. Während der Antarktisunternehmung 1994/95 wurden mit der „Polar 4“ zwei Krankentransportflüge durchgeführt. Eine verletzte Person wurde von der Filchner-Station nach Port Stanley, Falkland Inseln, geflogen. Der zweite Flug überführte eine Person vom Gebiet der ehemaligen Forster-Station über Filchner nach Punta Arenas. Dieser Flug wurde mit der Rückführung der Flugzeuge verbunden.

Von Mitte November 1995 bis März 1996 werden beide Polarflugzeuge wiederum in der Antarktis für glaziologische und geophysikalische Aufgaben

eingesetzt. Die aeromagnetische Aufnahme des Wohlthat-Massivs im Queen Maud Land ist ein Beitrag des AWI zum GEOMAUD-Programm, unter Federführung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR, Hannover). Die übergeordnete geologische Fragestellung ist die der Einbindung des Wohlthat-Massivs in das zentralantarktische Gebirge. Einsatzflüge über dem marinen Gebiet vor der Küste des Queen Maud Land sind eng verknüpft mit einem parallel durchgeführten Schiffsprogramm in der gleichen Region. Die „Polar 4“ wird in einem Vorhaben des Instituts für Angewandte Geodäsie (IfAG), Frankfurt, zur aerophotogrammetrischen Aufnahme des Wohlthat-Massivs eingesetzt. Mit logistischer Ausgangsbasis an der Neumayer-Station werden die Flüge von einem Feldflugplatz an der russischen Station Novolazarevskaya aus durchgeführt.

#### 4.3.3 Arktiseinsätze zur Erforschung der Atmosphäre und des Meereises

Zur Untersuchung der Strahlungseffekte der arktischen Stratuswolken und des arktischen Dunstes bei unterschiedlichen Eisbedingungen im Sommer wurde im Juni und Juli 1995 das Experiment REFLEX III (Radiation and Eddy Flux Experiment) durchgeführt. Die Wolken und die Eigenschaften der Meereisoberfläche bestimmen den Strahlungshaushalt der unteren Atmosphäre und die Strahlungsbilanz der Oberfläche und beeinflussen infolgedessen die Meereisentwicklung in den Polargebieten. Das Vorhaben stützte sich auf Messungen der „Polar 2“ und der „Polar 4“, die dafür geeignet instrumentiert wurden. Das Programm setzte die Reihe der REFLEX-Vorhaben (REFLEX I im September/Okttober 1991 und REFLEX II im März 1993) fort. Einsatzbasis für das Programm REFLEX III war der Flugplatz Longyearbyen auf Spitzbergen. Die geplanten Einsätze von Nordgrönland aus konnten nicht stattfinden, da dort nur wenig Treibstoff bereit stand, der dann vollständig für das Geophysikprogramm AEROMAG '95 gebraucht wurde.

Beide Flugzeuge wurden mit Strahlungsmeßgeräten für solare und terrestrische Strahlung, die „Polar 4“ erstmals auch mit einem Sonnenphotometer und vier unterschiedlichen Meßgeräten für Aerosol- und Wolkenpartikel eingesetzt. Das Sonnenphotometer der Forschungsstelle Potsdam diente der Bestimmung des atmosphärischen Aerosolgehalts. Die optischen Partikelmeßgeräte wurden in Zusammenarbeit mit dem GKSS-Forschungszentrum Geesthacht betrieben.

Genauere Informationen über die Meeresoberfläche, d.h. Eisbedeckungsanteile, Schmelztümpel- und Blaueisflächenausdehnung, wurde mit Hilfe der neuentwickelten digitalen Farbkamera gewonnen. Die Kamera wurde in der Sektion Meeresphysik entwickelt und umfaßt drei Spektralbereiche im Sichtbaren und Nah-Infrarot. Ein Laseraltimeter dient der Erfassung der Oberflächenmorphologie (Rauhig-



keit). Bei Auf- und Abstiegen wurden Vertikalprofile der Temperatur, der Feuchte und des Windes aufgenommen. „Polar 2“ wurde mit dem Turbulenzmeßsystem METEOPD unter dem Tragflügel ausgerüstet, um die turbulenten Flüsse von Impuls, Wärme und Wasserdampf zu bestimmen. Die Flugzeugposition liegt kontinuierlich durch GPS- und Inertialnavigation vor und geht in die Windberechnung ein. Die Flüge wurden so durchgeführt, daß geeignete Messungen zum Strahlungsaustausch von Stratuswolken und Meereisflächen, zum turbulenten Austausch von Wärme, Impuls und Wasserdampf und zur Aufnahme von Referenzdaten für die Satellitenfernerkundung aufgenommen wurden. Die 17 Meßflüge der „Polar 4“ sowie weitere fünf gemeinsame Einsätze mit der „Polar 2“ dienten vor allem der detaillierten Untersuchung arktischer Stratuswolken. Da alle meteorologischen Geräte und die Wolkenpartikelsensoren sehr verlässlich arbeiteten, wurde ein umfangreicher Datensatz gesammelt. Er zeichnet sich gegenüber den Ergebnissen früherer Meßprogramme dadurch aus, daß die Einflußgrößen im Energieaustausch zwischen Oberfläche und Wolken fast vollständig erfaßt wurden. Teilweise kombiniert mit den Flügen für Stratusuntersuchungen, wurden an 12 Tagen Sonnenphotometermessungen im Höhenbereich zwischen 100 m und 4 km, in einem Fall bis 7 km Höhe, durchgeführt. Es wurde festgestellt, daß in der Arktis auch im Sommer episodisch dünne Aerosolschichten auftreten, die der Belastungssituation in Mitteleuropa entsprechen.

Bei den gleichen Einsätzen wurden durch das Unterfliegen von Stratuswolken auch Oberflächendaten gewonnen. Sie dienen dem Vergleich mit Rückstreudaten des SAR-Instruments des im April 1995 gestarteten ERS-II sowie Eisbedeckungsdaten des SSM/I-Sensors des DMSP-Satelliten im Mikrowellenbereich. Daten der atmosphärischen Vertikalstruktur, u.a. bestimmt durch 430 Auf- und Abstiege der Flugzeuge, können zum Vergleich mit anderen Satellitensensoren genutzt werden. Hierzu zählen die Kanäle 3 bis 5 der NOAA-Satelliten (Detektion dünner Wolken und Bestimmung der Oberflächentemperatur) sowie die SSM/I-Kanäle (Wolkeneffekte).

Die Einsätze der Polarflugzeuge wurden bis 1998 vorgeplant. Die Anmeldungen deutscher Universitäten und Forschungsinstitute einschließlich des Alfred-Wegener-Instituts konzentrieren sich auf die geophysikalische Erkundung der kontinentalen Eisbedeckungen und der Krustenstruktur in Grönland und Antarktis sowie auf atmosphärische Prozesse über den eisbedeckten polaren Ozeanen und Grönland.

#### 4.3.4 Weitere Einsatzplanung für die Polarflugzeuge

Die Anmeldungen wurden von Mitgliedern des Nutzerbeirats begutachtet und in der Technischen Kommission der Polarflugzeuge auf ihre Durchführbarkeit geprüft. Auf der Grundlage der Begutachtung und der Klärung der logistischen Rahmenbedingungen bzw. Durchführbarkeit wurde – vorbehaltlich der Finanzierung – der Einsatzplan bis Anfang 1998 festgelegt.

#### 4.4 Landexpeditionen

In den Jahren 1994 und 1995 unternahm die geowissenschaftliche Arbeitsgruppe der Forschungsstelle Potsdam des AWI mehrere Landexpeditionen nach Sibirien und in die Antarktis. Die Expeditionslogistik stellten bei allen Vorhaben die russischen Partner, vor allem das Arktis- und Antarktis-Forschungsinstitut (AARI) in St. Petersburg. Die Projekte wurden gemeinsam mit Gruppen des AARI und anderer russischer Forschungseinrichtungen durchgeführt.

##### 4.4.1 Expeditionen nach Sibirien

##### **Expeditionen zu den sibirischen Flüssen Lena und Jana**

„System Laptev See“ ist die Bezeichnung für ein Verbundvorhaben des Forschungsministeriums, in dessen Rahmen zwei Expeditionen zu den in die Laptevsee mündenden sibirischen Flüssen durchgeführt wurden, und zwar vom 3. Juli 1994 bis zum 7. August 1994 und vom 26. Juni 1995 bis zum 7. September 1995 (Leitung: Dr. Volker Rachold). An den Expeditionen, die in logistischer und wissenschaftlicher Zusammenarbeit mit der Geographischen Fakultät der Universität Moskau organisiert wurden, nahmen jeweils zwei Mitarbeiter vom AWI Potsdam und zwei Moskauer Wissenschaftler teil. Das Ziel der Expeditionen war die Beprobung von Flußsedimenten, Flußwasser und Suspensionsfracht der sibirischen Flüsse. Während sich die Untersuchungen der russischen Kollegen auf die Quantifizierung des rezenten und fossilen Sedimenteintrags in die Laptevsee konzentrieren, werden Flußsedimente und Suspensionsfracht am AWI Potsdam mit Hilfe geochemischer und mineralogischer Methoden charakterisiert.

Die erste Expedition im Jahre 1994 mit dem Forschungsschiff der Universität Moskau „Prof. Makkaveev“ führte von Jakutsk bis zum Delta der Lena und zurück. An 24 Stationen wurden Proben aus Oberflächensedimenten und Flußwasser der Lena sowie der wichtigsten Nebenflüsse Aldan und Viljui gewonnen. Im Jahr 1995 wurden die Probennahmen aus der Lena zwischen Jakutsk und dem Lena-Delta mit der „Prof. Makkaveev“ wiederholt (Abb. 1). Zusätzlich konnten Proben vom Oberlauf der Lena, von etlichen Nebenflüssen sowie des Olenjok und des

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

Omoloy gewonnen werden. Außerdem wurden die unterschiedlichen Kanäle des Lena-Deltas detailliert untersucht. Die zweite Etappe der Expedition führte zur Jana, dem zweitgrößten in die Laptewsee mündenden Fluß. Dort wurden die Proben von einem Schnellboot aus genommen. Über die wissenschaftlichen Ergebnisse dieser Expeditionen wird im Kapitel 2 berichtet (Sibirien: Ursprungsregion arktischer Sedimente).

#### Expeditionen zur Taimyr-Halbinsel und nach Severnaja Zemlja

Zusammen mit dem Archipel „Severnaja Zemlja“ umfaßt die Taimyr-Halbinsel heute das gesamte Spektrum arktischer Landschaften, von der südlichen Tundra bis zur arktischen Wüste. Dazu kommt die in den Gebirgsregionen vorhandene Höhenzonierung.

Aufbauend auf den Erfahrungen und Ergebnissen einer 1993 durchgeführten Pilotstudie auf der Taimyr-Halbinsel und im Gebiet von Norilsk, wurde das deutsch-russische Forschungsprojekt „Die Umweltentwicklung Mittelsibiriens im Spätquartär“ konzipiert, das seit 1994 vom Forschungsministerium als Verbundvorhaben gefördert wird. Über die wissenschaftlichen Ergebnisse der Paläo-Umweltuntersuchungen an Probenmaterial von Norilsk wird im Kapitel 2 berichtet: Spät- und postglaziale Vegetations- und Klimageschichte des nördlichen Mittelsibiriens.

Der Schwerpunkt der Expedition „Taimyr 94“ (11. Juli bis 9. September 1994) lag auf geokryologischen und hydrologischen Untersuchungen, hauptsächlich im Gebiet des Levinson-Lessing-Sees (Byrranga-Gebirge) und im Labas-Gebiet (östlicher Teil der Taimyr-Tiefebene; Abb. 2).

Im Gebiet des Levinson-Lessing-Sees (Byrranga-Gebirge) lag der Arbeitsschwerpunkt auf hydrologischen Untersuchungen und Fragen des Stofftransportes in Per-

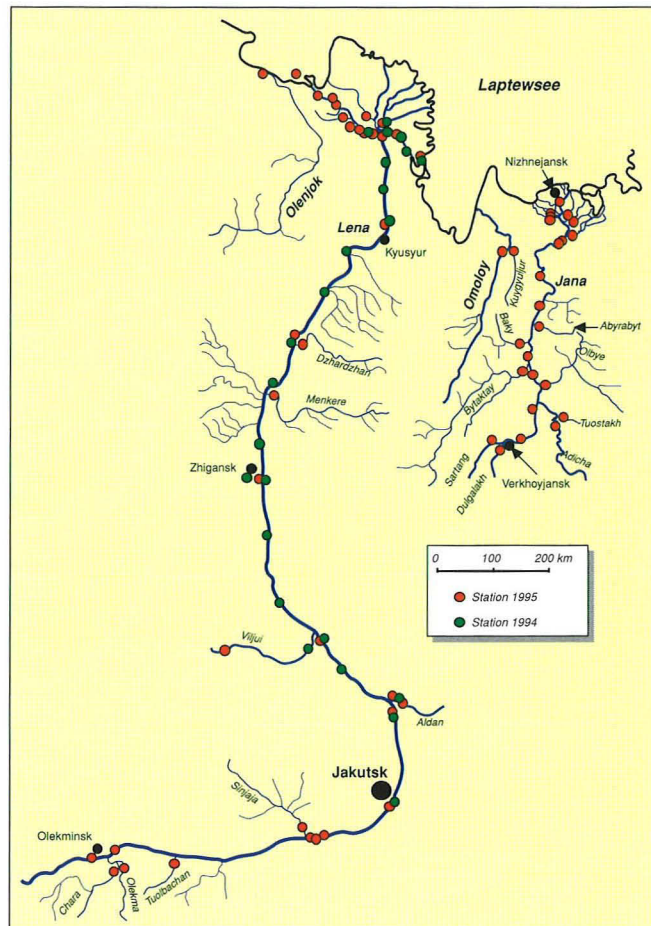


Abb. 1: Stationen der Expeditionen Lena 94 und Lena/Jana 95.

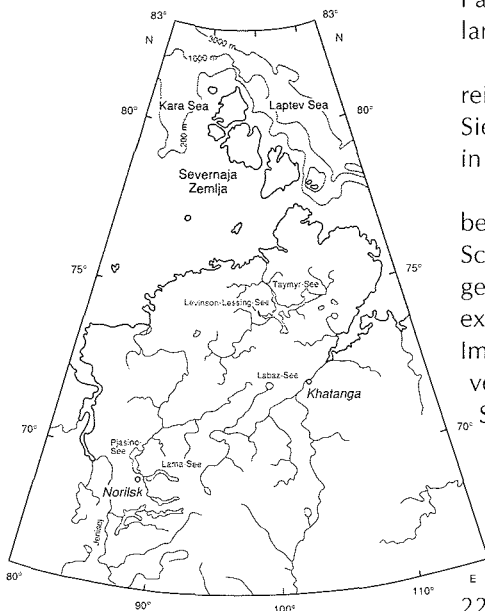


Abb. 2: Arbeitsgebiete während den Expeditionen Taimyr 94 und Taimyr/Severnaja Zemlja 95.

mafrostlandschaften (Leitung: Dr. D. Yu. Bolshiyarov und Julia Boike). Zur Vorbereitung der für 1995 geplanten Feldarbeiten wurden Meßgeräte in ausgewählten Profilen installiert. Die bereits in den vorhergehenden Jahren von den russischen Partnern (AARI) begonnenen quartärgeologischen, geomorphologischen und landschaftsökologischen Untersuchungen wurden weitergeführt.

Im Labas-Gebiet (östlicher Teil der Taimyr-Tiefebene) erfolgten erste umfangreiche paläogeographisch-geokryologische Untersuchungen (Leitung: Dr. Christine Siegert). Sie wurden durch bodenkundliche und mikrobiologische Untersuchungen in den rezenten Tundrenböden ergänzt.

Die Expedition „Taimyr/Severnaja Zemlja 95“ (20. April bis 26. Oktober 1995) bestand aus insgesamt sechs Teilabschnitten, in denen die wissenschaftlichen Schwerpunkte der Expedition von 1994 fortgeführt und zusätzlich Seesedimente gewonnen wurden. Zur Planung künftiger Unternehmungen führte eine Pilotexpedition nach Severnaja Zemlja.

Im ersten Abschnitt im April/Mai 1995 (Leitung: Pier P. Overduin) wurden aus vier verschiedenen Seen der Taimyr-Halbinsel von der geschlossenen Eisdecke aus Seesedimente beprobt. Dabei wurden in drei Seen Kerne mit Längen zwischen 5 und 14 Metern entnommen, das entspricht der kompletten Sedimentabfolge. Im Levinson-Lessing-See konnte mit einem Kerngewinn von 22,3 Metern der bislang längste Kern gezogen werden. Die Basis der limnischen Sedimente wurde in diesem See jedoch nicht erreicht.

Die Arbeiten am Levinson-Lessing-See wurden 1995 vom 4. Juni bis 22. Oktober in drei Abschnitten durchgeführt (Leitung: Julia Boike und Dr. Birgit Hagedorn). Dabei konnten die hydrologischen Prozeßuntersuchungen in der Auftauschicht des Permafrostbodens sowie in der Wassersäule des Sees und in seinen Zuflüssen erstmalig in einer kompletten Zeitserie vom beginnenden Tauen bis zum kompletten Gefrieren im Herbst untersucht werden. Die während der Expedition 1994 installierten Meßgeräte und Sonden haben problemlos gearbeitet und hervorragende Daten und Proben geliefert. Von den russischen Partnern (AARI) wurden die quartärgeologischen, geomorphologischen und landschaftsökologischen Untersuchungen weitergeführt. Sie wurden ergänzt durch bodenkundliche und mikrobiologische Untersuchungen in den rezenten Tundrenböden durch die Partner des Verbundvorhabens des Forschungsministeriums: dem Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg und dem Institut für Polarökologie der Universität Kiel.

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

Im Labas-Gebiet (östlicher Teil der Taimyr-Tiefebene) wurden die 1994 begonnenen umfangreichen paläogeographisch-geokryologischen Arbeiten in wissenschaftlicher Kooperation mit der Universität Moskau und dem AARI fortgeführt und zu einem vorläufigen Abschluß gebracht (Leitung: Dr. Christine Siegert; 13. Juli bis 7. September 1995). Ebenfalls abgeschlossen wurden die bodenkundlichen und mikrobiologischen Untersuchungen in den rezenten Tundrenböden durch die Hamburger und Kieler Verbundpartner.

In einer Pilotexpedition nach Severnaja Zemlja (Leitung: Dr. Hans-Wolfgang Hubberten) wurden die auf den verschiedenen Inseln des Archipels existierenden Seen besucht sowie erste bodenkundliche und mikrobiologische Probenahmen durchgeführt. Die dabei erhaltenen Informationen sind die Grundlage für eine Expedition, die für das Jahr 1996 geplant ist, bei der schwerpunktmäßig Seesedimente aus diesem am weitesten nördlich gelegenen Bereich des Untersuchungsgebietes gewonnen werden sollen.

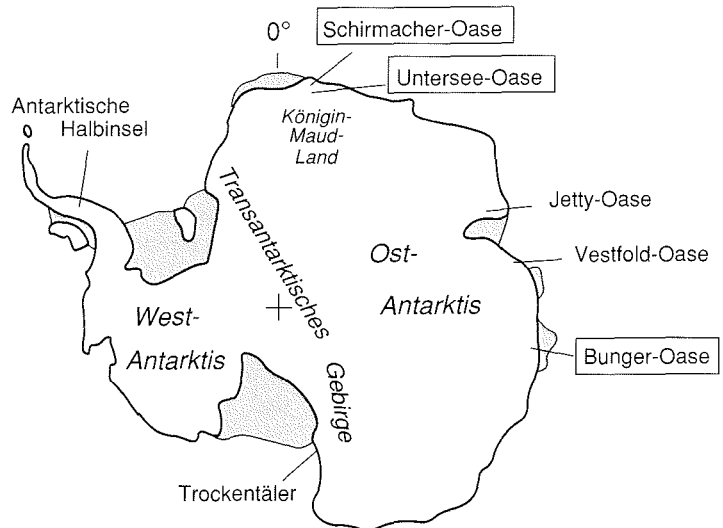


Abb. 3: Arbeitsgebiete während der beiden Antarktis-Expeditionen.

#### **Expedition Bunger-Oase (22.12.1993 - 02.05.1994)**

Das Ziel des gemeinsam mit dem AARI, St. Petersburg, durchgeführten Projektes ist es, unsere bisherigen Kenntnisse über die Entstehung und die spätquartäre Entwicklung der größten ostantarktischen Oase zu vertiefen. Damit soll ein Beitrag zum Verständnis der spätquartären Entwicklungsgeschichte der Ostantarktis geleistet werden (Abb. 3).

Das russische Forschungsschiff „Akademik Fedorov“ erreichte am 22. Januar 1994 das Shackleton-Schelfeis ca. 250 km westlich der Bunger-Oase. Mit Helikoptern (MI-8) wurden die vier AWI-Mitarbeiter (Leitung: Dr. Martin Melles) und die zwei AARI-Wissenschaftler (Leitung: S. Verkulich) zusammen mit einem Teil der Ausrüstung auf die Geographen-Insel im Nordwesten der Oase ausgeflogen. Von einem Feldlager aus wurden bis zum 31. Januar Sedimentkerne aus Seen und Meeresbecken gewonnen, deren Wasserkörper beprobt, geomorphologische

#### 4.4.2 Expeditionen in die Antarktis

Studien durchgeführt und verschiedenstes terrestrisches Material gesammelt. Anschließend wurde ein ca. 5 km östlich der russischen Sommerstation „Oasis“ gelegener See beprobt. Am 10. Februar wurde die Ausrüstung mit Hilfe eines russischen Kettenfahrzeuges in den Westen der Oase zur australischen Sommerstation „Edgeworth David“ umgesetzt. Dort wurde ein Zeltlager eingerichtet, von dem aus Sedimentproben der Transkriptii-Bucht, der Izvilistaja-Bucht und von umliegenden Gebieten genommen wurden.

Nach dem Rücktransport zu „Oasis“ wurden in der Zeit von 18. Februar bis 1. März die Rybiy-Khvost-Bucht und die südliche Kakapon-Bucht beprobt. Für die Probenahme in der nördlichen Kakapon-Bucht und bei der Thomas-Insel wurde vom 2. bis 7. März ein Zeltlager auf der Geologen-Insel eingerichtet. Danach wurden von „Oasis“ aus Sedimentproben aus der östlichen Izvilistaja-Bucht und aus dem ca. 15 Kilometer langen Figurnoe-See gewonnen. Die Rückreise erfolgte vom Shackleton-Schelfeis aus mit der „Akademik Fedorov“, die am 29. April 1994 in Kapstadt einlief.

**Expedition Schirmacher-  
Oase 1994/95 – Zentra-  
les Königin Maud-Land  
(Ostantarktis)**

Die ursprünglich geplante Expeditionsdauer von November 1994 bis April 1995 verkürzte sich wegen logistischer Probleme der russischen Kooperationspartner vom AARI auf die Zeit vom 10. Januar bis 10. Mai 1995. Die aus sieben AWI-Mitarbeitern und einem russischen Gastwissenschaftler bestehende geowissenschaftliche Arbeitsgruppe der Forschungsstelle Potsdam unter der Leitung von Dr. Ulrich Wand teilte sich vor Ort in zwei Gruppen.

Die erste Gruppe führte Untersuchungen an Seen im Wohlthat-Massiv (Untersee-Oase) und in der Schirmacher-Oase durch. Im Mittelpunkt dieser Feldarbeiten stand die Gewinnung von Sedimentkernen in ausgewählten periglazialen Seen. Die Grundlage der Auswahl waren Ergebnisse einer Pilotexpedition der Forschungsstelle Potsdam, die 1991/92 durchgeführt worden war. Während der Expedition 1994/95 ist im Untersee im Wohlthat-Massiv eine maximale Tiefe von 169 Metern gemessen worden. Damit ist dieser See, soweit bekannt, der zweitiefste See der Ostantarktis. Durch bathymetrische Messungen wurde ein anoxisches Teilbecken des ansonsten oxischen Seebereichs gefunden. In der Schirmacher-Oase wurden die Seen Glubokoje und Sub vom 17. März bis 4. April beprobt.

Im Februar/März 1995 wurden Schweremessungen südlich der Schirmacher-Oase bis zu den Gruberbergen und zu den Skaly Arkticheskogo Instituta (Skaly AI, 71°18' S, 11°29' O) durchgeführt. Die einzelnen Meßstationen hatten einen

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

mittleren Abstand von etwa 1 Kilometer. Die Eisdickenmessungen erfolgten durch reflexionsseismische Untersuchungen südlich der Schirmacher-Oase; das diente der Ergänzung der Radardaten von 1991/92. Ein Firnkern (Länge 12,3 m) wurde im Gebiet Schirmacher-Oase - Skaly AI für isotopestratigraphische und chemische Untersuchungen gewonnen. Hieraus sollen repräsentative Akkumulationswerte für dieses Gebiet ermittelt und die seit 1988 vorliegenden Firnpegelbeobachtungen ergänzt werden.

Die aus früheren Feldmessungen vorliegenden geomagnetischen Daten wurden durch detailliertere Kartierungen im Bereich des russischen Flugplatzes und entlang einer Störungszone bei ca.  $71^{\circ} 00' S$ ,  $13^{\circ} 20' O$  vervollständigt.

Der Transport der beiden Gruppen von und nach Kapstadt erfolgte mit russischen Schiffen (Akademik Fedorov oder Michail Somov).

### 4.5 Neumayer-Station

Die deutsche Antarktisstation Georg-von-Neumayer wurde 1981 auf dem Ekström-Schelfeis als geophysikalisches, meteorologisches und luftchemisches Observatorium, sowie als logistische Basis für Sommerexpeditionen errichtet. Der im März 1992 fertiggestellte Neubau der Neumayer-Station ( $70^{\circ} 39' S$ ;  $8^{\circ} 15' W$ ) führt diese Aufgaben weiter und verfügt über eine moderne technische Ausstattung, welche die Forschungsarbeiten auf der Station unterstützt. Seit 1981 wurde der kontinuierliche wissenschaftliche Betrieb ohne Unterbrechung fortgesetzt und in den letzten Jahren ständig erweitert. Er wird zur Zeit durch vier Wissenschaftler sichergestellt.

Die primären Aufgaben des geophysikalischen Observatoriums sind:

- die kontinuierliche Beobachtung und Aufzeichnung der regionalen und globalen Erdbebenaktivität
- die Registrierung der zeitlichen Variationen des Erdmagnetfeldes (Totalintensität  $F$  und Feldkomponenten  $NS$ ,  $EW$  und  $Z$ )
- die Erfassung der gezeitenbedingten Vertikalbewegungen des Ekström-Schelfeises (in Zusammenhang mit Echolotmessungen zur direkten Bestimmung der Abschmelzrate an der Schelfeisunterseite).

Das Observatorium besteht aus zwei räumlich getrennten Teilobservatorien, dem sog. Seismik- und dem Magnetikobservatorium, die ca. 100 m voneinander ent-

#### 4.5.1 Das geophysikalische Observatorium

fernt sind. Um Störungen durch die Station selbst, sowie durch den üblichen Stationsbetrieb zu vermeiden, wurde das Observatorium ca. 850 m südlich der Station errichtet. Die Meßcontainer beider Teilobservatorien befinden sich mehrere Meter tief unter der Schneeoberfläche in überdachten Schneegruben, um Erschütterungen bei starken Stürmen so gering wie möglich zu halten. Das Magnetikobservatorium beherbergt ausschließlich die Sensoren (Förstersonden) zur Magnetfeldmessung und einen Theodoliten zur Bestimmung von Deklination und Inklination. Zur Aufzeichnung werden die Meßwerte über ein Kabel in das Seismikobservatorium übertragen. Hier sind die Seismometer und das Gezeitengravimeter installiert. Neben den Meßwerten aus dem Magnetikobservatorium werden hier auch die Signale von zwei PPM-Magnetometern zur Erfassung der Gesamtfeldstärke übernommen, ebenso wie die Echolotdaten. Mit Ausnahme der Seismometersignale, die zur Station übertragen werden, werden alle anfallenden Daten hier zentral digital aufgezeichnet. Die dazu eingesetzte Sun-Workstation ist über ein Glasfaserkabel mit den Sun-Rechnern im Geophysiklabor in der Station verbunden. Diese Rechnerkopplung ermöglicht eine permanente online-Kontrolle des gesamten Observatoriumbetriebes und auch eine schnellere vor-Ort-Auswertung der Daten.

Ergänzend zu den Stationsseismometern wird ein räumlich ausgedehntes Netzwerk von derzeit sechs seismologischen Außenstationen unterhalten, die zwischen 10 und 90 km von der Hauptstation entfernt sind. Die seismischen Signale werden kontinuierlich zur Station übertragen. Die Aufzeichnung der beobachteten Erdbebenwellen erfolgt ereignisgetriggert und ist äußerst zuverlässig. Die digitale Magnetbandaufzeichnung startet automatisch, wenn die Amplituden ankommender seismischer Wellen eine definierte Triggerschwelle überschreiten. Die Energieversorgung dieser Außenstationen bereitet immer noch gewisse Probleme. Solarzellen können nur während der Monate mit ausreichender Sonnenscheindauer die Akkumulatoren auf vollem Ladezustand halten. Versuche mit Windgeneratoren zur Überbrückung der Wintermonate waren leider wenig erfolgreich. Derzeit werden für die Energieversorgung versuchsweise Zink-Sauerstoff-Batterien mit einer Kapazität von 2.200 Ah eingesetzt.

Die Magnetik- und Seismologiedaten werden regelmäßig an das World Data Center (WDC) und an das International Seismological Center (ISC) gemeldet. Sie werden auch für laufende Forschungsvorhaben am AWI genutzt.



#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

Dieses Observatorium ist eine WMO-Station (World Meteorological Organization) Die folgenden Aufgaben werden hier wahrgenommen:

- Synoptische Wetterbeobachtungen im 3-Stunden Rhythmus.
- Tägliche Sondierung der Atmosphäre mit ballongetragenen Radiosonden.
- Wöchentliche Ozonsondierung der Atmosphäre unter Verwendung der ECC-Ozonsonden.
- Präzise Messung und Erfassung der solaren Einstrahlung im Rahmen des internationalen BSRN-Programms (Base Line Surface Radiation Network).
- Lokale Wettervorhersage und Hilfestellung bei Eisinformationen, Landexpeditionen und Flugoperationen.

Die Observatoriumsdaten werden online in die entsprechenden weltweiten Netze eingespeist. Das Observatorium verfügt über ein meteorologisches Labor, eine Meßstation mit Mast (15 m hoch), Datenerfassungssysteme und diverse meteorologische Geräte, zum Beispiel eine Radiosondenanlage, ein Wetterkartenfax und eine Satellitenbildanlage. Die meteorologischen Daten werden im AWI archiviert und sind über das World Wide Web abrufbar.

Im Winter 1994/95 wurde ein neues, mit modernsten Meßinstrumenten ausgerüstetes luftchemisches Observatorium errichtet. Es ersetzt eine luftchemische Meßstation, die mehr als zehn Jahre in Betrieb war. An dem laufenden Meßprogramm sind neben dem AWI vor allem die Universität Heidelberg (Institut für Umweltphysik), die Universität Mainz (Institut für Physik der Atmosphäre) und der Deutsche Wetterdienst beteiligt.

Durch das Observatorium werden Luftproben von Spurengasen und Aerosolen gewonnen zur späteren Analyse in den Heimatlabors, und es werden ebenso *insitu*-Messungen gasförmiger und partikulärer Komponenten vorgenommen. Die isolierte Lage in einem Reinluftgebiet weit ab von anthropogenen Spurenstoffquellen macht das Observatorium zu einer wertvollen Referenzstation. Das luftchemische Observatorium wurde 1,5 km südlich von der Hauptstation errichtet. Es besteht aus zwei miteinander verbundenen wärmeisolierten Containern, die auf einer höhenverstellbaren Stahlplattform einige Meter über der Schneeoberfläche montiert sind.

Aktuelle Meßdaten werden über das Internet an die Heimatinstitute übertragen. Das laufende Meßprogramm umfaßt:

- Langzeitbeobachtung der Konzentration von Spurengasen in der Troposphäre und Stratosphäre

#### 4.5.2 Das meteorologische Observatorium

#### 4.5.3 Das luftchemische Observatorium

- Kreisläufe langlebiger und kurzlebiger Spurenstoffe
- Aerosole in der antarktischen Troposphäre
- Spurenstoffprofile im Firn.

Es werden zum Beispiel die folgenden Spurenstoffe untersucht: Troposphärisches und stratosphärisches Ozon, NO<sub>2</sub>, OClO, BrO, CH<sub>4</sub>, <sup>12</sup>CO<sub>2</sub>, <sup>13</sup>CO<sub>2</sub>, <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, <sup>85</sup>Kr, <sup>222</sup>Ra, SF<sub>6</sub>, Kondensationskerne, Rußpartikel, PAH's, Sulfat, Nitrat, Cl, Na, MSA.

#### 4.5.4 Rechnersysteme und Netzwerk

Die Neumayer-Station verfügt über moderne Rechnersysteme (Sun-Workstations), die in einem Netzwerkverbund stehen. Die Systempflege und Verwaltung wird durch das AWI-Rechenzentrum unterstützt.

#### 4.5.5 UV-B-Personendosimetrie

Zur Untersuchung der Auswirkung der UV-B-Strahlung auf den Menschen werden seit 1994 Dosismessungen an Personen unter Verwendung verschiedener Dosimeter durchgeführt.

### 4.6 Dallmann-Laboratorium

Das Dallmann-Laboratorium wurde im Januar 1994 unter Beteiligung der Institutsleitungen des Instituto Antártico Argentino (IAA) und des AWI als Annexstation an der argentinischen Station Jubany auf King George Island offiziell eingeweiht. Infolge starken Andrangs wurde inzwischen eine Erweiterung durch Containerbauten notwendig, die auch ein Versuchsaquarium einschließt. Das Dallmann-Labor ist eine der „core stations“ des vom Scientific Committee for Antarctic Research (SCAR) initiierten EASIZ-Programms (Ecology of the Antarctic Sea Ice Zone).

In der ersten Phase wurden vor allem Taucharbeiten zur Flachwasserökologie betrieben („Rascals“-Projekt), die sowohl zoologischen als auch botanischen Zwecken dienten. Daneben wurden Untersuchungen an Flechten und Warmblütern durchgeführt. In der Saison 1994/95 waren am Dallmann-Labor und von der benachbarten Ardley-Hütte aus insgesamt elf Deutsche zu verschiedenen Zeiten tätig, davon vier Personen aus dem AWI. Die Forschungsthemen umfaßten Arbeiten am Makro- und Meiozoobenthos, insbesondere – in Kooperation mit dem ICM Barcelona – an Suspensionsfressern; an Makroalgen, an Robben und Pinguinen sowie deren Parasiten in Fischen und Wirbellosen, an Flechten und zur Geologie. In der Saison 1995/96 arbeiteten insgesamt zwölf Personen am Dallmann-Labor, sechs davon aus dem AWI.

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

Während dieser Zeit wurde an den folgenden Forschungsthemen gearbeitet:

- die Entwicklung des Phytoplanktons in der Potter Cove in Abhängigkeit von Eisbedeckung und Lichtexposition, insbesondere von der UV-B-Strahlung,
- der Einfluß erhöhter  $H_2O_2$ -Werte auf Tiere aus dem Gezeitenbereich,
- die Rolle der dominanten benthischen Suspensionsfresser (Schwämme, Ascidien, Hydrozoen, Muschel *Laternula*) für den Energiefluß und
- Untersuchungen des Lipidstoffwechsels sowie des Energiehaushalts des Südlichen See-Elefanten.

Alle Arbeiten wurden zusammen mit argentinischen Wissenschaftlern durchgeführt, meist vom Instituto Antártico. Ein Großteil der Daten geht sukzessive in ein trophisches Gleichgewichtsmodell der Potter Cove ein, das anschließend mit dem Weddellmeer-Modell verglichen werden soll. Der Austausch zwischen AWI und IAA wurde durch WTZ-Projekte unterstützt. Drei Dissertationen der Sektion Biologie I basieren stark auf Jubany-Daten, vier weitere werden gegenwärtig dort durchgeführt oder analysieren Material von dort. Der koreanische Diplombiologe Do Hong, der am AWI an seiner Dissertation arbeitet, verbrachte die Saison an der benachbarten Station Kim Sejong in enger Kooperation mit der Gruppe am Dallmann-Labor.

Sowohl während der Saison 1994/95 als auch 1995/96 bemühte sich Richard Steinmetz zusammen mit IAA-Technikern um technische Verbesserungen an den Einrichtungen des Labors. Der Aquariencontainer ist seit Anfang 1996 einsatzbereit.

### 4.7 Koldewey-Station

Die Koldewey-Station (78,9° N; 11,9° O) in der norwegischen Siedlung Ny-Ålesund auf Spitzbergen ist das arktische Observatorium des AWI. Sie wird für Messungen zur Erforschung der polaren Atmosphäre sowie für Feldarbeiten zu biologischen und geowissenschaftlichen Fragestellungen genutzt. Seit 1988 wurde die Station weiter ausgebaut. Im Berichtszeitraum gehörte dazu die Verbesserung des lokalen Computernetzes und der Anschluß an das Internet. Die Koldewey-Station war ständig mit einem Stationsleiter und seit dem 1. September 1994 zusätzlich mit einem Stationsingenieur besetzt.

Die Koldewey-Station liefert Meßdaten für zahlreiche Forschungsvorhaben des AWI und anderer Institute im In- und Ausland. Sie ist an internationalen Meßkampagnen beteiligt und mit langjährigen Messungen in globale Netzwerke einge-

#### 4.7.1 Zielsetzungen, technischer Ausbau und internationale Kooperation

bunden. Besonders hervorzuheben ist das NDSC (Network for Detection of Stratospheric Change) zur Erfassung globaler stratosphärischer Veränderungen mit qualifizierten fernerkundenden und insitu-Messungen sowie das BSRN (Baseline Surface Radiation Network) zur Erfassung langzeitiger Veränderungen der kurzwelligen und langwelligen Strahlungsbilanz an der Erdoberfläche im Rahmen des Weltklima-Forschungsprogrammes, gemeinsam mit dem Norsk Polarinstitut. Die Messungen im Rahmen der NDSC-Station werden in deutsch-norwegischer Kooperation durchgeführt. Neben dem AWI sind das Institut für Fernerkundung der Universität Bremen und das norwegische Institut für Atmosphärenforschung (NILU) beteiligt.

Das neue NDSC-Laborgebäude wurde am 6. Juni 1995 durch den deutschen Minister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Herrn Dr. Jürgen Rüttgers, im Beisein des norwegischen Wissenschaftsministers, Herrn Prof. Gudmund Hernes, eingeweiht. Koldewey-Station und NDSC-Laboratorium sind wichtige Bestandteile der „Ny-Ålesund International Arctic Research and Monitoring Facility“, deren wissenschaftliche Aktivitäten durch einen internationalen Beirat (Ny-Ålesund Scientific Manager Committee - NySMAC) mit Vertretern aus bislang fünf Ländern in Zusammenarbeit mit dem Norsk Polarinstitut koordiniert werden. Um künftig Wissenschaftlern aus allen EU-Ländern den Zugang zu den Forschungseinrichtungen in Ny-Ålesund, und damit auch zur Koldewey-Station zu erleichtern, wurden Fördermittel aus dem EU-Rahmenprogramm Training and Mobility for Researchers (TMR) für Forschungsaufenthalte bewilligt. Die Beteiligung an der dritten Phase zum Second European Stratospheric and Midlatitude Experiment (SESAME - Phase III) war der Schwerpunkt für die Arbeit der Koldewey-Station im Winter 1994/95. Zusätzlich zu den NDSC-Messungen erfolgten etwa 65 Ballonsondierungen zur Messung der vertikalen Ozonverteilung. Im Rahmen des Meßprogramms „Match“, durch welches erstmals der chemische Ozonabbau in der arktischen Stratosphäre nachgewiesen werden konnte, wurden etwa 1.000 Ozonsondierungen von 35 europäischen, kanadischen, sibirischen und japanischen Stationen aus durchgeführt. Dieses Forschungsprogramm wurde durch das AWI koordiniert (siehe auch Kapitel 2: Koordinierte Ozonsondierungen zur Bestimmung des Ozonabbaus im arktischen und subarktischen Winter).

Im Frühjahr 1995 beteiligte sich die Koldewey-Station mit zusätzlichen Ozonsondenstarts an der Arctic Tropospheric Ozone Chemistry (ARCTOC)-Kampagne, die von der Universität Heidelberg koordiniert wurde. In diesem Zusammenhang führte das AWI Aerosol-,  $H_2O_2$ - und DMS-Messungen in der bodennahen Luft-

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

schicht durch, um die bisher nur unvollständig verstandenen kurzzeitigen Ozonverluste in Bodennähe genauer zu untersuchen.

Im Rahmen des NDSC wurden im Berichtszeitraum die folgenden Messungen durchgeführt:

- Mehrwellen-Lidar mit vier Rückstreu- und drei Stickstoff-Raman-Wellenlängen zur Untersuchung des stratosphärischen Ozons, der Aerosole und stratosphärischer Wolkenpartikel (wissenschaftliche Betreuung und Stationsbetrieb durch das AWI).
- FT-Spektrometer zur Messung atmosphärischer Spurengase im infraroten, ultravioletten und sichtbaren Spektralbereich mit Sonne und Mond als Lichtquellen (wissenschaftliche Betreuung und Stationsbetrieb durch AWI).
- Zweikanal-Mikrowellenradiometer (RAM) zur Messung der Ozon- und ClO-Verteilungen in der Stratosphäre bis in die untere Mesosphäre (Entwicklung und wissenschaftliche Betreuung durch das Institut für Fernerkundung an der Universität Bremen, seit dem 1. Juli 1995 Stationsbetrieb durch das AWI im Rahmen eines Vertrages zwischen dem AWI und dem Institut für Umweltphysik der Universität Bremen).
- UV/VIS-Gitter-Spektrometer (SAOZ) für Zenit-Streulichtmessungen im ultravioletten (UV) und sichtbaren (VIS) Spektralbereich 300 bis 600 nm zur Bestimmung der Ozon- und NO<sub>2</sub>-Säulendichten (wissenschaftliche Betreuung und Stationsbetrieb durch NILU).

Des Weiteren wurde das NDSC-Laboratorium für die folgenden atmosphärischen Untersuchungen mit Verfahren der Fernerkundung genutzt:

- Mehrkanal-Photometer zur Messung der spektralen optischen Dicke der Aerosole im Spektralbereich 350 bis 1050 nm mit Sonne und Mond als Lichtquelle (wissenschaftliche Betreuung und Stationsbetrieb durch AWI).
- UV-B-Mehrkanal-Radiometer zur spektral hochaufgelösten Messung der solaren Strahlungsintensität im UV-B-Bereich (Entwicklung, wissenschaftliche Betreuung und Stationsbetrieb durch AWI).
- Differentielles Optisches Absorptionsspektrometer (DOAS) zur Messung stratosphärischer Spurengase für die Validierung des GOME-Instruments an Bord des Satelliten ERS-II (Entwicklung und wissenschaftliche Betreuung durch das Institut für Umweltphysik der Universität Bremen; Stationsbetrieb durch AWI).

#### 4.7.2 Untersuchungen der Atmosphäre mit bodengebundenen Instrumenten

- Weiterentwickeltes UV/VIS-Gitter-Spektrometer zur Messung der Ozon-, NO<sub>2</sub>, OClO und BrO-Säulendichten (wissenschaftliche Betreuung und Probebetrieb durch NILU).

#### 4.7.3 Ballonsondierungen für atmosphärische Untersuchungen

Die insitu-Messungen mit ballongetragenen Standard-Radiosonden dienen zur regelmäßigen Messung der Temperatur-, Feuchte- und Windprofile. Diese Daten werden auch zur Auswertung der fernerkundenden Messungen verwendet und operationell in das weltweite Datennetz der World Meteorological Organization gemeldet. Die regelmäßigen Ballonsondierungen mit elektrochemischen Ozonsensoren (ECC) sind Teil einer Meßreihe zur Erfassung der vertikalen Ozonverteilungen bis in etwa 30 km Höhe. Die Ozonsondierungen sind ebenfalls für das NDSC qualifiziert.

Im Berichtszeitraum kamen die folgenden Ballone und Sensoren im Rahmen von Kampagnen zum Einsatz:

- Ballongetragener optischer Ozonsensor (Balloon-borne Optical Sensor) mit dem Höhenballonen (BT-5) zur Messung der vertikalen Ozonverteilungen bis in die obere Stratosphäre (Zusammenarbeit zwischen AWI, dem National Institute of Polar Research und der Tohoku University in Japan).
- Ballongetragener optischer Partikelzähler (Optical Particle Counter) mit Standardballon zur direkten Messung der vertikalen Verteilung des atmosphärischen Aerosols und stratosphärischer Wolkenpartikel bis in die mittlere Stratosphäre (Zusammenarbeit zwischen AWI und der Nagoya University in Japan).

#### 4.7.4 Automatische Meßstationen für atmosphärische und geowissenschaftliche Untersuchungen

Automatische Meßstationen wurden zur kontinuierlichen Registrierung atmosphärischer und seismologischer Parameter betrieben. Dazu gehörten im Berichtszeitraum:

Die Meßstation zur Registrierung der kurzwelligen und langwelligen Strahlungsbilanz sowie relevanter meteorologischer Parameter im Rahmen der Baseline Surface Radiation Network (BSRN) in Zusammenarbeit zwischen AWI und dem Norsk Polarinstitut.

Die Meßstation zur Registrierung der seismischen Aktivität im Rahmen der Global Seismological Network (GSN) in Zusammenarbeit zwischen AWI, Institute of Solid Earth Physics der Universität Bergen und dem Norsk Polarinstitut.

Automatische Niederschlagssammler und die Gewinnung von Totaldepositionsproben an drei Standorten in Ny-Ålesund zur Analyse atmosphärischer

#### 4. Großgeräte, Expeditionen und Landstationen

Ferntransporte von Aerosolen und Schwermetallen in Zusammenarbeit zwischen AWI, Norsk Polarinstitut und National Institute of Polar Research Japan.

Im Berichtszeitraum arbeiteten Wissenschaftler des AWI und verschiedener deutscher Universitäten auf Spitzbergen, die zur Durchführung ihrer Feldarbeiten die logistische Unterstützung und die Einrichtungen der Koldewey-Station nutzten. Für die Bearbeitung biologischer und chemischer Proben standen zwei Labors zur Verfügung. Folgende Projekte wurden durchgeführt:

Institut für Polarökologie der Universität Kiel: Vergleichende Untersuchungen zur ökologischen Bedeutung der Sinnesleistung und des Verhaltens von Fischen der Polarmeere (1994).

AWI: Die Rolle organischer Verbindungen in arktischen Küstengebieten (1994).

Universitäten Göttingen und Karlsruhe: Morphodynamische Untersuchungen zu Bodenbewegungen im Isfjord, Liefdefjord und Bockfjord (1994).

Universität Münster: Geologisch-tektonische Untersuchungen im Gebiet nördlich des Kongsfjord (1994 und 1995).

AWI, Universität Marburg: Untersuchungen zum Einfluß übermäßiger Strahlungsintensitäten auf die Photosyntheseleistung mariner Makroalgen (1995). Die Algen wurden unter definierten Lichtverhältnissen im Nansen-Labor, sowie der natürlichen Strahlung in Außenbecken ausgesetzt. Lichtstreß durch photosynthetisch aktives Licht (PAR) sowie durch kurzwellige, ultraviolette Strahlung (UV-A und B) führt zu einer Abnahme der Photosyntheseleistung von Algen (Photoinhibition). Während der sichtbare Strahlungsanteil zur dynamischen Photoinhibition führt, einem Schutzmechanismus, der die schädigenden Auswirkungen übermäßig absorbiertener Lichtenergie verhindert, bewirkt die blaue und ultraviolette Strahlung eine Schädigung des Photosyntheseapparats (chronische Photoinhibition). Nach den Untersuchungen ist die Fähigkeit zur dynamischen Photoinhibition der einzelnen Arten ausschlaggebend für ihre Tiefenzonierung. Chronische Photoinhibition führt dagegen über einen langen Zeitraum zu einer Verringerung der Photosyntheseleistung, die vermutlich mit einer Abnahme der Biomasseproduktion verknüpft ist.

TU Berlin, HU Berlin, Universität Würzburg: Beobachtungen zur Flug- und Schwimmenergetik der Alkenvögel (1995).

Universität Regensburg: Biomethylierung durch Makroalgen - Untersuchungen im Kongsfjord (1995).

#### 4.7.5 Feldarbeiten in der Umgebung von Ny-Ålesund

#### 4.8 Weitere kleine Stationen

Neben den beiden Überwinterungsstationen „Neumayer“ und „Koldewey“ betreibt das Alfred-Wegener-Institut in der Antarktis vier weitere kleine Stationen, die jedoch nur während der Sommermonate nutzbar sind.

Die Filchner-Station auf dem Filchner-Ronne-Schelfeis ist seit 1983 die Basis der glaziologischen Projekte des AWI in dieser Region. Von der auf Stelzen errichteten Station aus werden die Land- und Flugeinsätze auf dem Schelfeis unterstützt. Im Südsommer 1994/95 fand die fünfte Kampagne des internationalen „Filchner Ronne Ice Shelf Project“ (FRISP) statt, an der über 40 Wissenschaftler und Techniker mehrerer Nationen teilnahmen. Auch in Zukunft wird diese Station für internationale glaziologische Aktivitäten auf dem Schelfeis und in seinem Einzugsgebiet genutzt werden.

An der Überwinterungsstation Georg Forster der ehemaligen DDR, die in die Verantwortung des AWI überging, wurde Anfang 1993 der Überwinterungsbetrieb eingestellt. Das vorher von hier aus durchgeführte Observatoriumsprogramm wird nun von der Neumayer-Station aus weitergeführt. Bis 1995 diente die Station mit ihren Außeneinrichtungen als Basis für geowissenschaftliche Sommerprogramme, die hauptsächlich von der Forschungsstelle des AWI in Potsdam getragen wurden. Nach Ende der letzten Überwinterung wurde im Frühjahr 1993 eine ökologische Sichtung der Station und der Schirmacher-Oase vom AWI durchgeführt. In enger Zusammenarbeit mit dem AARI, St. Petersburg, wurde die Station abgebaut und die Umgebung von Rückständen gesäubert. Die Entsorgungsarbeiten begannen im Frühjahr 1993. In dem vom Bundesforschungsministerium geförderten Sonderprojekt wurden während der dreijährigen Projektlaufzeit etwa 1.000 t Baumaterial, Schrott, Abfälle, Öle und Chemikalien aus der Antarktis entfernt. Im Südsommer 1995/96 waren die Aufräum- und Entsorgungsarbeiten planmäßig abgeschlossen.

An der Drescher-Station auf dem Riiser Larsen-Schelfeis wurden im Südsommer 1994/95 letztmalig Warmblüter erforscht. Die Arbeiten dienen der Untersuchung des Tauchverhaltens und der Nahrungsaufnahme von Weddellrobben.

Die Ardley-Station auf der Ardley-Insel entstammt dem Erbe des Antarktisprogrammes der DDR. Über viele Jahre war die kleine Station Stützpunkt der Pinguinforschung der DDR. 1996/97 werden die Arbeiten an diesem Standort auslaufen und im Bereich des Dallmann-Laboratoriums weitergeführt. Die Einrichtungen sollen im Zuge der Konzentration auf drei Feststationen sowie aus Umweltschutzgründen abgebaut werden.



## 5. Logistik

Eine bemerkenswerte Zunahme der Aktivitäten in beiden Polargebieten war das Hauptkennzeichen dieses Berichtszeitraums. Während in den Vorjahren im Mittel 400 bis 450 Teilnehmer der Polarexpeditionen auszurüsten waren, stieg diese Zahl 1994 sprunghaft an. 1995 waren es etwa 600 Wissenschaftler und Techniker. Mehr als die Hälfte der Expeditionsteilnehmer waren Mitarbeiter anderer Institutionen. All das stellte höhere Anforderungen an die Logistik.

Grundsätzlich ist zu sagen, daß die Logistik des AWI für die Ausrüstung der Fahrtteilnehmer, die Versorgung der Schiffe mit Umschlagsarbeiten in Bremerhaven und auswärtigen Häfen, die Organisation von Nach- und Rücktransporten sowie die Einholung von Forschungsgenehmigungen verantwortlich ist.

Entscheidend war, daß die Einsätze des Forschungskutters „Victor Hensen“ deutlich zugenommen haben. Sowohl 1994 als auch 1995 war das Schiff in Projekte mit verschiedenen Fahrtabschnitten vor Mittelamerika, vor Brasilien sowie im äußersten Süden Südamerikas eingebunden. Das führte neben den fast 30 Fahrten in der Deutschen Bucht sowie in der Nord- und Ostsee zu einer höheren Auslastung des Schiffes als üblich.

Die Anzahl der „Polarstern“-Fahrten hat sich nicht verändert. So sind für 1994 und für 1995 jeweils fünf Antarktis- und zwei Arktisfahrten zu verzeichnen. Die Zahl der einzelnen Reisen sowie der Fahrtteilnehmer ist vergleichbar mit denen der Vorjahre.

Auf dem antarktischen Festland stiegen 1994 und 1995 die Forschungsaktivitäten deutlich an. So gab es an der Neumayer-Station 1995/96 ein biologisches Überwinterungsprojekt, bei dem Außenarbeiten logistisch zu unterstützen waren. Im Südsommer 1994/95 wurden gleichzeitig drei Programme durchgeführt – ein biologisches Programm am Drescher-Inlet, ein internationales geologisch-geophysikalisches Projekt in den Shackleton-Bergen sowie die fünfte Phase des internationalen Filchner-Ronne-Schelfeis-Projektes. In die beiden zuletzt genannten Projekte waren auch die Flugzeuge des AWI für aerogeophysikalische Aufgaben sowie zur logistischen Unterstützung eingebunden.

Alle drei Programme erforderten einen über die normale jährliche Routine hinausgehenden Aufwand im Transport, in der Ausstattung und Versorgung sowie in der technischen Unterstützung und Betreuung im Feld. Die Versorgung dieser Projekte schloß den Umschlag von 400.000 Litern Brennstoff, 18 Zwanzig-Fuß-Containern für

festen Gütern, 18 Großschlitten und sieben Großfahrzeugen mit ein. Da die „Polarstern“ primär als wissenschaftliche Plattform einzusetzen ist, stoßen solche Versorgungsaufgaben an die Grenze der Kapazität des Schiffes. Zur Entlastung der „Polarstern“ von logistischen Aufgaben mußte sowohl im Südsommer 1994/95 als auch 1995/96 zusätzliche Transportkapazität eingesetzt werden.

In den letzten beiden Jahren erforderten hauptsächlich neue Projekte einen besonderen logistischen Aufwand. Neben der Unterstützung von Arbeitsgruppen aus deutschen Universitäten im Bereich der Südshetland-Inseln und der Antarktischen Halbinsel sind vor allem die Aktivitäten in der Schirmacher-Oase und auf King George Island sowie ein internationales Geodynamikprojekt zu nennen. Dieses Projekt, an dem verschiedene deutsche und ausländische Institutionen beteiligt waren, fand vor allem im Südsommer 1994/95 statt.

Für die Grundversorgung des Dallmann-Labors sowie für den An- und Abtransport von Personen und Material ist Argentinien verantwortlich. Private Touristenschiffe sowie Fluglogistik südamerikanischer Staaten (vor allem Chile und Uruguay) erweitern den Transport von Personen, was die optimale Auslastung des Laboratoriums erleichtert.

Während der Südsommer 1993/94, 1994/95 und 1995/96 diente die Georg-Forster-Station noch als Basis für geowissenschaftliche Forschungsprogramme in der Schirmacher-Oase, auf dem umgebenden Schelf- und Inlandeis sowie in den Bergen und an den Seen der Gebirgskette Neuschwabenlands. Die ersten beiden Sommerkampagnen wurden im wesentlichen von der Forschungsstelle des AWI in Potsdam unter Beteiligung weiterer Institutionen getragen. In der geologisch-geophysikalischen Kampagne (GEOMAUD) von 1995/96, an der auch die Flugzeuge des AWI teilnahmen, kooperierte das AWI mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover. Der Abbau der Einrichtungen der Georg-Forster-Station wurde parallel zu den wissenschaftlichen Programmen vorangetrieben. Neben der eigenen und der russischen Land- und Seetransportlogistik war der norwegische Versorgungseisbrecher „Polar Queen“ an den Entsorgungsarbeiten beteiligt.

Noch stärker als in der Antarktis ist die Intensivierung der Forschungstätigkeiten in der Arktis zu spüren. Die Koldewey-Station hat sich in den letzten beiden Jahren zu einem begehrten Zentrum deutscher Forschungsinteressen entwickelt, insbesondere seit 1995 das Gebäude für das Netzwerk zur Beobachtung stratosphärischer Änderungen (NDSC - Network for Detection of Stratospheric Change) in Betrieb genommen wurde. In den beiden Berichtsjahren wurde die Station von über 150 Personen genutzt.

## 5. Logistik

Sehr sprunghaft haben seit der Öffnung Rußlands die deutschen Aktivitäten in Sibirien und in der Barents-, Kara- und Lapteewsee zugenommen. Im Berichtszeitraum wurden im nordrussischen und sibirischen Raum allein vom AWI neun Unternehmungen durchgeführt und unterstützt.

Darüberhinaus hat das AWI 1994 und 1995 Expeditionen auf das zentrale grönländische Inlandeis sowie in den nordostgrönländischen Küstenbereich durchgeführt.

Die AWI-Logistik unterstützte in beiden Polargebieten zusammengenommen mehr als 25 Unternehmungen anderer Institute. Ihr Anteil betrug etwa 20 bis 25 Prozent der Gesamtaktivitäten.

Die Logistik ist auch am technischen Ausbau der Forschungsausrüstungen, Flugzeuge und Stationen beteiligt. An der Neumayer-Station waren im Berichtszeitraum eine neue Ballonfüllhalle und eine neue Luftchemiestation zu installieren. Die Windkraftanlage, die in den vergangenen Jahren etwa zehn Prozent des Gesamtenergiebedarfs der Neumayer-Station gedeckt hat, wurde mit einer neuen Steuereinrichtung für die Einspeisung in das Energienetz versehen. Die Filchner-Station wurde im Sommer 1994/95 aufgestockt und ausgerichtet, um die differentielle Bewegung des Schelfeises zu kompensieren. Diese Arbeiten konnten mit eigenem Personal ausgeführt werden.

Das herausragende Ereignis an der Koldewey-Station auf Spitzbergen war der Bau und die Inbetriebnahme des NDSC-Gebäudes, über das in Kapitel 4.7 ausführlich berichtet ist. Die Logistik in Ny-Ålesund wird durch die technische Betreuung und Versorgung seitens des norwegischen Partners Kings Bay Kull Company, der auch den Bau des NDSC-Gebäudes durchgeführt hat, wesentlich erleichtert.

Die technische Betreuung der Schiffe und Flugzeuge erfolgt in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Bereedern. Die bedeutendste Neuerung auf der „Polarstern“ war der Einbau einer neuen wissenschaftlichen Navigationsanlage mit Verarbeitung und Verteilung der relevanten Schiffs- und Umweltdaten sowie das Anbringen eines Bugauslegers für Turbulenzmessungen. Routinemäßig wurden vier Werftaufenthalte mit Reparatur- und Überholungsarbeiten betreut. Auch die „Victor Hensen“ mußte 1995 in Elsleth grundlegend überholt werden. Größere Reparaturen an der „Polarstern“ waren als Folge der Eiseinwirkung am Schiffskörper im Vorschiffbereich sowie an der Hydrosweepanlage notwendig. Um den hohen technischen Standard der „Polarstern“ noch für weitere 10 bis 15 Jahre zu erhalten, wurde 1995 mit der Planung ihrer grundlegenden Erneuerung begonnen; entsprechende Studien wurden in Auftrag gegeben. Die Erneuerung, die für 1997 anvisiert wird, soll sowohl den technischen Weiterent-

wicklungen der vergangenen Jahre als auch den neuen Umweltschutzaufgaben von MARPOL sowie des Antarktisvertrages Rechnung tragen.

Einen signifikanten Einschnitt im Betrieb bedeutet der Wechsel in der Bereederung des Schiffes, die Anfang 1995 seitens Hapag Lloyd wegen firmeninterner Umstrukturierungen aufgekündigt wurde. Im Rahmen eines europaweiten Ausschreibungsverfahrens wurde der Reederei Martini GmbH, Bremerhaven, einer Tochter der Laiesz Reederei Hamburg - Rostock, der Zuschlag gegeben. Die „Polarstern“ wurde zum 31.12.1995 auf See während der Expedition ANT XIII/3 an den Nachfolgereeder übergeben. Kontinuität und Qualität im Betrieb der „Polarstern“ werden dadurch gewährleistet, daß der größte Teil der erfahrenen Besatzung zum neuen Reeder überwechselte. Die eingangs genannten Zahlen der jährlichen Polarfahrer machen deutlich, daß das wissenschaftliche Interesse an den Polarregionen noch zugenommen hat. Die Auslastung der „Polarstern“ war unverändert hoch. Der Anteil ausländischer Wissenschaftler betrug etwa 25 Prozent. Um die wissenschaftliche Nutzung der „Polarstern“ nicht durch logistische Aufgaben zu beeinträchtigen, wurde 1994 und 1995 zusätzliche Versorgungskapazität gechartert. In beiden Jahren konnte Transportkapazität auf norwegischen Versorgungseisbrechern eingeworben werden. Besonders die „Polar Queen II“ (1995) zeichnet sich sowohl durch hohe Eisbrechfähigkeit als auch durch ihr großes Fassungsvermögen für Personal, Fracht und Hubschrauber aus. Durch die „Polar Queen“ wurde besonders die Versorgung und Entsorgung der Neumayer- und Georg-Forster-Station entlastet.

Umfang und Einsatzgebiete des Flugbetriebes waren im Berichtszeitraum mit denen der Vorjahre vergleichbar. Es fanden drei Arktis- und zwei Antarktiskampagnen statt, die keine über den üblichen Rahmen hinausgehende logistische Unterstützung erforderten. Die wissenschaftliche Ausrüstung wurde durch die Installation eines neuen Bordrechners und einer neuen EMR-Anlage für Eisdickenmessungen erweitert. Flugzeugtechnisch wurden im Berichtszeitraum Modifikationen an den Skiern beider Flugzeuge vorgenommen. Bei Versorgungsflügen auf dem zentralgrönländischen Inlandeis hatte sich herausgestellt, daß das nominelle Abfluggewicht bei Starts in etwa 3.000 Metern Höhe bei weitem nicht erreicht werden konnte. Als Ursache wurde die Konfiguration des Skifahrwerks identifiziert. Modifikationen an Form und Belag der Skier wurden vom Betreiber der Flugzeuge gemeinsam mit der Firma Dornier geplant und ausgeführt und brachten den gewünschten Erfolg.

Im Rahmen der internationalen logistischen Kooperation entstand neben der Zusammenarbeit mit Argentinien, Rußland, den skandinavischen Ländern und Uruguay

## 5. Logistik

in den beiden Jahren eine enge Kooperation mit dem British Antarctic Survey. Neben gegenseitiger Hilfe im Personentransfer zur Antarktis entwickelte sich die Zusammenarbeit auch in der gegenseitigen Versorgung mit Brennstoffen. Die wechselseitige logistische Unterstützung soll noch weiter ausgebaut werden. Des Weiteren ist die AWI-Logistik aktiv in die europäischen Tiefbohrungen auf dem grönländischen Inlandeis eingebunden. Die Mitarbeit umfaßt sowohl die Versorgung als auch die technische Unterstützung vor Ort.

In der Antarktis geht das europäische Tiefbohrprogramm EPICA in seine erste Phase. Das AWI ist einer der Hauptträger des glaziologischen „Site Survey“ in Dronning Maud-Land, der dem Auffinden der besten Lokation für die eigentliche Tiefbohrung dient.

Die wissenschaftlichen Untersuchungen mit ihren umfangreichen logistischen Vorbereitungen wurden Ende 1995 begonnen. Die AWI-Logistik ist seit Jahren an der Planung der Tiefbohrungen beteiligt und wurde zum Operationszentrum für alle relevanten Aktivitäten in Dronning Maud-Land bestellt. Dieses Operationszentrum wird von der EU finanziell unterstützt.

Die Beratung des Auswärtigen Amtes in Fragen des Antarktisvertrages und seines Umweltschutzprotokolls wurden im Berichtszeitraum fortgesetzt. Damit ging die Umsetzung der Auflagen des Umweltschutzprotokolls für alle Antarktisaktivitäten des AWI einher. Sie betrifft nicht nur den Abbau von Stationen und die Bereinigung von Mülldeponien, sondern auch die Implementierung von „Waste Management“-Systemen auf der „Polarstern“, an den Stationen und auf Expeditionen sowie die Einführung bzw. Weiterentwicklung umweltfreundlicher Technologien. 1995 wurde damit begonnen, die polaren Großfahrzeuge auf natürlich abbaubare Öle, Schmierstoffe und Hydraulikflüssigkeiten umzustellen. Die Testphase begann im antarktischen Sommer 1995/96. Fernziel ist es, auch die Dieselmotoren durch abbaubare Produkte zu ersetzen. Wie bei vielen technischen Entwicklungen erfolgt diese Arbeit in enger Zusammenarbeit mit den Herstellern.

## 6. Nationale und Internationale Zusammenarbeit

### 6.1 Nationale Zusammenarbeit

Das Alfred-Wegener-Institut koordiniert die Polarforschung in der Bundesrepublik gemäß seiner Satzung und berät die Bundesregierung in Fragen der Polarforschung. Zur Erleichterung dieser Koordinationsfunktion ist das AWI Sitz des Sekretariats des Deutschen Landesausschusses SCAR/IASC. Dieses Büro führt gemeinsam mit dem Vorsitzenden die Geschäfte des Landesausschusses, koordiniert dessen Sitzungen, erstellt die Tagesordnung und verfertigt die Protokolle.

Die Bundesrepublik Deutschland hat am 4.10.1991 das Umweltschutzprotokoll zum Antarktisvertrag gezeichnet und ein nationales Ausführungsgesetz erstellt, in dem das Umweltbundesamt als genehmigende Behörde vorgesehen ist. Das Alfred-Wegener-Institut unterstützt das Umweltbundesamt nachhaltig bei der Erteilung der Genehmigungen für Forschungsprojekte in der Antarktis.

Das Alfred-Wegener-Institut mißt der engen Verbindung mit den Hochschulen besondere Bedeutung bei. Im Rahmen des Kooperationsvertrages mit der Universität Bremen fanden im Berichtszeitraum drei Berufungsverfahren statt:

- C4-Professur und Leitungsstelle der Sektion Chemie. Leider ist es nicht gelungen, dieses Berufungsverfahren erfolgreich abzuschließen. Dies hatte zur Folge, daß die Sektion Chemie am AWI zunächst aufgelöst und die bestehenden Arbeitsgruppen anderen Sektionen zugeordnet wurden.
- C3-Professur „Meeresbiologie unter besonderer Berücksichtigung polarer Breiten“. Das gemeinsame Berufungsverfahren wurde am 12.4.1995 mit der Berufung von Herrn Prof. Dr. H.-O. Pörtner erfolgreich abgeschlossen.
- C3-Professur „Physik des Ozeans“. Das gemeinsame Auswahlverfahren wurde abgeschlossen. Mit der baldigen Erteilung des Rufs an den von der Kommission vorgeschlagenen Kandidaten ist zu rechnen.

Das Alfred-Wegener-Institut war eng in die Strukturplanung des Studienganges Biologie im Fachbereich Biologie-Chemie der Universität Bremen eingebunden. Nach dem Ausscheiden von Professor Theede ging es in erster Linie um die thematische Ausrichtung der wieder zu besetzenden Professur, die als Kontaktstelle zum Alfred-Wegener-Institut fungieren soll. Diese Stelle wird demnächst mit der Stellenbezeichnung „Meereszoologie“ ausgeschrieben.

Es wird angestrebt, mit der Universität Potsdam einen Kooperationsvertrag abzuschließen, der eine ähnlich enge Anbindung der Forschungsstelle Potsdam des AWI an

## 6. Nationale und Internationale Zusammenarbeit

die dortige Universität ermöglicht, wie sie in Bremerhaven mit der Universität Bremen besteht. Da das Land Brandenburg für das AWI und ähnlich strukturierte assoziierte Forschungseinrichtungen das Jülicher Modell vorsieht, mußte der Kooperationsvertrag in Einzelheiten anders als in Bremen strukturiert werden. Der nunmehr vorliegende Vertragsentwurf sieht vor, daß die gemeinsam zu berufenden Hochschullehrer eng in Forschung, Lehre und akademische Selbstverwaltung der Universität Potsdam eingebunden werden. Der Kooperationsvertrag wurde noch nicht unterzeichnet, da die Übernahme des Kostenanteils für die Lehrleistung der gemeinsam berufenen Hochschullehrer noch nicht abschließend geklärt ist.

In Erwartung eines positiven Abschlusses wurden zwei gemeinsame Berufungsverfahren eingeleitet:

- C4-Professur für „Isotopengeologie“. Der Stelleninhaber soll die geowissenschaftliche Arbeitsgruppe in Potsdam leiten und an der Universität Potsdam das Fach Isotopengeologie vertreten.
- C3-Professur „Atmosphärenphysik“. Der Stelleninhaber soll sich mit der Dynamik der polaren Atmosphäre beschäftigen und die Fachrichtung Theoretische Meteorologie in der Lehre vertreten. Es wird ein theoretisch ausgerichteter modellierender Atmosphärenforscher gesucht.

Zu den bremischen Forschungseinrichtungen, die auf dem Gebiet der Meeresforschung tätig sind, bestehen enge Kontakte. Es handelt sich dabei insbesondere um folgende:

### *Fachbereich Geowissenschaften der Universität*

Der Fachbereich Geowissenschaften und das Alfred-Wegener-Institut bearbeiten gemeinsam den Sonderforschungsbereich (SFB) 261 „Der Südatlantik im Spätquartär“. Mit Bewilligungsschreiben vom 5.12.1995 wurde der SFB für drei weitere Jahre bewilligt.

### *Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie Bremen (MPI)*

Der Direktor des AWI ist Mitglied des Kuratoriums dieses Instituts. Enge Zusammenarbeit findet insbesondere auf dem Gebiete der Tiefseeforschung und in anderen Teilbereichen der marinen Mikrobiologie und Geochemie statt.

### *Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT)*

Das AWI beteiligt sich mit einem Teilprojekt an einem vom BMBF geförderten deutsch-israelisch-ägyptisch-palästinensischen Forschungsprojekt im Nahen Osten, dem „Roten Meer-Projekt“. Zur Abwicklung dieses Projekts wurde ein Kooperationsvertrag zwischen dem AWI und dem ZMT abgeschlossen.

Die bremischen Einrichtungen nutzen weiterhin den Forschungskutter „Victor Hensen“. Im Berichtszeitraum fanden die folgenden Expeditionen bremischer Einrichtungen nach Übersee mit der „Victor Hensen“ statt:

<i>Costa Rica (1994)</i>	6.1. bis 15.1. MPI Bremen 17.1. bis 30.1. FB Geowissenschaften Bremen 2.2. bis 18.2. ZMT Bremen
<i>Brasilien (1995)</i>	13.1. bis 13.5. insgesamt 11 Fahrtabschnitte koordiniert vom ZMT Bremen
<i>Norwegen (1995)</i>	9.9. bis 17.9. FB Geowissenschaften Bremen.

Das Schwerpunktprogramm „Antarktisforschung“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurde nach 15jähriger, sehr erfolgreicher Förderung abgeschlossen. An seine Stelle trat das „Koordinierte DFG-Programm Antarktisforschung“, welches über das Normalverfahren abgewickelt wird. Die Bewilligung der an die DFG gestellten Anträge erfolgt unter der Voraussetzung, daß die logistische Durchführung durch das AWI sichergestellt ist. Außerdem ist das AWI an der wissenschaftlichen Koordination der Projekte weiterhin beteiligt. Auf diese Weise wird ermöglicht, daß sich Hochschulwissenschaftler auch zukünftig im bisherigen Umfang an der Antarktisforschung beteiligen.

Für die durch das AWI betreuten Großgeräte (Forschungsschiffe „Victor Hensen“ und „Polarstern“, die Polarflugzeuge „Polar 2“ und „Polar 4“) sowie die Forschungsstationen Neumayer, Jubany-Dallmann und Koldewey wurden Nutzerbeiräte eingerichtet bzw. ausgeweitet. Diese ermöglichen eine noch bessere Einbindung und Koordination der nicht dem AWI angehörenden Nutzer dieser Einrichtungen.

**Geschäftsstelle des Wissenschaftlichen Beirats  
der Bundesregierung  
„Globale Umweltveränderungen“ (Leiter:  
Prof. Schulz-Baldes)**

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung „Globale Umweltveränderungen“ (WBGU), auf Kabinettsbeschluß vom 8.4.1992 berufen, hat folgende Aufgaben:

- Zusammenfassende, kontinuierliche Berichterstattung und Analysen zu aktuellen Problemen im Bereich der globalen Umweltveränderungen und ihrer Folgen;
- Beobachtung und Bewertung der nationalen und internationalen Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der globalen Umweltveränderungen;
- Hinweise auf mögliche Problemfelder und Aufzeigen von Forschungsdefiziten und Koordinierungsbedarf;
- Vorschläge zum politischen Handeln auf nationaler und internationaler Ebene zur Vermeidung anthropogener Umweltveränderungen.

Die Geschäftsstelle unterstützt die 12 Beiratsmitglieder durch Zuarbeit von Texten und Übersichten, bereitet die monatlichen Sitzungen vor und nach, überwacht die Vergabe von Aufträgen an Dritte und verwaltet zentral die Finanzmittel des Beirats.

Jährlich im Sommer übergibt der Beirat ein Gutachten an die Bundesregierung. Im Berichtszeitraum sorgte die Geschäftsstelle für die Herausgabe der folgenden Titel in



Buchform (ebenfalls in englischer Übersetzung):

- Welt im Wandel. Wege zur Lösung globaler Umweltprobleme (1995);
- Szenario zur Ableitung globaler CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele und Umsetzungsstrategien (1995), als eine Stellungnahme zur Klimakonferenz in Berlin, die zusätzlich vom Beirat erarbeitet wurde.

## 6.2. Internationale Zusammenarbeit

Das Internationale Büro des AWI ist zuständig für das Sekretariat der Deutschen IOC-Sektion, das Sekretariat des Deutschen Landesausschusses SCAR/IASC und das EU-Büro des AWI. Als Nationale Kontaktstelle für Anfragen zu Aktivitäten, wissenschaftlichen Beobachtungen und Ergebnissen in der Antarktis (im Rahmen des Antarktisvertrages) hat es außerdem für das BMBF und das Auswärtige Amt die jährlichen nationalen Berichte erstellt, die an alle Antarktisvertragsstaaten verteilt werden. Das Internationale Büro ist außerdem die Koordinationsstelle der deutsch-neuseeländischen Vereinbarung über die wissenschaftliche Zusammenarbeit in der Antarktis.

Das Internationale Büro nahm an der 27. Sitzung des IOC-Exekutivrates im Juli 1994 und an der 18. Sitzung der IOC-Vollversammlung im Juni 1995, beide in Paris, sowie an den entsprechenden vorbereitenden Sitzungen der Deutschen IOC-Sektion im Auswärtigen Amt in Bonn teil. Neben der Einrichtung eines umfassenden Globalen Meeresbeobachtungssystems GOOS (Global Ocean Observing System) hat die IOC erneut die Wichtigkeit des Trainingsprogrammes TEMA (Training, Education and Mutual Assistance / Capacity Building and Partnership) hervorgehoben. Im Rahmen einer langfristig angesetzten Trainingskursserie wurden im Berichtszeitraum zwei vom BMBF finanzierte Kurse in Karachi zum Thema küstennahe Meeresgeologie bzw. an Bord des Forschungsschiffes „Meteor“ vor Südafrika zum Thema Bathymetrie durchgeführt. Dr. Giermann nahm an einer Konferenz zum Thema Coastal Change (Veränderungen im Küstenbereich) in Bordeaux teil. Im April 1995 hielt die IOC die 5. Sitzung ihrer Beratergruppe für die Meereskartierung (CGOM, Consultative Group on Ocean Mapping) im AWI ab, an der Dr. Schenke teilnahm.

Die Deutsche UNESCO-Kommission (DUK, Bonn) war unter Mitwirkung der deutschen IOC-Sektion bemüht, die vier naturwissenschaftlichen Langzeitprogramme der UNESCO, die sich mit dem Weltozean, dem Menschen und der Biosphäre (MAB), der geologischen Korrelation (IGCP) und der Hydrologie (IHP) beschäftigen, im deutschen Raum zu einer engeren Zusammenarbeit zu bewegen.

Von Seiten des AWI erfolgte eine Mitarbeit in IOC-relevanten Gruppen und Programmen durch Prof. Smetacek, Dr. Schlitzer und Dr. Bathmann in JGOFS (Joint Global

### 6.2.1 Internationales Büro des AWI (Leitung Dr. Giermann)

#### **Sekretariat der Deutschen IOC-Sektion**

(IOC = Intergovernmental  
Oceanographic Commission,  
UNESCO, Paris)

Ocean Flux Study), Prof. Augstein in WOCE (World Ocean Circulation Experiment), Prof. Augstein und Prof. Lemke in ACSYS (Arctic Climate System Study), Dr. Schenke in GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans), Prof. Smetacek in GLOBEC (Global Ocean Ecosystem Dynamics), Prof. Arntz in El Niño, Prof. Smetacek und Prof. Olbers in GOOS (Global Ocean Observing System), Prof. Krause in GLOSS (Global Sea-Level Observing System) und Dr. Giermann in TEMA.

**Sekretariat des Deutschen  
Landesausschusses  
SCAR/IASC**

Im Mai 1994 fand die 3. Sitzung des Landesausschusses (SCAR = Scientific Committee on Antarctic Research; IASC = International Arctic Science Committee) im Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie in Hamburg und im Mai 1995 die 4. Sitzung im GEOMAR in Kiel statt. Neben Prof. Tilzer und Dr. Giermann nahmen eine Reihe Wissenschaftler des AWI an den Sitzungen teil, zu denen ausführliche Berichte vom Sekretariat erstellt wurden.

**SCAR**

Im August/September 1994 nahmen Prof. Tilzer als permanenter SCAR-Delegierter und Dr. Giermann an der 23. Sitzung von SCAR in Rom teil. Schwerpunkt der Diskussion war die Herausstellung von Global Change und seiner Antarktiskomponente. Der Einrichtung eines GLOCHANT-Sekretariats in Hobart wurde zugestimmt.

Drei AWI-Wissenschaftler waren Mitglieder in Permanent Working Groups: Prof. Arntz (Biology), Prof. Miller (Glaciology), Dr. Kottmeier (Physics and Chemistry of the Atmosphere). Vier AWI-Wissenschaftler arbeiteten in Groups of Specialists mit: Dr. Plötz (Seals), Dr. Dieckmann (Southern Ocean Ecology), Prof. Fütterer (Cenozoic Paleoenvironments) und Prof. Miller (Environmental Affairs and Conservation). Prof. Tilzer und Dr. Kohnen nahmen an den jährlichen COMNAP/SCALOP-Sitzungen (August/September 1994 in Rom, Juli/Aug. 1995 in Santiago) teil. Dr. Reinke war in der gemeinsamen SCAR-COMNAP Datengruppe tätig.

Während des Berichtszeitraumes fand eine Sitzung der Konsultativstaaten des Antarktisvertrages statt: ATCM-XVIII in Kyoto im April 1994. An ihr nahm Dr. Kohnen als Mitglied der deutschen Delegation teil. SCAR ist offizieller Berater der Antarktisvertragsstaaten.

**IASC**

Im Mai 1994 in Grönland und im April 1995 in Finnland nahm Prof. Fütterer als Mitglied und Vizepräsident an den jährlichen IASC Council-Tagungen teil. Als Mitglied des IASC Executive Committee weilte er im November 1995 und im Oktober 1995 in Oslo. Diskutiert wurden u.a. die künftigen Beziehungen von IASC zu dem vor der Gründung stehenden zwischenstaatlichen Arctic Council (AC).

Im Dezember 1995 nahmen Prof. Fütterer, Prof. Miller, Dr. Hubberten und Dr. Stein an der International Conference for Arctic Research Planning (ICARP) in Hanover,

6. Nationale und Internationale  
Zusammenarbeit

New Hampshire, USA, teil. Für diese Konferenz hatte auch das AWI Mitglieder für die Core Groups der IASC Priority Projects benannt.

In den IASC-Arbeitsgruppen arbeiteten folgende AWI-Wissenschaftler mit: Prof. Schulz-Baldes und Prof. Fütterer (Global Change), Dr. Stein, Dr. Gohl und Prof. Fütterer (Marine Geology), Prof. Miller (Arctic Glaciology) sowie Dr. Reinke (Intern. Arctic Environmental Data Directory). Die Initiative für die wissenschaftliche Öffnung der russischen Arktis (ISIRA) war für das AWI von großem Interesse im Zusammenhang mit Reisen der „Polarstern“ in den Arktischen Ozean.

Das EU-Büro wurde im April 1993 (als EG-Büro) im Internationalen Büro des AWI eingerichtet, vor allem um den Kontakt mit der Generaldirektion XII der Europäischen Kommission in Brüssel und den EU-relevanten deutschen Stellen in Brüssel und Bonn zu pflegen. Das Büro sammelt und verteilt im AWI Informationsmaterial und unterstützt AWI-Mitarbeiter bei der Stellung von Projektanträgen an die EU und deren Durchführung.

**EU-Büro des AWI**

Im Juni 1994 weilte Frau Audebert in Brüssel und führte Gespräche u.a. mit dem Leiter des MAST-Programms, Dr. Boissonnas. Das EU-Büro hält auch Kontakt zur European Science Foundation (ESF) in Straßburg.

EC und ESF hatten 1989 das European Committee on Ocean and Polar Sciences (ECOPS) eingesetzt, dessen Aufgabe es war, eine Reihe von „Grand Challenges“ zu entwickeln. Im September 1994 fand in Bremen die European Conference on Grand Challenges in Ocean and Polar Sciences statt, bei der vier „Grand Challenges“ abschließend diskutiert und ihre Implementierung vorbereitet wurde. Das AWI war der lokale Organisator dieser Konferenz.

Im November 1994 beteiligte sich das AWI (Frau Pauls) an der „European Week for Scientific Culture“ in Bonn.

Während eines einwöchigen Fahrtabschnittes zwischen Bremerhaven und Murmansk nahmen im Juli 1995 Vertreter von EU (DG XII), ESF, BMBF und KOWI an Gesprächen an Bord der „Polarstern“ teil.

Im September 1995 fand auf Spitzbergen eine European Networking Conference on Research in the North statt, an der Prof. Tilzer, Prof. Miller und Dr. Gernandt teilnahmen. Ziel der Konferenz war es, die wichtigsten Themen der europäischen Arktisforschung zu definieren, Informationsnetze innerhalb Europas aufzubauen und die Koordination und Kooperation unter den europäischen Programmen zu stärken. Im AWI liefen 1995 Projekte vor allem in den Bereichen MAST (Marine Science and Technology), Umwelt, AIR, TMR, INTAS und Drittländer. 1995 sind sechs MAST- und sechs Umweltprojekte und ein Projekt im Bereich Zugang zu Großanlagen im Wert von etwa 4,7 Millionen DM hinzugekommen.

**6.2.2 Internationales  
Büro für Meeres- und  
Polarforschung  
Südamerika**

Aufgrund der vom BMBF verfügten Reduktion der internationalen Wissenschaftlich-Technischen-Büros auf nur noch zwei (bei DLR und FZK) übergab das AWI sein Büro zum 1. Juli 1995 an das Forschungszentrum Karlsruhe. Prof. Arntz wird weiterhin die Rolle des Fachkoordinators in Polar- und Meeresforschung für die spanischsprachigen Länder Lateinamerikas wahrnehmen. Auf zwei Sitzungen Ende September 1995 im BMBF wurde die bisherige Zusammenarbeit bewertet und die Planung bis zum Jahr 2000 erstellt. Dabei wurde auch die Unterstützung aus dem Fachreferat diskutiert, die insbesondere für Einsätze der „Victor Hensen“ auch künftig benötigt wird.

Die deutsche Zusammenarbeit mit Brasilien, die von Dr. Ekau (ZMT) im AWI-Auftrag koordiniert wurde, setzte sich im Berichtszeitraum auf hohem Niveau fort. Das große „Joint II“-Unternehmen mit der „Victor Hensen“ vor der brasilianischen Ostküste wurde zur Jahresmitte 1995 planmäßig abgeschlossen.

Die Kooperation deutscher Institute mit Chile intensivierte sich 1994/1995 erheblich. In vier Projekten wurden Ökologie, Populationsdynamik und Physiologie von Makroalgen, Pilgermuscheln, Ährenfischen und Pinguinen untersucht; ein Projekt befaßte sich mit Ansiedlung und Sukzession des litoralen Benthos, und in einem weiteren wurden biogeographische und ökologische Zusammenhänge zwischen der Magellanregion und der Antarktis untersucht. Der Fahrtbericht der „Magellan“-Expedition der „Victor Hensen“ mit Chile und Italien ist in den „Berichten zur Polarforschung“ erschienen. Besonders mit dem Instituto de la Patagonia in Punta Arenas hat sich eine enge Zusammenarbeit ergeben. Die Aufarbeitung des reichen Materials dieser Reise zielt auf einen Internationalen Workshop im April 1997. Während der letzten Phase von ANT XIII/4 sollen Aufsammlungen in der Bransfieldstraße, der Drakepassage und auf dem südchilenischen Kontinentalhang das Probenmaterial vervollständigen. Mit Argentinien lief die Kooperation 1994 und zunächst auch 1995 sehr gut; in insgesamt elf Projekten erstreckte sich die Thematik von der Modellierung einer subtropischen Lagune bis zu mehreren Antarktisprojekten. Seit dem Tod von Prof. Matera gibt es jedoch erneut Probleme in der Counterpart-Finanzierung infolge der Neuordnung der SECyT und der argentinischen Wirtschaftskrise, von denen jedoch die von den beiden Polarinstituten getragene Kooperation am Dallmann-Labor nur unwesentlich betroffen ist.

Hinsichtlich der Zusammenarbeit mit Mexico erklärten beide Seiten anlässlich der Tagung der Gemischten Kommission erneut ihr Interesse an meeresbiologischen Projekten. Zu den bestehenden physikalisch-ozeanographischen Projekten kommt 1996 ein meeresbiologischer Projektantrag, der die Zusammenarbeit IOW-CICESE Ensenada beim Studium pelagischer Schwarmfische zum Ziel hat.

Im Juni 1994 fand der neunte internationale „Workshop of the Filchner-Ronne Ice Shelf Programme“ an der Universität in Bergen, Norwegen, und im Juni 1995 der zehnte internationale „Workshop of the Filchner-Ronne Ice Shelf Programme“ am Institut für Angewandte Geodäsie in Leipzig statt. Darüber berichten FRISP Report no. 8 (1994) und 9 (1995), beide zusammengestellt von Dr. Oerter. Über Arbeiten des AWI innerhalb dieses Programms wird im Kapitel 2 Ausgewählte Forschungsthemen berichtet: Das Filchner-Ronne-Schelfeis-Projekt (FRISP).

Die dritte Förderphase des deutschen Beitrags zum World Ocean Circulation Experiment (WOCE) wurde zum 30. September 1995 abgeschlossen. Über die bisher erzielten Ergebnisse wurde in einem zweitägigen Status-Seminar im Oktober 1994 in Bad Honnef berichtet. Danach konnten sowohl die Meßprogramme im Atlantischen und Indischen Ozean als auch die numerischen Modellexperimente erfolgreich durchgeführt werden.

Dem AWI wurde mittlerweile die Förderung einer abschließenden dreijährigen Forschungsperiode durch das BMBF bewilligt. An diesen Arbeiten sind – neben dem AWI – 20 Arbeitsgruppen der Universitäten Kiel, Hamburg, Bremen, Bonn, Heidelberg und München sowie das Max-Planck-Institut für Meteorologie und das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie beteiligt.

Die Koordinationsaufgabe für das „Programme for International Polar Ocean Research (PIPOR)“ wurde während des Jahres 1995 weitergeführt und zum 31.12.1995 abgeschlossen. Im Laufe der vergangenen Jahre hat sich sowohl die Arbeit innerhalb der verschiedenen internationalen Projektgruppen als auch deren Zusammenarbeit so gut entwickelt, daß eine zentrale Koordination künftig nicht mehr notwendig ist.

Die Abstimmung deutscher Vorhaben mit Satellitennutzung in den Polargebieten übernimmt zukünftig das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung im Rahmen seiner satzungsgemäßen Aufgaben. Die Arbeiten des PIPOR-Büros haben vorteilhaft dazu beigetragen, den Einsatz der Meßwerte der europäischen Satelliten ERS-1 und ERS-2 für Forschungsprogramme in den ozeanischen Polarregionen zu optimieren und die internationale Zusammenarbeit auf diesem Gebiet zu fördern. Die deutsche Polar- und Meeresforschung hat von diesen Aktivitäten insofern besonders profitiert, als das Büro bei der Gestaltung der Forschungsprogramme und bei der Bereitstellung der Satellitendaten vielfältige fachliche Unterstützung bieten konnte.

Das AWI traf im Berichtszeitraum die folgenden bilateralen Absprachen (Memoranda) mit ausländischen Institutionen:

- Memorandum of the Meeting between Representatives of the Arctic and Antarctic

**6.2.3 SCAR Filchner-Ronne-Schelfeis-Programm (Nationaler Koordinator Prof. Miller)**

**6.2.4 Nationales Deutsches WOCE-Programm (Koordinator Prof. Augstein)**

**6.2.5 Internationales PIPOR Coordinating Office (Prof. Augstein)**

**6.2.6 Formelle bilaterale Absprachen des AWI (Dr. Giermann)**

Research Institute (AARI) and the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI) on joint research in the polar regions with a special emphasis on the Laptev Sea;

- Memorandum on geological research in the Arctic in 1994-1996 between the All-Russian Research Institute for Geology and Mineral Resources of the Ocean (Okeangeologia), St. Petersburg, Russia, and the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI), Bremerhaven, Germany;
- Memorandum AWI and Murmansk Marine Biological Institute (MMBI) Representatives Meeting to develop mutual beneficial partnership for 1994-1995 (dieses Memorandum wird jährlich aktualisiert);
- Memorandum of Cooperation for Joint Investigations in Siberian Rivers between the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI) and its Research Unit Potsdam, and the Geographical Faculty of Moscow State University (MSU) and its Research Laboratory on Erosion and Channel Processes;
- Follow-up to Memorandum of May 1993: Memorandum of the Second Workshop on the Russian-German Research Programme the „Laptev Sea System“, St. Petersburg, 22 - 24 Nov. 1994;
- Memorandum of Cooperation for Joint Investigations in Polar Regions between Université Laval, Canada, and Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Germany;
- Memorandum of Cooperation in the field of Polar Atmospheric Research between the Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, and the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven/ Potsdam;
- Memorandum of Understanding between the Japan Marine Science and Technology Center and the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research on Cooperation in Marine and Polar Sciences;
- Memorandum on Scientific Co-operation between the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI) and the Oboukhov Institute of Atmospheric Physics (IAP), starting in 1996;
- Vereinbarung zwischen dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) und der Dirección Nacional del Antártico Argentino (DNA) zur Entwicklung gemeinsamer Arbeiten in der Base Jubany und im Dallmann-Labor;
- Proposal for a Cooperative Programme in Polar Marine Research addressed to the State Oceanic Administration (SOA) of the P.R. China (gezeichnet vom Direktor des AWI, Direktor des IPÖ und vom Leiter der Abteilung Meeresbotanik der Universität Bremen);
- Vertrag (convenio general) über wissenschaftliche Kooperation zwischen der Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile, und dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI), Bremerhaven, Deutschland.

## Zentrale Einrichtungen

### 7.1 Rechenzentrum

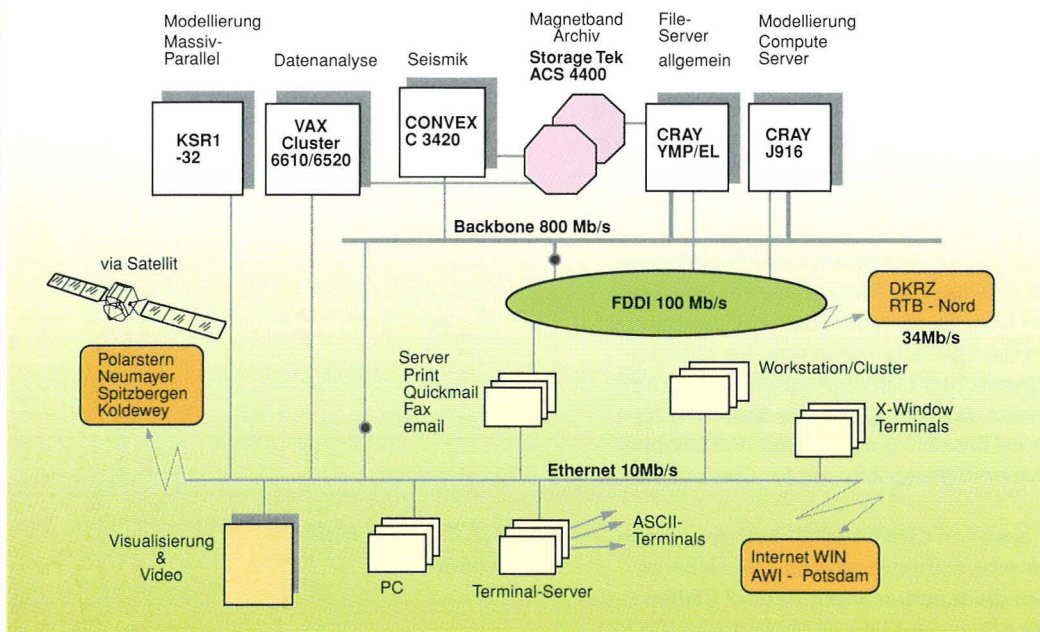
Die Verstärkung der notwendigen Rechnerleistung und der Massenspeicherressourcen für Modellierungsvorhaben waren kennzeichnend für den Berichtszeitraum. Außerdem wurde das gesamte AWI-Rechnernetz neu strukturiert, um der gestiegenen Nutzung von Workstations und PC-Systemen zur wissenschaftlichen Datenauswertung und Interpretation gerecht zu werden. Zusätzlich zu diesen Veränderungen der internen Kommunikationssysteme hat das Rechenzentrum weitere Entwicklungsarbeiten im Rahmen des verteilten Modellierens (RTB - Regionales Testbed - Nord, Höchstgeschwindigkeitsnetz) sowie in der technischen Koordination des Bremer Landesnetzes geleistet. Zu weiteren Schwerpunkten zählen die Operationalisierung des satellitenbasierten Kommunikationssystems zum elektronischen Datenaustausch mit der Neumayer-Station, dem Forschungsschiff „Polarstern“ und der Koldewey-Station in Ny-Ålesund, die Fortsetzung der Projektarbeiten im Bereich Datenbanken und Informationssysteme sowie die Parallelisierung der Modellierungssoftware für Ozeanmodelle.

Seit Beginn des Berichtszeitraumes läuft der aus zwei CRAY YMP/EI-Systemen bestehende Verbund von Compute- und Fileserver sehr zufriedenstellend. Zur sicheren Abspeicherung von Modellierungsergebnissen dient nunmehr ein RAID-7 Platten-Array mit 50 Gigabyte (GB) Kapazität. Da das Deutsche Klimarechenzentrum (DKRZ) zwischenzeitlich durch die Installation eines CRAY C90 Computeservers seine Rechenleistung vervielfacht hatte, wurde Ende 1994 die Planung für einen Ersatz des AWI-Computeservers in Angriff genommen. Im August 1995 erfolgte die Installation einer CRAY J916 mit acht Prozessoren und einem 1-GB-Hauptspeicher. Gleichzeitig wurde der vorhandene YMP/EI Fileserver auf vier Prozessoren und ebenfalls einem 1-GB-Hauptspeicher aufgerüstet. Dadurch konnten die bestehenden Engpässe beseitigt werden, was zu einer wesentlichen Verbesserung der Voraussetzungen für anspruchsvolle Modellierungsvorhaben geführt hat.

Um den inzwischen gestiegenen Anforderungen an Massenspeicherkapazität zu begegnen, wurde als weitere Maßnahme Mitte 1995 das Fassungsvermögen des RAID-7 Array verdoppelt. Auch die Kopplung der beiden CRAY-Rechner untereinander konnte verbessert werden. Dadurch ist eine breitbandige Anbindung der CRAY-Rechner des AWI an das DKRZ in Hamburg gewährleistet (siehe Abbildung).

#### 7.1.1 Zentrale Unix-Rechner

## Rechnerkonfiguration



In der ersten Hälfte des Jahres 1994 konnte der Ausbau der KSR-1 auf nunmehr 32 Prozessoren und einen 1-GB-Hauptspeicher abgeschlossen werden. Dieser Rechner steht im wesentlichen einer Projekt-Arbeitsgruppe zur Verfügung, die parallele Versionen der am AWI eingesetzten Modellierungs-Software entwickelt.

Der Aufwand bei der Datensicherung konnte reduziert werden. Diese erfolgt jetzt für alle großen Rechner-systeme des AWI (CRAY, KSR und CONVEX) automatisch in die beiden 3480-Silo. Etwa die Hälfte der Kapazität wird im „on-line“-Magnetband-betrieb genutzt, vornehmlich beim Prozessieren seismischer Datensätze. Der Weg der seismischen Daten von der Erfassung bis ins Silo konnte durch die Installation der CONVEX 3410 mit 3480-Laufwerken an Bord der „Polarstern“ erheblich verkürzt werden. Das so entstandene Gesamtsystem zeichnet sich durch einfache Datentransfers zwischen den einzelnen Bearbeitungsschritten aus.

### 7.1.2 Neumayer-Station

Während der Sommerkampagne 1994/95 wurde das Rechnernetz auf der Neumayer-Station erweitert und an die neuesten Standards des AWI angepaßt. Hierfür wurden die vorhandenen SUN-Workstations mit neuen Versionen des Betriebssystems und der Zusatzsoftware (Compiler, Graphik und Datenerfassung) versehen. Außerdem wurden zwei weitere Workstations installiert, von denen eine als Datenerfassungsrechner im neuen Spurenstoff-Observatorium arbeitet. Analog zum von der Station abgesetzten Geophysik-Observatorium wurde diese SUN über eine weitere Glasfaserstrecke in das Stationsnetz integriert, so daß jederzeit eine interaktive Kontrolle der Spurenstoff-datenerfassung von der Station aus möglich ist.



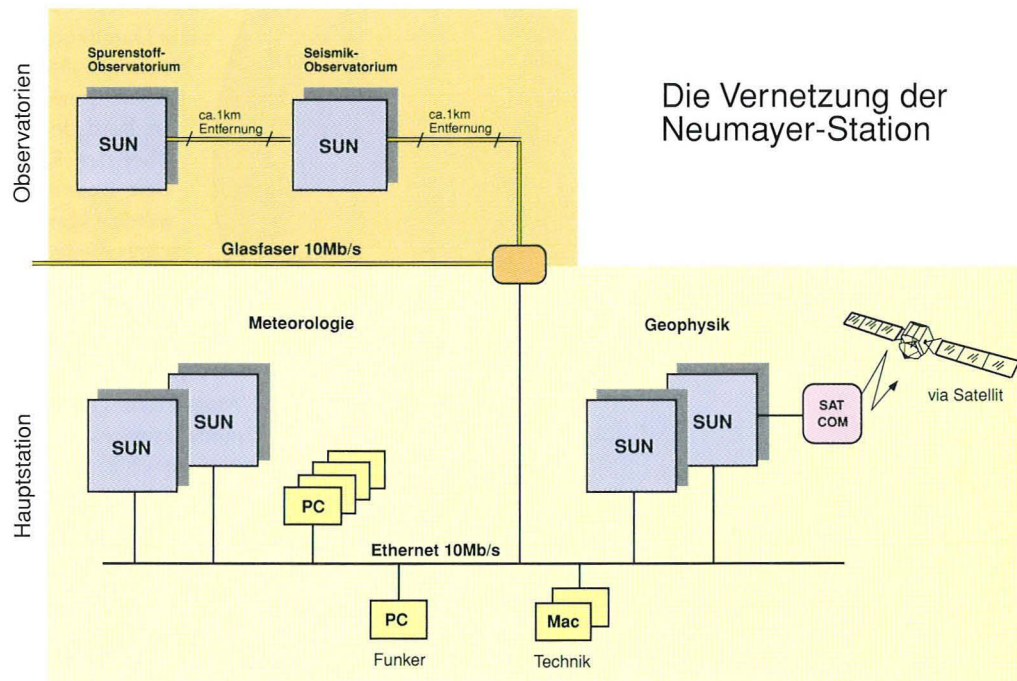
## 7. Zentrale Einrichtungen

Die zweite neue Workstation dient der Aufbereitung und Analyse der gesammelten Spurenstoffdaten. Die externe Kommunikation über Electronic Mail wurde auf allen vorhandenen Rechnerplattformen vereinheitlicht. Der Stationsfunker erhielt ein Bedienprogramm, das es ihm ermöglicht, alle dafür notwendigen Operationen von seinem Arbeitsplatzrechner aus zu erledigen (siehe Abbildung). Der für das Jahr 1996 geplante Ausbau der Seismik-Datenerfassung in der Neumayer-Station macht es notwendig, die Rechner der Geophysik von allgemeinen Diensten zu entlasten. Wegen der zunehmenden Komplexität des Neumayer-Netzes wurde 1995 erstmals ein einwöchiger Vorbereitungskurs für das Überwinterungs-Team eingeplant und vom Rechenzentrum durchgeführt.

Im Berichtszeitraum nahm die Zahl der Workstations am AWI Bremerhaven weiter stark zu. Ende 1995 waren 140 Workstations installiert. Derzeit arbeiten am AWI Bremerhaven 13 sektionsspezifische Workstation-Cluster in acht physikalisch unabhängigen Subnetzen. Es wurde besonderes Augenmerk auf eine möglichst autarke Betriebsweise der Cluster in den Arbeitsgruppen gelegt. Hierdurch konnte die Ausfallsicherheit der Rechner erhöht werden, ihre Verfügbarkeit und Leistung stiegen deutlich an. Die Erreichbarkeit der entfernten Cluster an den Außenstellen konnte durch die Installation von Mail-Services (Neumayer-Station, „Polarstern“) bzw. Integration in das Internet (Koldewey-Station) deutlich verbessert werden.

Die Anbindung der vorhandenen PC's an zentrale Dienste und Ressourcen der Workstation-Cluster erfolgt mittlerweile in mehreren Sektionen routinemäßig. Die Macintosh-Anwender konnten in das institutsweite Konzept der E-mail-Anbindung integriert werden.

### 7.1.3 Einsatz von Workstations im AWI-Rechnernetz



Die Umstellung auf das neue Sun-Betriebssystem Solaris 2 wurde in Angriff genommen und soll 1996 institutsweit erfolgen. Dieser Wechsel ist insbesondere notwendig, um den Einsatz neuester Hardware-Technologien zu gewährleisten.

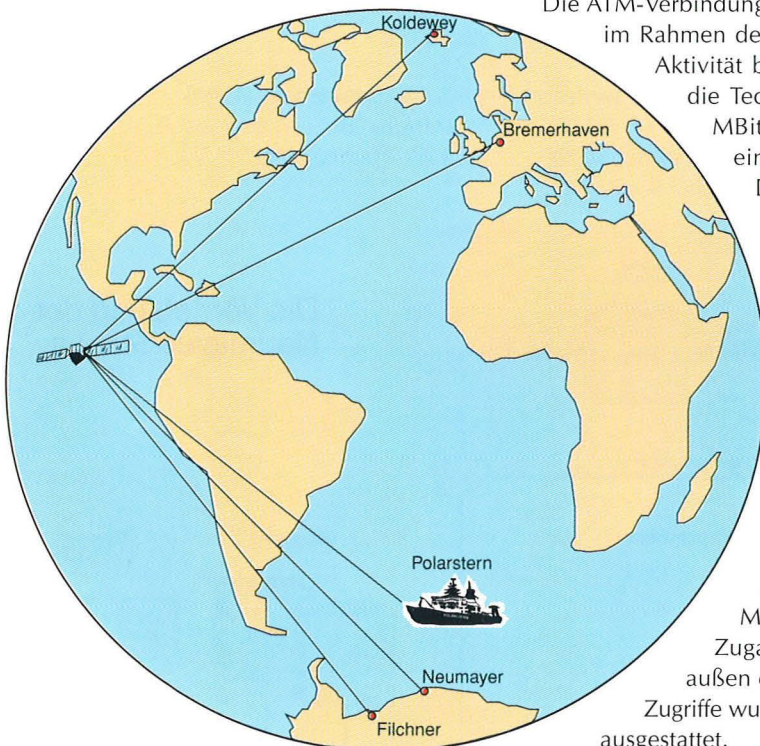
#### 7.1.4 Kommunikationssysteme

Im Berichtszeitraum wurde mit der Neuverkabelung der Institutsgebäude in Bremerhaven begonnen. Diese Maßnahme wurde notwendig, da bei der wachsenden Anzahl von vernetzten Arbeitsplätzen das alte unstrukturierte Netz nicht mehr betriebssicher war. Die Neuverkabelung wird im ersten Quartal 1996 fertiggestellt sein.

Die ATM-Verbindung zum DKRZ Hamburg mit 34 MBit/s wurde im Januar 1995 im Rahmen des RTB Nord in Betrieb genommen. Im Anschluß an diese Aktivität beteiligte sich das Rechenzentrum des AWI federführend für die Technik am Aufbau eines Bremischen Landesnetzes mit 155 MBit/s ATM-Technik. Das AWI profitiert von diesem Netz durch eine bessere Verbindung zur Universität Bremen.

Das Bremische Landesnetz ist seit dem Dezember 1995 im Testbetrieb. Es wurde im Februar 1996 offiziell eröffnet. Die Datenkommunikation mit der „Polarstern“ und der Neumayer-Station über INMARSAT wurde im Hinblick auf Kostenzuordnung und Zuverlässigkeit weiterentwickelt. An Bord der „Polarstern“ wurde parallel zum Zugang über den Sprachkanal ein 64 kBit/s-Zugang implementiert, über den sogar einfache Videokonferenzen geführt werden können. Ein System zum weitgehend automatischen Austausch elektronischer Nachrichten arbeitet seit Frühjahr 1994 erfolgreich. Über das System zum Nachrichtenaustausch sind die „Polarstern“ und die Neumayer-Station aus dem Internet erreichbar.

Außerdem wurde insbesondere zur Kontrolle aufwendiger Modellierungen auf den AWI- und DKRZ-Vektorrechnern ein Zugang zum AWI-Rechnernetz über Modemkopplung von außen eingerichtet. Zur Sicherung des Netzwerkes gegen unberechtigte Zugriffe wurde dieser Dienst mit einer doppelten Zugangskontrolle ausgestattet.



## 7. Zentrale Einrichtungen

Eine wesentliche Entwicklung im Berichtszeitraum war der zunächst experimentelle Aufbau eines World Wide Web-Servers für das AWI. Mittlerweile stehen in diesem Server neben den allgemeinen Informationen der Öffentlichkeitsarbeit auch der Hydrographische Atlas des Südlichen Ozeans, meteorologische Daten von der „Polarstern“ und der Neumayer-Station sowie andere wissenschaftliche Informationen zur Verfügung.

Parallel zur Implementierung dieses Servers, bei der besonderer Entwicklungsaufwand beim Zugang zu relationalen Datenbanksystemen anfiel, werden Konzepte zum „electronic publishing“ unter besonderer Berücksichtigung der Veröffentlichung von Daten entwickelt und umgesetzt.

Im Rahmen der AWI-Beteiligung am RTB Nord wird ein verteiltes System aus Computerverserver (am Klimarechenzentrum in Hamburg) sowie Fileserver, Datenbankserver und Benutzerarbeitsplatz (in Bremerhaven) durch eine Software-Entwicklung miteinander verbunden. Für den graphischen Arbeitsplatz des Modellierers entsteht eine einfache Benutzungsoberfläche, mit deren Hilfe nach Suchbegriffen aus der im Projekt erstellten Modell-Datenbank der Speicherort der Daten ermittelt wird. Aus den so gefundenen Dateien können sehr einfach Teilmengen extrahiert und visualisiert werden. Neben dieser integrierten Lösung entsteht ein Zugang zu der beschreibenden Datenbank über World Wide Web (WWW).

Wichtige wissenschaftliche Informationen, die langfristig archiviert und veröffentlicht werden können, werden im AWI in relationalen Datenbanken mit Anschluß an das Internet gehalten.

Das „*Meteorologische Informationssystem*“ (MISAWI) enthält alle Radiosondenaufstiege inklusive Ozonmessungen, Wetterbeobachtungen und Strahlungsdaten der Neumayer-Station, der Koldewey-Station und des Forschungsschiffs „Polarstern“. Die Datenbank umfaßte Ende 1995 12.880 Radiosondenaufstiege, 27.062 Wetterbeobachtungen vom Forschungsschiff „Polarstern“, 58.280 Wetterbeobachtungen von den Stationen und 1.172.603 kontinuierliche meteorologische Wetterbeobachtungen (Windstärke und -richtung, Temperatur und Strahlungsdaten). Die Meßserie begann im Frühjahr 1982.

In der „*Polarstern*“-Datenbank sind meteorologische, navigatorische und teilweise hydrographische Parameter in Zehn-Minuten-Mitteln kontinuierlich seit Mai 1993 – der Einführung des neuen „Polarstern“-Datenerfassungs- und -verteilungssystems – gespeichert (108.681 Datensätze). Die Originaldaten (Messungen im Sekundenbereich) sind im Institut auf Magnetbändern im Massenspeichersystem verfügbar.

### 7.1.5 Visualisierung und Verteilte Systeme

### 7.1.6 Datenbankprojekte

Die *meteorologischen Daten* und die „Polarstern“-Informationen können von Wissenschaftlern über das Internet (World Wide Web) abgerufen werden.

Die „*Ocean Circulation Datenbank*“ enthält alle validierten CTD und Verankerungsdaten des AWI. Zur Zeit sind in diesem System Daten aus 1.820 hochaufgelösten CTD-Profilen und 115 Verankerungen verfügbar. Für das Internet wurde eine graphische Oberfläche entwickelt, die den Zugriff auf diese Daten über eine interaktive Karte ermöglicht.

Die „*Sepan*“-Datenbank ist Teil des nationalen Paläoklimainformationssystems, das für Klimainformationen aus marinen und lakrustinen Sedimenten aufgebaut wird. Ziel dieses Projektes ist es, klimarelevante Informationen aus vielen Arbeitsgruppen auf nationaler Basis in einem einheitlichen Informationssystem zusammenzufassen. Die zentrale Datenbank am AWI ist über das Wissenschaftsnetz für diese Arbeitsgruppen erreichbar.

In einer *biologischen Datenbank* stehen russische Daten des Instituts für Fischerei und Ozeanographie (AltantNIRO, Kaliningrad/Königsberg) aus dem Südatlantik über Krill, Zooplankton und Phytoplankton von 21.553 Stationen aus den letzten drei Jahrzehnten zur Verfügung.

Die *ADCP-Datenbank* verfügt über Daten des schiffbasierten profilierenden Strömungsmessers ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), der hochauflösende Strömungsmessungen vornehmen kann. In 173 Meßkampagnen wurden über drei Millionen Daten aufgezeichnet.

Weitere Datenbanken sind in Vorbereitung.

#### 7.1.7 Parallelprojekt

Im Parallelprojekt wurden die begonnenen Arbeiten zur parallelen Implementierung von Ozeanmodellen fortgesetzt. Es wurden ausführliche Tests der parallelen Versionen auf der KSR1 durchgeführt. Ein quasigeostrophisches Modell wurde dabei mit verschiedenen Parallelisierungsstrategien auf der KSR1 implementiert.

Für ein Ozeanmodell, das auf dem Satz der primitiven Gleichungen (Modular Ocean Model, MOM) basiert, wurde ein Laufzeitmodell zur Auswahl der günstigsten Datenpartitionierungsstrategie auf der KSR1 entwickelt. Leicht modifiziert, kann es auch für andere Parallelrechner mit verteiltem Hauptspeicher verwendet werden. Zur Visualisierung der parallelen Abarbeitung wurde ein Programm entwickelt, das auf einer Workstation läuft.

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen es, bei der hochauflösenden globalen Modellierung ozeanischer Zirkulationen am AWI zukünftig auf Parallelrechnern zu arbeiten, welche allein in der Lage sind, die dafür erforderliche Rechenkapazität zu liefern.

## 7. Zentrale Einrichtungen

### 7.2 Bibliothek

Neben der Institutsbibliothek am AWI, die 24 Stunden an sieben Tagen der Woche für AWI-Mitarbeiter geöffnet ist, werden kleinere Bibliotheken an der Forschungsstelle Potsdam sowie auf der „Polarstern“ und in den Polarstationen Neumayer und Koldewey unterhalten. Die Forschungsstelle Potsdam wird fortlaufend mit Bücher- und Zeitschriftenkopien versorgt.

In der Institutsbibliothek wurde insbesondere im Jahre 1995 der Bestand grundlegend reorganisiert, um ihn den Bibliotheksnutzern übersichtlicher anbieten zu können. Dazu gehörte die Neugliederung des Bestandes an Monographien entsprechend einer durch die Bibliothekskommission speziell dafür entwickelten Systematik. Der Bestand an Kartenwerken, Zeitschriften, Expeditionsreihen und Arbeitsprogrammen konnte über Projektmittel grundlegend revidiert werden.

Der Bestand an bibliographischen Einheiten der Institutsbibliothek (Monographien, Zeitschriftenbände, Nachschlagewerke, Sonderdrucke, Karten) ist bis Ende 1995 auf 100.166 angestiegen. Damit ist der Bestand gegenüber Ende 1993 um neun Prozent erweitert worden. Die Zahl der derzeit laufend geführten Zeitschriften und Serien liegt bei 1.016. Davon werden 171 über Abonnements bezogen. Die restlichen Zeitschriften und Serien erhält die Bibliothek durch Tausch oder Abgabe kostenloser Exemplare.

Die Institutsbibliothek wird seit 1.1.1995 durch einen wissenschaftlichen Mitarbeiter geleitet, der diese Position bereits am 1.8.1994 kommissarisch übernommen hatte. Der Personalbestand wurde am 15.8.1995 durch Eingliederung eines Mitarbeiters aus der Rechnergruppe auf drei Planstellen erhöht. Damit ist der Bereich Fachinformationsvermittlung und EDV-Betreuung der Bibliothek wieder direkt in der Bibliothek angesiedelt. Die daraus folgenden Maßnahmen zur Umstrukturierung der Arbeitsabläufe in der Bibliothek, die zu einer Verbesserung der Serviceleistungen führen sollen, konnten sich auf die Ergebnisse eines 1994 durchgeführten Gutachtens zum Zustand der AWI-Bibliothek stützen.

Um die technischen Arbeitsabläufe zu rationalisieren, wurde Ende 1995 in Zusammenarbeit mit dem Rechenzentrum ein System zur EDV-gestützten Fernleihe entwickelt. Dabei wird der World Wide Web-Browser auf drei Rechnerplattformen

**Bestand Bibliothek**

	Zugang 1994	Zugang 1995	Bestand
Bücher	604	526	19,092
Zeitschriften	4,988	4,193	45,973
Karten	440	15	2,227
	1994	1995	Gesamt
Fernleihe (aktiv)	1,311	1,149	2,46
Fernleihe (passiv)	789	878	1,667

(SUN, Macintosh und DOS/WINDOWS) für die Eingabe von Fernleihbestellungen durch die Nutzer eingesetzt. Die Fernleihe wird dabei weiterhin durch Fachpersonal in der Bibliothek durchgeführt.

Die Bibliothek ist weiterhin Mitglied in folgenden Organisationen:

- Arbeitsgemeinschaft der Bibliotheken der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF)
- Arbeitsgemeinschaft meereskundlicher Bibliotheken
- Arbeitsgemeinschaft der Spezialbibliotheken (ASpB), IAMSLIC und EURASLIC.

### 7.3 Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

#### **Medien**

Im Berichtszeitraum hat das AWI die Medien in 52 Pressemitteilungen über seine Arbeit informiert. Neben der Ankündigung von Vorträgen bezogen sich die Mitteilungen auf die wichtigsten Ereignisse und Arbeitsergebnisse, also die Höhepunkte der Arktis- und Antarktisreisen mit der „Polarstern“ sowie anderer Expeditionen, die Einweihung des Dallmann-Laboratoriums, die Eröffnung der NDSC-Station auf Spitzbergen durch den Bundesforschungsminister Dr. Jürgen Rüttgers, das neue Luftchemie-Observatorium an der Neumayer-Station in der Antarktis, die Südamerikareise der „Victor Hensen“, die Untersuchung stratosphärischer Ozonverluste an der Koldewey-Station, die Entdeckung von Spuren eines Meteoriteneinschlages im Südpolarmeer, die Vorstellung neuer Geräte, die im Institut entwickelt wurden (wie z.B. der Data-logger, das UV-B-Meßgerät) usw.

Außerdem waren verschiedene Ausstellungen, die das AWI organisierte, Anlaß für Mitteilungen an die Presse. Bezüglich der Berichterstattung im Fernsehen ist besonders die Reportage „Antworten aus der Eiszeit“ über die „Polarstern“-Arktisexpedition vom Sommer 1994 zu erwähnen. Sie wurde vom ZDF am 30. Dezember 1994 ausgestrahlt.

Anläßlich der Klimakonferenz in Berlin sendete das ZDF sein Länderjournal am 28. März 1995 zum Thema „Klima und Klimaforschung“ direkt aus dem AWI. Im Vorfeld und während der Klimakonferenz wurden Wissenschaftler des AWI, besonders im Hörfunk, überdurchschnittlich oft als Interviewpartner um Stellungnahmen gebeten. Immer dann, wenn Themen aus der Polar- und Klimaforschung aktuell sind, wenden sich sowohl die Printmedien als auch Hörfunk und Fernsehen wegen aktueller Interviews an das Institut.

## 7. Zentrale Einrichtungen

Die Reihe „Das AWI stellt sich vor“ wurde fortgesetzt. Einmal im Monat finden öffentliche Vorträge statt, in denen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter über ihre Arbeit berichten. Darüber hinaus halten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei vielen anderen Gelegenheiten auch populärwissenschaftliche Vorträge über das Institut.

Das Gebäude am Alten Hafen wird interessierten Besuchern auf Anfrage durch Führungen vorgestellt. Darunter sind viele Bremer und Bremerhavener Gäste von Firmen sowie Teilnehmer von Tagungen. Außerdem haben vor allem Gruppen aus Schulen (beispielsweise Lehrerkollegien) und Universitäten das Alfred-Wegener-Institut besucht, denen wir außer Führungen auch Vorträge angeboten haben.

Am 26. Juli 1995 besuchte Bundespräsident Dr. Roman Herzog mit seiner Frau das Institut. Der Bundespräsident war nach Bremerhaven gekommen, um die Parade der Segelschiffe anlässlich der „Sail 95“ abzunehmen und nutzte trotz seines knappen Zeitplans die Gelegenheit, sich über die Polarforschung zu informieren.

Die Ausstellung „125 Jahre deutsche Polarforschung“, die Bundesforschungsminister Dr. Paul Krüger am 7. Oktober 1993 eröffnet hatte, kehrte im Juni 1995 nach ca. 18 Monaten ins AWI zurück. Die Organisation und Betreuung der Ausstellung war 1994 und 1995 der Schwerpunkt der Öffentlichkeitsarbeit.

Das AWI zeigte „125 Jahre deutsche Polarforschung“ im Deutschen Schiffahrtsmuseum in Bremerhaven (vom 8. Oktober 1993 bis 30. Januar 1994), im Naturmuseum Senckenberg in Frankfurt (vom 9. März bis 20. April 1994), in der Orangerie im Neuen Garten in Potsdam (vom 6. Juni bis 21. Juli 1994), im Übersee-Museum Bremen, (vom 2. September bis 6. November 1994), im Museum Alexander Koenig in Bonn (vom 24. November 1994 bis 23. Januar 1995) und im Schiffahrtsmuseum Rostock auf dem Traditionsschiff in Rostock-Schmarl (vom 3. März bis 5. Juni 1995).

Die Sonderausstellung fand an den verschiedenen Orten ein sehr positives Echo und machte das AWI einem breiteren Publikum bekannt. Regelmäßig wurde ein Rahmenprogramm mit Diavorträgen über die aktuelle Polarforschung angeboten.

Das Institut führte zu den „Tagen der Forschung“ und ähnlichen Anlässen Ausstellungen über die Polarforschung durch. An der Präsentation des Landes Bremen auf dem Bonner Marktplatz („Bremer Tage“) waren wir im Mai 1994 mit einem Wohncontainer, verschiedenen Exponaten und Schautafeln beteiligt. Ozonmessungen, Sedimentanalysen und Eiskernbohrungen waren die Hauptthemen. Im Rahmen der „Tage der Forschung“ veranstaltete das AWI 1994 einen „Tag der offenen Tür“ in Potsdam (18.6.) und auf der „Polarstern“ in Bremerhaven (19.6.) und führte Ausstellungen im Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) in Bonn (18./19.6.) und in der BMFT-Außenstelle Berlin (17.6. bis 13.7.) durch.

### ***Vorträge, Führungen und Besichtigungen***

### ***Ausstellung „125 Jahre deutsche Polarforschung“***

### ***Tage der Forschung, Messen und weitere Ausstellungen***

Bei der Bremerhavener Festwoche 1994 zogen die Wohncontainer und Fahrzeuge für Antarktisexpeditionen im Freigelände sowie die ausgestellten Forschungsgeräte und Schautafeln viele interessierte Besucher an.

Im November 1994 beteiligten wir uns an der Europäischen Woche der Wissenschaft mit einem Projekt, das die europäische Zusammenarbeit auf der „Polarstern“-Expedition EPOS II (SEAS) in der Arktis vorstellte. Hauptattraktion war eine sogenannte „EuroPolarParty“ im Rahmen der Ausstellung „125 Jahre deutsche Polarforschung“ im Museum Alexander Koenig in Bonn. Eine mehr als einstündige Videokonferenz gab den Besuchern Gelegenheit, mit dem Fahrleiter, dem Kapitän und der Schiffsbesatzung in Bild und Ton direkt Verbindung aufzunehmen.

Bei der internationalen G7-Tagung zum Thema „Informationsgesellschaft“ in Brüssel stellten wir gemeinsam mit dem Bremer Institut für Betriebstechnik (BIBA) die schon bei der „EuroPolarParty“ genutzte modernste Kommunikationstechnik vor. Die Präsentation vom 24. bis zum 26.2.1995 umfaßte eine direkt geschaltete Videokonferenz zur „Polarstern“, die sich zu diesem Zeitpunkt an der Schelfeiskante bei der Filchner-Station befand.

Das AWI hat sich 1995 bei verschiedenen Messen (CeBIT Hannover im März, geotechnica in Köln im Mai, Envitec in Düsseldorf im Juni) präsentiert.

Im Institut in Bremerhaven waren im oberen Foyer des Hauptgebäudes von November 1994 bis März 1995 Antarktistafeln des Fotografen Franz Lazi und im Juni/Juli 1995 die Ausstellung „Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer“ der Nationalparkverwaltung Wilhelmshaven zu sehen.

Im Juli 1995 stellte das AWI während der Bremerhavener Festwoche und der „Sail 95“ seine Arbeit vor. Die Ausstellung „Die Polargebiete - das Klima - der Mensch“ wurde im Hauptgebäude gezeigt. Neben den Modellen der „Polarstern“ und der Neumayer-Station waren vor allem viele Originalgeräte zu sehen, die aus dem Hafenspeicher in die Ausstellungsräume gebracht worden waren, um die Arbeit an Themen wie Meereis, Inlandeis Grönlands und der Antarktis, Klimageschichte aus Sedimenten und das Leben in den Polarmeeren anschaulich zu machen. Die Besucher konnten sich auch über die aktuellen Arktisexpeditionen des Sommers 1995 im Nordpolarmeer und Sibirien, der Polarflugzeuge und über die Arbeit an der Koldewey-Station und der Neumayer-Station informieren. Im Rahmenprogramm wurden Führungen durch die Ausstellung und einzelne Abteilungen des Instituts, ein Malwettbewerb und Luftballonaufstiege für Kinder sowie Filmvorführungen und Vorträge angeboten.

Im November und Dezember 1995 war die Ausstellung „White Balance“ im Institut zu sehen. Die Fotografin Britta Lauer und der Bildhauer Lutz Fritsch, die an



## 7. Zentrale Einrichtungen

der Antarktisexpedition ANT XII/2 der „Polarstern“ (November 1994 bis Januar 1995) teilgenommen hatten, zeigten die daraus entstandenen Arbeiten. Zur Ausstellung sind ein Bildband mit den künstlerischen Fotos und ein Skizzenbuch erschienen.

Am Zweigmuseum Bonn des Deutschen Museums in München („Technik und Forschung in Deutschland nach 1945“ im Wissenschaftszentrum, Eröffnung am 5. November 1995) hat das AWI intensiv mitgewirkt. Es hat als Dauerleihgaben Modelle der „Polarstern“ und der Neumayer-Station sowie eine Ozonsonde und eine Line Scan-Kamera zur Verfügung gestellt. Außerdem hat das Museum das Thema „Ozonloch über der Antarktis“ aufgegriffen und die Messungen der ehemaligen DDR an der Forster-Station und heute an der Neumayer-Station als Beispiel des Zusammenwachsens ost- und westdeutscher Forschung dokumentiert.

Im Rahmen der guten Zusammenarbeit mit dem Deutschen Schiffahrtsmuseum in Bremerhaven beteiligt sich das Institut an den konzeptionellen Vorbereitungen für die neue Dauerausstellung im Erweiterungsbau zur „Geschichte der deutschen Meeres- und Polarforschung“.

Die Möglichkeiten PC-gestützter neuer Medien hat das AWI in der Außendarstellung seiner Arbeit, der allgemeinen Entwicklung folgend, stärker genutzt. Es wurden Multimedia-Präsentationen über die „Polarstern“ und über die „Erforschung eines polaren Ökosystems“ entwickelt. Zielgruppen sind in erster Linie Schüler, Studenten und populärwissenschaftlich Interessierte. Die Präsentationen sollen als CD-Roms oder Diskettensatz und über das World Wide Web (WWW) verteilt werden.

Für den Ausbau und die Verbesserung der derzeitigen Darstellung des AWI im WWW arbeitete die Öffentlichkeitsarbeit gemeinsam mit dem Rechenzentrum an einem neuen Konzept.

## **Neue Medien**

## 8. Personelle Situation und Haushaltsentwicklung

### 8.1 Personalplan 1994/95

#### BREMERHAVEN

	<b>Soll</b>	<b>Ist</b>	<b>Soll</b>	<b>Ist</b>
	<b>am 31.12.1994</b>		<b>am 31.12.1995</b>	
Stellenplan	211	203	209	209
Annex-Stellenplan	169	143	173	144
Hochschulsonderprogramm II	31	31	33	33
unbefristete Drittmittelstellen	16	10	16	8
befristete Drittmittelstellen	–	51	–	56
<b>Summe</b>	<b>427</b>	<b>438</b>	<b>431</b>	<b>450</b>

Mit der Bewilligung von zehn neuen Stellen im Jahre 1994 und der Besetzung dieser Stellen im Berichtszeitraum wurde der personelle Ausbau der wissenschaftlich-technischen Organisationsstruktur des AWI abgeschlossen. Zunehmende Bedeutung für die weitere wissenschaftliche Entwicklung des Instituts wird deshalb künftig die Einwerbung von Projektmitteln haben.

Die personelle Entwicklung im Berichtszeitraum ist in der nebenstehenden Übersicht dargestellt.

### 8.2 Haushalt 1994/1995

#### POTSDAM

	<b>Soll</b>	<b>Ist</b>	<b>Soll</b>	<b>Ist</b>
	<b>am 31.12.1994</b>		<b>am 31.12.1995</b>	
Stellenplan	34	33	34	34
Annex-Stellenplan	14	12	21	13
Befristete Drittmittelstellen	–	9	–	16
<b>Summe</b>	<b>48</b>	<b>54</b>	<b>55</b>	<b>63</b>

Das Haushaltsvolumen des Alfred-Wegener-Instituts in Bremerhaven belief sich im Jahr 1994 im Soll auf 99.322 TDM. Davon entfielen 84.467 TDM auf den Betriebsmittelplan und 14.855 TDM auf den Investitionsmittelplan.

Im Haushaltsjahr 1995 wurden insgesamt Ausgaben von 100.391 TDM veranschlagt. Bei den Betriebsmitteln war eine Steigerung von 623 TDM zu verzeichnen, die sich aus dem Anstieg der Personalaufwendungen um 1.567 TDM, bei den Betriebsführungsverträgen um 2.552 TDM und einer Kürzung bei den Sachausgaben um 3.496 TDM ergab. Im

Investitionsmittelbereich war eine Erhöhung gegen über dem Haushaltsjahr 1994 um 446 TDM veranschlagt.

Im Drittmittelbereich standen 1994 9.037 TDM und 1995 8.310 TDM zur Verfügung.

Das Haushaltsvolumen des Alfred-Wegener-Instituts, Forschungsstelle Potsdam, belief sich im Jahr 1994 im Soll auf 5.732 TDM. Davon entfielen 4.740 TDM auf

*Finanzplan 1994/1995 – Bremerhaven –*

	Soll	Ist am 31.12.1994	Soll	Ist am 31.12.1995
		TDM	TDM	TDM
<b>Betriebsmittelplan:</b>				
Personal	26.173	29.952	27.740	29.319
Sachmittel	58.694	57.733	57.750	58.506
<b>Investitionsmittelplan:</b>				
Lde. Investitionen	14.855	14.855	15.301	16.068
Bauinvestitionen	0	0	0	0
Einnahmen	400	3.673	400	3.993
Gesamt	99.322	98.867	100.391	99.900
Drittmittel	–	9.037	–	8.310

*Finanzplan 1994/1995 – Potsdam –*

	Soll	Ist am 31.12.1994	Soll	Ist am 31.12.1995
	TDM	TDM	TDM	TDM
<b>Betriebsmittelplan:</b>				
Personal	2.926	2.765	3.379	3.220
Sachmittel	1.814	1.686	1.745	1.846
<b>Investitionsmittelplan:</b>				
Lde. Investitionen	992	992	1.381	1.344
Bauinvestitionen	0	0	0	0
Einnahmen	–	58	–	18
Gesamt	5.732	5.385	6.505	6.392
Drittmittel	–	1.116	–	1.591

den Betriebsmittel- und 992 TDM auf den Investitionsmittelplan.

Im Haushaltsjahr 1995 wurden insgesamt Ausgaben von 6.505 TDM veranschlagt. Bei den Betriebsmitteln war eine Steigerung von 384 TDM zu verzeichnen, die sich aus dem Anstieg der Personalaufwendungen um 453 TDM und einer Kürzung bei den Sachausgaben um 69 TDM ergab. Im Investitionsmittelbereich war gegenüber dem Jahr 1992 eine Erhöhung des Ansatzes um 389 TDM veranschlagt.

Im Drittmittelbereich standen 1994 1.116 TDM und 1995 1.591 TDM zur Verfügung.

### *8.3 Bericht der Frauenbeauftragten des AWI*

Seit dem 19. Januar 1994 sind die Frauenbeauftragte des Alfred-Wegener-Instituts und ihre Stellvertreterin im Amt. In Abstimmung mit der Institutsleitung hat sich aus den hauptamtlich gewählten Frauenbeauftragten zusammen mit den Ersatzmitgliedern beider Nachrücklisten ein vierköpfiges Gremium gebildet, das die anfallenden Aufgaben gemeinsam bearbeitet.

Grundlage der Arbeit der Frauenbeauftragten ist das Landesgleichstellungsgesetz vom 20. November 1990, welches die Gleichstellung von Frau und Mann im öffentlichen Dienst des Landes Bremen regelt. Die Frauenbeauftragte ist demzufolge bei allen Personalangelegenheiten zu beteiligen. Hierzu gehören Stellenausschreibungen, Vorstellungsgespräche, Einstellungsverfahren, Höhergruppierungen, Beförderungen, die gemeinsamen Berufungsverfahren mit der Universität Bremen sowie die Teilnahme an den wöchentlichen Personalratssitzungen. Die Frauenbeauftragte ist an den Monatsgesprächen mit dem Direktorium und dem Personalrat beteiligt und nimmt an den Sitzungen des erweiterten Direktoriums sowie themenbezogen an den Sitzungen des wissenschaftlichen Rates teil.

Mitte 1994 wurde unter den Mitarbeiterinnen am AWI eine detaillierte Umfrage durchgeführt. Ziel der Umfrage war es, über die Probleme und die Arbeitssituation von Frauen am Institut erste Informationen einzuholen, die als Grundlage weiterer Maßnahmen im Rahmen der Arbeit der Frauenbeauftragten herangezogen werden sollten.

Am 10. Oktober 1995 hat die Frauenbeauftragte die erste Teilpersonalversammlung für Frauen in ihrer Amtsperiode einberufen. Sie diente vor allem der Information über das bisher Erreichte, die Alltagsaufgaben der Frauenbeauftragten und die Zusatzaktivitäten, die bewältigt werden müssen. Hierzu gehören vor allem die

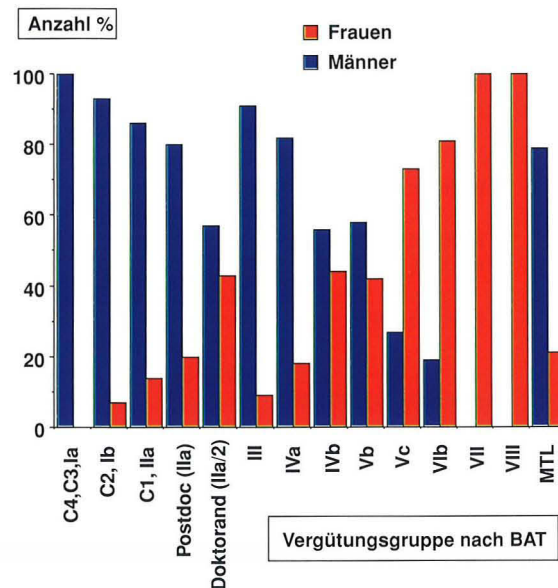
Teilnahme an Tagungen der Bundeskonferenz der Frauen- und Gleichstellungsbeauftragten an Hochschulen (BUKOF) und der HGF (Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren), Treffen der kommunalen Frauenbeauftragten und die Mitgliedschaft im HGF-Arbeitskreis „Frauen in den Forschungszentren“. Die Frauenbeauftragte hat sich hier intensiv für die Gründung eines Netzwerkes zur Frauenförderung innerhalb der HGF eingesetzt und war Mitglied im Gründungsausschuß. Am 5. Oktober 1995 fand die konstituierende Sitzung des Arbeitskreises, der sich aus je einer Vertreterin der Helmholtz-Zentren zusammensetzt, in Bonn statt.

Die Strukturanalyse (siehe Abbildung) zeigt die Verteilung der Stellen am AWI im Februar 1995, gegliedert nach Gehalts- und Geschlechtsgruppen. Beim Führungspersonal fehlen Frauen völlig, ihr Anteil steigt erst bei den unteren Wissenschaftlerstufen langsam an. Diese Verteilung trifft auch auf den technischen Bereich und die Verwaltungsebene zu. Ähnliches findet sich auch in anderen deutschen Forschungsinstituten. Dennoch befindet sich das AWI mit einem Frauenanteil von insgesamt 35 % und einem Anteil an Wissenschaftlerinnen von 21 % noch im oberen Mittel der Helmholtz-Zentren.

Darüber hinaus arbeitet die Frauenbeauftragte zur Zeit an der Erstellung eines Frauenförderplans, in dem Zielvorgaben für die Erhöhung des Frauenanteils in den einzelnen Besoldungsgruppen festgelegt werden sollen.

Ziel der Arbeit der Frauenbeauftragten ist es, in den gehobenen Positionen den Frauenanteil zu erhöhen und den Stellenkegel auszugleichen. Um Frauen den Zugang zu höher dotierten Stellen zu ermöglichen, muß vor allem auch im Bereich der Nachwuchswissenschaftlerinnen (Post-Doc-Stellen) angesetzt werden, um so den Stellenkegel auf Dauer ausbalancieren zu können. Ein Schwerpunkt der Arbeit liegt zudem im Bereich der tariflichen Eingruppierungen, wo nach wie vor eine starke Diskrepanz zwischen Anforderungsprofilen und Bezahlung besteht. Bewertungsmaßstäbe, die die Arbeit von Frauen auszeichnen, wie Teamfähigkeit, soziale Kompetenz, Koordinations- und Kooperationsfähigkeit, Komplexität der Aufgaben, werden im Bereich des öffentlichen Dienstes bisher bei Eingruppierungen nicht berücksichtigt.

AWI - Mitarbeiter/innen (Stand 1.2.1995)



## 9. Veröffentlichungen

### 9.1 Veröffentlichungen des Instituts

#### **Berichte zur Polarforschung 1994/95**

- Heft-Nr. 133/1994 „Radiation and Eddy Flux Experiment 1993 (REFLEX II)“, **by Christoph Kottmeier, Jörg Hartmann, Christian Wamser, Axel Bochert, Christof Lüpkes, Dietmar Freese and Wolfgang Cohrs.**
- Heft-Nr. 134/1994 „The Expedition ARKTIS-IX/1“, **edited by Hajo Eicken and Jens Meincke**
- Heft-Nr. 135/1994 „Die Expeditionen ANTARKTIS X/6-8“, **herausgegeben von Ulrich Bathmann, Victor Smetacek, Hein de Baar, Eberhard Fahrbach und Gunther Krause.**
- Heft-Nr. 136/1994 „Untersuchungen zur Ernährungsökologie von Kaiserpinguinen (*Aptenodytes forsteri*) und Königspinguinen (*Aptenodytes patagonicus*)“, **von Klemens Pütz.**
- Heft-Nr. 137/1994 „Die känozoische Vereisungsgeschichte der Antarktis“, **von Werner U. Ehrmann.**
- Heft-Nr. 138/1994 „Untersuchungen stratosphärischer Aerosole vulkanischen Ursprungs und polarer stratosphärischer Wolken mit einem Mehrwellenlängen-Lidar auf Spitzbergen (79°N, 12°E)“, **von Georg Beyerle.**
- Heft-Nr. 139/1994 „Charakterisierung der Isopodenfauna (Crustacea, Malacostraca) des Scotia-Bogens aus biogeographischer Sicht: Ein multivariater Ansatz“, **von Holger Winkler.**
- Heft-Nr. 140/1994 „Die Expedition ANTARKTIS X/4 mit FS 'Polarstern' 1992“, **herausgegeben von Peter Lemke.**
- Heft-Nr. 141/1994 „Satellitenaltimetrie über Eis - Anwendung des GEOSAT-Altimeters über dem Ekströmisen, Antarktis“, **von Klemens Heidland.**
- Heft-Nr. 142/1994 „The 1993 Northeast Water Expedition. Scientific cruise report of RV 'Polarstern' Arctic cruises ARK IX/2 and 3, USCG 'Polar Bear' cruise NEWP and the NEWLand expedition“, **edited by Hans-Jürgen Hirche and Gerhard Kattner.**
- Heft-Nr. 143/1994 „Detaillierte refraktionsseismische Untersuchungen im inneren Scoresby Sund / Ost-Grönland“, **von Notker Fechner.**
- Heft-Nr. 144/1994 „Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo-System Laptev Sea“, **edited by Heidemarie Kassens, Hans-Wolfgang Hubberten, Sergey M. Priamikov und Rüdiger Stein.**
- Heft-Nr. 145/1994 „The 1993 Northeast Water Expedition. Data Report of RV 'Polarstern' Arctic Cruises IX/2 and 3“, **edited by Gerhard Kattner and Hans-Jürgen Hirche.**
- Heft-Nr. 146/1994 „Radiation Measurements at the German Antarctic Station Neumayer 1982-1992“, **by Torsten Schmidt and Gert König-Langlo.**
- Heft-Nr. 147/1994 „Krustenstrukturen und Verlauf des Kontinentalrandes im Weddell Meer / Antarktis“, **von Christian Hübscher.**
- Heft-Nr. 148/1994 „The expeditions NORILSK/TAYMYR 1993 and BUNGER OASIS 1993/94 of the AWI Research Unit Potsdam“, **edited by Martin Melles.**
- Heft-Nr. 149/1994 „Die Expedition ARCTIC'93. Der Fahrtabschnitt ARK IX/4 mit FS 'Polarstern' 1993“, **herausgegeben von Dieter K. Fütterer.**
- Heft-Nr. 150/1994 „Der Energiebedarf der Pygoscelis-Pinguine: eine Synopse“, **von Boris M. Culik.**
- Heft-Nr. 151/1994 „Russian-German Cooperation: The Transdrift I Expedition to the Laptev Sea“, **edited by Heidemarie Kassens and Valeriy Y. Karpiy.**

## 9. Veröffentlichungen

- Heft-Nr. 152/1994 „Die Expedition ANTARKTIS X mit FS 'Polarstern' 1992. Bericht von den Fahrtabschnitten ANT X/1a und 2", **herausgegeben von Heinz Miller.**
- Heft-Nr. 153/1994 „Aminosäuren und Huminstoffe im Stickstoffkreislauf polarer Meere“, **von Ulrike Hubberten.**
- Heft-Nr. 154/1994 „Regional and seasonal variability in the vertical distribution of mesozooplankton in the Greenland Sea“, **by Claudio Richter.**
- Heft-Nr. 155/1995 „Benthos in polaren Gewässern“, herausgegeben **von Christian Wiencke und Wolf Arntz.**
- Heft-Nr. 156/1995 „An adjoint model for the determination of the mean oceanic circulation, air-sea fluxes and mixing coefficients“, **by Reiner Schlitzer.**
- Heft-Nr. 157/1995 „Biochemische Untersuchungen zum Lipidstoffwechsel antarktischer Copepoden“, **von Kirsten Fahl.**
- Heft-Nr. 158/1995 „Die deutsche Polarforschung seit der Jahrhundertwende und der Einfluß Erich von Drygalskis“, **von Cornelia Lüdecke.**
- Heft-Nr. 159/1995 The distribution of d <sup>18</sup>O in the Arctic Ocean: Implications for the freshwater balance of the halocline and the sources of deep and bottom waters“, **by Dorothea Bauch.**
- Heft-Nr. 160/1995 „Rekonstruktion der spätquartären Tiefenwasserzirkulation und Produktivität im östlichen Südatlantik anhand von benthischen Foraminiferenvergesellschaftungen“, **von Gerhard Schmiedl.**
- Heft-Nr. 161/1995 „Der Einfluß von Salinität und Lichtintensität auf die Osmolytkonzentrationen, die Zellvolumina und die Wachstumsraten der antarktischen Eisdiatomeen *Chaetoceros* sp. und *Navicula* sp. unter besonderer Berücksichtigung der Aminosäure Prolin.“, **von Jürgen Nothnagel.**
- Heft-Nr. 162/1995 „Meereistransportiertes lithogenes Feinmaterial in spätquartären Tiefseesedimenten des zentralen östlichen Arktischen Ozeans und der Framstraße“, **von Thomas Letzig.**
- Heft-Nr. 163/1995 „Die Expedition ANTARKTIS XI/2 mit FS 'Polarstern' 1993/94“, **herausgegeben von Rainer Gersonde.**
- Heft-Nr. 164/1995 „Regionale und altersabhängige Variation gesteinsmagnetischer Parameter in marinen Sedimenten der Arktis“, **von Thomas Frederichs.**
- Heft-Nr. 165/1995 „Vorkommen, Verteilung und Umsatz biogener organischer Spurenstoffe: Sterole in antarktischen Gewässern“, **von Georg Hanke.**
- Heft-Nr. 166/1995 „Vergleichende Untersuchungen eines optimierten dynamisch-thermodynamischen Meereismodells mit Beobachtungen im Weddellmeer“, **von Holger Fischer.**
- Heft-Nr. 167/1995 „Rekonstruktionen von Paläo-Umweltparametern anhand von stabilen Isotopen und Faunen-Vergesellschaftungen planktischer Foraminiferen im Südatlantik“, **von Hans-Stefan Niebler.**
- Heft-Nr. 168/1995 „Die Expedition ANTARKTIS-XII mit FS 'Polarstern' 1993/94. Bericht von den Fahrtabschnitten ANT-XII/1 und 2“, **herausgegeben von Gerhard Kattner und Dieter Karl Fütterer.**
- Heft-Nr. 169/1995 „Medizinische Untersuchung zur Circadianrhythmik und zum Verhalten bei Überwinternern auf einer antarktischen Forschungsstation“, **von Hans Wortmann.**
- Heft-Nr. 170/1995 DFG-Kolloquium: Terrestrische Geowissenschaften - Geologie und Geophysik der Antarktis.
- Heft-Nr. 171/1995 „Strukturentwicklung und Petrogenese des metamorphen Grundgebirges der nördlichen Heimefrontfjella (westliches Dronning Maud Land/Antarktika)“, **von Wilfried Bauer.**
- Heft-Nr. 172/1995 „Die Struktur der Erdkruste im Bereich des Scoresby Sund, Ostgrönland: Ergebnisse refraktionsseismischer und gravimetrischer Untersuchungen“, **von Holger Mandler.**

- Heft-Nr. 173/1995 „Paläozoische Akkretion am paläopazifischen Kontinentalrand der Antarktis in Nordvictorialand - P-T-D-Geschichte und Deformationsmechanismen im Bowers Terrane“, **von Stefan Matzer.**
- Heft-Nr. 174/1995 „The Expedition ARKTIS X/2 of RV 'Polarstern' in 1994“, **edited by Hans-W. Hubberten.**
- Heft-Nr. 175/1995 „Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR 1994“, **edited by Christine Siegert and Dmitry Bolshiyarov.**
- Heft-Nr. 176/1995 „Russian-German Cooperation: Laptev Sea System“, **edited by Heidemarie Kassens, Dieter Piepenburg, Jörn Thiede, Leonid Timokhov, Hans-Wolfgang Hubberten and Sergey M. Priamikov.**
- Heft-Nr. 177/1995 „Organischer Kohlenstoff in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans: Terrigener Eintrag und marine Produktivität“, **von Carsten J. Schubert.**
- Heft-Nr. 178/1995 „Cruise ANTARKTIS XII/4 of RV „Polarstern“ in 1995: CTD-Report“, **by Jüri Sildam.**
- Heft-Nr. 179/1995 „Benthische Foraminiferenfaunen als Wassermassen-, Produktions- und Eisdriftnanzeiger im Arktischen Ozean“, **von Jutta Wollenburg.**
- Heft-Nr. 180/1995 „Biogenopal und biogenes Barium als Indikatoren für spätquartäre Produktivitätsänderungen am antarktischen Kontinentalhang, atlantischer Sektor“, **von Wolfgang J. Bonn.**
- Heft-Nr. 181/1995 „Die Expedition ARKTIS X/1 des Forschungsschiffes 'Polarstern' 1994“, **herausgegeben von Eberhard Fahrbach.**
- Heft-Nr. 182/1995 „Laptev Sea System: Expeditions in 1994“, **edited by Heidemarie Kassens.**

#### **Polarstern Abstracts**

- Heft 8/1994. Ed. I. Hempel: 175 pp.  
Heft 9/1995: Eds. I. Hempel, J. Voß: 212 pp.

#### **Filchner Ronne Ice Shelf Programme**

- Report No. 7 (1994), comp. by H. Oerter: 55 pp.  
Report No. 8 (1994), comp. by H. Oerter: 48 pp.  
Report No. 9 (1995), comp. by H. Oerter: 128 pp.

#### **Berichte aus dem Fachbereich Physik**

- Report 47 (Technical Report, Febr. 1994) **SCHENK, O.** Parallelisierung des quasigeostrophischen Zirkulationsmodelles
- Report 48 (Preprint, Febr. 1994). **DETERMANN, J. and GERDES, R.** Melting and freezing beneath ice shelves: Implications from a 3-d ocean circulation model
- Report 49 (Diss., March 1994). **LORENZEN-SCHMIDT, H.** Untersuchungen zur atmosphärischen Verteilung und zum photochemischen Abbau leichtflüchtiger Bromverbindungen
- Report 50 (Diplomarbeit, Febr. 1994). **HARDER, M.** Erweiterung eines numerischen dynamisch-thermodynamischen Meereismodells zur Erfassung deformierten Eises
- Report 51 (Technical Report, May 1994). **HAAS, C. and VIEHOFF, T.** Sea ice conditions in the Bellingshausen/Amundsen Sea: Shipboard observations and satellite imagery during ANT XI/3



## 9. Veröffentlichungen

- Report 52 (Technical Report, June 1994). **HILLER, W., KRAUSSE, E., eds.** Workshop on Aspects of Parallelization regarding Finite Elements and Ocean Modelling
- Report 53 (Technical Report, July 1994). **DRINKWATER, M.R. and HAAS, C.** Snow, Sea-ice, and Radar Observations during ANT X/4: Summary Data Report
- Report 54 (Preprint, Sept. 1994). **SANDER, J., WOLF-GLADROW, D. and OLBERS, D.** Numerical studies of open ocean deep convection
- Report 55 (Preprint, Oct. 1994). **VOGELER, A. AND SCHRÖTER, J.** Assimilation of satellite altimeter data into an Open Ocean Model
- Report 56 (Preprint, Febr. 1995). **BEHRENS, J.** Parallelization strategies for matrix assembly in finite element methods
- Report 57 (Preprint, Febr. 1995). **LOHMANN, G., GERDES, R. and CHEN, D.** Sensitivity of the thermohaline circulation in coupled oceanic GCM atmospheric EBM experiments
- Report 58 (Preprint, Febr. 1995) **LOHMANN, G., GERDES, R. AND CHEN, D.** Stability of the thermohaline circulation in an analytical investigation
- Report 59 (Preprint, Febr. 1995). **ROHARDT, G., AAGARD, K., FAHRBACH, E., FISCHER, J. and MEINCKE, J.** Records from current meters moored during the Greenland Sea Project from 1987 to 1989
- Report 60 (Diplomarbeit, March 1995). **ZEEBE, R.** Ein eindimensionales thermodynamisches Meereismodell unter Berücksichtigung bio-optischer Eigenschaften
- Report 61 (Technical Report, May 1995). **WISOTZKI, A., FAHRBACH, E. and ROETHER, W.** XBT-Daten im Atlantik (Nov.91 - Jan.95) und ADCP-Daten über die Drakestraße (ANT IX/2 und ANT X/1)
- Report 62 (Preprint, June 1995). **BEHRENS, J.** An adaptive finite element Semi-Lagrangian Advection Scheme and its parallelization
- Report 63 (Technical Report, Sept. 1995). **LYKOSOV, V.** Turbulence closure for the boundary layer with coherent structures: an overview
- Report 64 (Preprint, Nov. 1995). **SEISS, G., SCHRÖTER, V. and GOURETSKI, V.** Assimilation of GEOSAT altimeter data into a quasigeostrophic model of the Antarctic Circumpolar Current
- Report 65 (Preprint, Dec. 1995). **FAHRBACH, E., SCHRÖDER, M. and KLEPIKOV, A.** Circulation and water masses in the Weddell Sea

### 9.2 Veröffentlichungen der Mitarbeiter

#### Nachträge 1993:

- BORNEMANN, H. and PLÖTZ, J.** (1993). A field method for immobilizing Weddell seals. *Wildl. Soc. Bull.* **21**: 437-441
- BRANCO, L.G.S., PÖRTNER, H.O. and WOOD, S.C.** (1993). Interaction between temperature and hypoxia in the alligator. *Am. J. Physiol.* **265**: R1339-R1343
- ECKSTALLER, A. and MILLER, H.** (1993). Seismological research at Georg von Neumayer Base, Antarctica - Pt. II. The analysis of travel time residuals. *Polarforschung* **62** (1): 39-50
- HUYBRECHTS, P.** (1993). Glaciological modelling of the Late Cenozoic East Antarctic ice sheet: Stability or dynamism? *Geografiska Annaler* **75A** (4): 221-238
- JANSSEN, H.H. and HOESE, B.** (1993). Marsupium morphology and brooding biology of the Antarctic giant isopod, *Glyptonotus antarcticus* Eights 1853 (Crustacea, Isopoda, Chaetiliidae). *Polar Biol.* **13**: 145-149

- JENKINSON, I.** (1993). Viscosity and elasticity of *Gyrodinium of aureolum* and *Noctiluca scintillans* exudates, in relation to mortality of fish and damping of turbulence. In: Toxic phytoplankton blooms in the sea (T. J. Smayda, Y. Shimizu, eds.). Elsevier Sci. Publ. B.V.: 757 - 762
- KLÖSER, H.** (1993). Benthic diatom communities at Potter Cove (King George Island). In: Proc. Fourth Polar Diatom Colloquium, Dept. of Quaternary Research, Stockholm University, Stockholm, 1992 (A. Leventer, ed.). BPRC Misc. Ser. M-322, Byrd Polar Research Center, Columbus, Ohio
- KRAUSE, R.A.** (1993). Hintergründe der deutschen Polarforschung von den Anfängen bis heute. Deutsches Schifffahrtsarchiv 16: 7-70
- KRAUSE, R.A.** (1993). Schritte zur Institutionalisierung der Polarforschung in Deutschland im 19. Jahrhundert. Z. geol. Wiss. 21 (5/6): 617-626
- LOCHTE, K.** (1993). Mikrobiologie von Tiefseesedimenten. In: Mikrobiologie des Meeresbodens (Meyer-Reil, Köster, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 258-282
- REEH, N., OERTER, H. and MILLER, H.** (1993). Correlation of Greenland ice core and ice margin  $d^{18}O$  records. In: Ice in the climate system. NATO ASI Ser. 112: 481-497
- RÜGER, H.J.** (1993). Isolierung und Identifizierung benthischer Bakterien. In: Mikrobiologie des Meeresbodens (Meyer-Reil & Köster, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 121-143
- SCHAUMANN, K.** (1993). Marine Pilze. In: Mikrobiologie des Meeresbodens (Meyer-Reil, Köster, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 144-195
- TAYLOR, K.C., HAMMER, C.U., ALLEY, R.B., CLAUSEN, H.B., DAHL-JENSEN, D., GOW, A.J., GUNDESTRUP, N.S., KIPFSTUHL, J., MOORE, J.C. and WADDINGTON, E.D.** (1993). Electrical conductivity measurements from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. Nature 366: 549-553
- UENZELMANN-NEBEN, G.** (1993). Scoresby Sund, East Greenland: Structure and distribution of sedimentary rocks. Polarforschung 62 (1): 1-9
- WÜSTER, J., ECKSTALLER, A. and MILLER, H.** (1993). Seismological research at Georg von Neumayer Base, Antarctica - Pt. I. The seismological observatory. Polarforschung 62 (1): 27-38
- ZILITINKEVICH, S. and SÖDERMANN, J.K.D.** (1993). The Meteorology and Oceanography Centre, Erice. In: Managing the Mediterranean: Information for Decision Making. Proc. Workshop, Venice, 1993. ISDGM-Venice: 81-85
- ZILITINKEVICH, S.** (1993). LAND-3/Protection of the coastal marine environment in the Southern Mediterranean Sea. In: Combined Proc. Tenth Project Director's and Scientific Committee Meetings of the ICSC - World Laboratory, Lausanne, 1993, vol. 24: 211-234

#### *Nichtbegutachtete Veröffentlichungen 1993 (Nachträge)*

- HUYBRECHTS, P.** (1993). Modelling the present evolution of the Greenland ice sheet. In: Mass balance and related topics of the Greenland ice sheet (N.Reeh, H. Oerter, eds.). Grønlands Geol. Unders. Open File Series 93/3: 13-16
- HUYBRECHTS, P.** (1993). A numerical study on the response of the Antarctic ice sheet to changes in environmental conditions. In: Belgian Scientific Research Programme of the Antarctic. Scientific results of phase two, vol. 3. Belgian Science Policy Office: 42 pp.
- HUYBRECHTS, P. and TSIORBEL, S.** (1993). A first simulation of northern hemisphere glaciation during the last ice-age using a 3-D thermomechanical ice sheet model (3-dimensional modelling of the continental cryosphere). Belgian Impulse Programme, Proc. Global Change Symposium, Brussels, 1993: 33-62
- KRISTOFFERSEN, Y., JOKAT, W. and WEIGELT, E.** Lomonosov Ridge: A treasure chest for Cenozoic Arctic paleo-oceanography. The Nansen Ice Breaker 4: 4-5
- MELLES, M., HUBBERTEN, H.-W., WAND, U., HERMICHEN, W.-D., BERGEMANN, B., KHRUTSKY, S.F. and BOLSHIYANOV, D.Y.** (1993). Lake sediment coring in Central Siberia (Norilsk, Taymyr) in 1993 - a preliminary report. IPPCCE Newsletter (S. Horie ed.) 7: 125-129

## 9. Veröffentlichungen

- OERTER, H. and REEH, N.** (1993).  $\delta^{18}\text{O}$  studies on the margin of Storstrømmen, North-East Greenland. In: Mass balance and related topics of the Greenland ice sheet (N. Reeh, H. Oerter, eds.). Grønlands Geol. Unders. Open File Series 93/5: 64-67
- PATTIJN, F., DECLEIR, H. and HUYBRECHTS, P.** (1993). Ice dynamical studies in the Sør Rondane Mountains, Dronning Maud Land, East Antarctica. In: Belgian Scientific Research Programme of the Antarctic. Scientific results of phase two (S. Caschetto, ed.). Belgian Science Policy Office, vol. 3: 35 pp.
- REEH, N., OERTER, H. and BØGGILD, C.E.** (1993). Glaciological investigations in north-east and eastern North Greenland. Express report Eastern North Greenland, GGU: 47-54
- SCHALK, P.H., BREY, T., BATHMANN, U., ARNTZ, W., GERDES, D., DIECKMANN, G., EKAU, W., GRADINGER, R., PLÖTZ, J., NÖTHIG, E., SCHNACK-SCHIEL, S.B., SIEGEL, V., SMETACEK, V. and VanFRANEKER, J.A.** (1993). Towards a conceptual model for the Weddell Sea ecosystem, Antarctica. In: Trophic models of aquatic ecosystems (V. Christiansen, D. Pauly, eds.). ICLARM conference proceedings 26, ICLARM, Manila: 323-337
- STAMBLER, N., ROBINSON, D. and APEL, H.** (1993). The spectrophotometric analysis of chlorophyll. Spectroscopy Europe 5/6: 32
- TARASOV, G., NÜRNBERG, D., GROTH, E. and KHASANKAEV, N.** (1993). The bottom sediments. In: Reports on the international multi-disciplinary cruise to high-latitude archipelagoes of the Barents Sea (Frantz Josef Land and Novaya Zemlya). August - September, 1992 (RV Dalnie Zelentsy, cruise N 68) (G.G. Matishov ed.). Murmansk Marine Biological Institute, Kola Science Center Publishers, Russian Academy of Science. Apatity 1993: 22-26
- URBAN, H.-J.** (1993). Un programa para estudiar los efectos del fenómeno de El Niño, aplicado a bivalvos. Curso Taller Internacional sobre Indicadores biológicos del Fenómeno El Niño en el Pacífico Sudeste. Cali, Colombia, 23-30 marzo. Secretaria General de la CPPS, Libro de Resúmenes: de los trabajos presentados por los autores al Curso-Taller: 25-40

### Veröffentlichungen 1994:

- ALLEY, R.B., GOW, A.J., JOHNSEN, S.J., KIPFSTUHL, J., MEESE, D.A. and THORSTEINSSON, Th.** (1994). Comparison of deep ice cores. Nature 373: 393-394
- AMMANN, B., LOTTER, A., EICHER, U., GAILLARD, M.-J., WOHLFARTH, B., HAEBERLI, W., LISTER, G., MAISCH, M., NIESSEN, F. and SCHLÜCHTER, C.** (1994). The Würmian late-glacial in lowland Switzerland. J. Quatern. Sci. 9: 119-125
- ANDERSON, L.G., BJÖRK, G., HOLBY, O., JONES, E.P., KATTNER, G., KOLTERMANN, K.P., LILJEBLAD, B., LINDEGREN, R., RUDELS, B. and SWIFT, J.** (1994). Water masses and circulation in the Eurasian Basin: Results from the *Oden* 91 expedition. J. Geophys. Res. 99/C2: 3273-3283
- ANDRÉS-HERNANDEZ, M.D., SCHREMS, O., NOTHOLT, J. and HJORTH, J.** (1994). On the origin of  $\text{HNO}_2$  in semi-rural and polluted areas. In: Physico-chemical behaviour of atmospheric pollutants: report EUR 15609/1 EN vol. 1 (G. Angeletti, G. Restelli, eds.): 287-292
- ARNTZ, W.E., BREY, T. and GALLARDO, V.A.** (1994). Antarctic zoobenthos. Biol. Mar. Oceanogr. Ann. Rev. 32: 241-304
- BAUMANN, M.E.M., BRANDINI, F.P. and STAUBES, R.** (1994). The influence of light and temperature on carbon-specific DMS release by cultures of *Phaeocystis antarctica* and three antarctic diatoms. Mar. Chem. 45: 129-136
- BAUMANN, M.E.M., LANCELOT, C., BRANDINI, F.P., SAKSHAUG, E. and JOHN, D.M.** (1994). The taxonomic identity of the cosmopolitan prymnesiophyte *Phaeocystis*: morphological and ecophysiological approach. J. Mar. Syst. 5: 5-22
- BECKMANN, A. and DIEBELS, S.** (1994). Effects of the horizontal component of the Earth's rotation on wave propagation on an f-plane. Geophys. Astrophys. Fluid Dyn. 76: 95-119
- BECKMANN, A., BÖNING, C.W., BRÜGGE, D. and STAMMER, D.** (1994). On the generation and role of eddy variability in the central North Atlantic. J. Geophys. Res. 99: 20381-20391
- BECKMANN, A., BÖNING, C.W., KÖBERLE, C. and WILLEBRAND, J.** (1994). Effects of increased horizontal resolution in a simulation of the North Atlantic Ocean. J. Phys. Oceanogr. 24: 326-344

- BEYERLE, G. and NEUBER, R.** (1994). The stratospheric aerosol content above Spitsbergen during winter 1991/92. *Geophys. Res. Lett.* **21** (13): 1291-1294
- BEYERLE, G., NEUBER, R., SCHREMS, O., WITTRUCK, F. and KNUDSEN, B.** (1994). Multiwavelength lidar measurements of stratospheric aerosols above Spitsbergen during winter 1992/93. *Geophys. Res. Lett.* **21** (1): 57-60
- BIJMA, J. and HEMLEBEN, C.** (1994). Population dynamics of the planktic foraminifer *Globigerinoides sacculifer* (Brady) from the central Red Sea. *Deep-Sea Res.* **41** (3): 485-510
- BIJMA, J., HEMLEBEN, C. and WELLNITZ, K.** (1994). Lunar-influenced carbonate flux of the planktic foraminifer *Globigerinoides sacculifer* (Brady) from the central Red Sea. *Deep-Sea Res.* **41** (3): 511-530
- BISCHOFF, B., KARSTEN, U., DANIEL, C., KÜCK, K., XIA, B. and WIENCKE, C.** (1994). The  $\beta$ -dimethylsulfoniopropionate (DMSP) content of macroalgae from the tropical Island of Hainan. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* **45**: 1329-36
- BLOME, D. and RIEMANN, F.** (1994). Sandy beach meiofauna of eastern Australia (Southern Queensland and New South Wales). III. Revision of the Nematode genus *Onyx* Cobb, 1891, with a description of three new species (Nematoda: Desmodoridae). *Invertebr. Taxon.* **8**: 1483-92
- BOCHERT, A. and WAMSER, C.** (1994). New airborne line scanner systems for high resolution sea-ice observation. *The Global Atmosphere and Ocean System* **2**: 247-251
- BOETIUS, A. and LOCHTE, K.** (1994). Regulation and microbial enzymatic degradation of organic matter in deep-sea sediments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **104**: 299-307
- BOHRMANN, G., ABELMANN, A., GERSONDE, R., HUBBERTEN, H. and KUHN, G.** (1994). Pure siliceous ooze, a diagenetic environment for early chert formation. *Geology* **22** (3): 207-210
- BØGGILD, C.E., REEH, N. and OERTER, H.** (1994). Modelling ablation and mass-balance sensitivity to climate change of Storstrømmen, Northeast Greenland. *Global Planet. Change* **9**: 79-90
- BREY, T., KLAGES, M., DAHM, C., GORNY, M., GUTT, J., HAIN, S., STILLER, M., ARNTZ, W.E., WÄGELE, J.-W. and ZIMMERMANN, A.** (1994). Antarctic benthic diversity. *Nature* **368**: 297
- BURKHARDT, S.** (1994). Seasonal size variation in the predatory cladoceran *Bythotrephes cederstroemii* in Lake Michigan. *Freshwater Biol.* **31**: 97-108
- BURKHARDT, S. and LEHMAN, J.T.** (1994). Prey consumption and predatory effects of an invertebrate predator (Bythotrephes: Cladocera, Cercopagidae) based on phosphorus budgets. *Limnol. Oceanogr.* **39** (5): 1007-1019
- CLASING, E., BREY, T., STEAD, R., NAVARRO, J. and ASENCIO, G.** (1994). Population dynamics of *Venus antiqua* in Yaldad, Isla de Chiloé, Southern Chile. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **177**: 171-186
- CRAWFORD, R.M.** (1994). Transmission electron microscopy and diatom research. *Proc. 11th Internat. Diatom Symp.*, 1990. *Mem. Calif. Acad. Sci.* **17**: 5-19
- CRAWFORD, R.M., GARDNER, C. and MEDLIN, L.K.** (1994). The genus *Attheya* I. A description of four new taxa, and the transfer of *Gonioceros septentrionalis* and *G. armatus*. *Diatom Res.* **9** (1): 27-51
- DAMASKE, D., BEHRENDT, J., McCAFFERTY, A., SALTUS, R. and MEYER, U.** (1994). Transfer faults in the western Ross Sea: new evidence from the McMurdo Sound/Ross Ice Shelf aeromagnetic survey (GANOVEX VI). *Antarct. Sci.* **6**: 359-364
- DANNECKER, W., HINZPETER, H., KRIEWS, M., NAUMANN K., SCHULZ, M., SCHWIKOWSKI, M., STEIGER, M., TERZENBACH, U. and P. KIRZEL** (1994). Atmospheric transport of contaminants, their concentrations and input into the North Sea. In: *Circulation and contaminant fluxes in the North Sea* (J. Sündermann, ed.). Springer, Berlin, Heidelberg: 138-189
- DERSCH, M. and STEIN, R.** (1994). Late Cenozoic records of eolian quartz flux in the Sea of Japan (ODP-Leg 128, Sites 798 and 799) and paleoclimate in Asia. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* **108**: 523-535
- DETERMANN, J. and GERDES, R.** (1994). Melting and freezing beneath ice shelves - implications from a 3-D ocean circulation model. *Ann. Glaciol.* **20**: 413-419
- DETHLOFF, K. and RINKE, A.** (1994). A periodic vacillation cycle in a simple baroclinic climate model. *Meteorol. Z. N.F.* **3**. Jg. (1): 41-43

- DIERKING, W., GARRITY, C. and RAMSEIER, R.O.** (1994). Interpretation of radar signatures observed in SAR images of ice island T-3 by means of backscatter modelling. *EARSeL Advances in Remote Sensing* **3** (2): 31-43
- DOWDESWELL, J.A., WHITTINGTON, R.J. and MARIENFELD, P.** (1994). The origin of massive diamicton facies by iceberg rafting and scouring, Scoresby Sund, East Greenland. *Sedimentology* **41**: 21-35
- DOWDESWELL, J.A., UENZELMANN-NEBEN, G., WHITTINGTON, R.J. and MARIENFELD, P.** (1994). The Late Quaternary sedimentary record in Scoresby Sund, East Greenland. *Boreas* **23**: 294-310
- DRINKWATER, M.R., LONG, D.G. and EARLY, D.S.** (1994). Enhanced resolution ERS-1 scatterometer imaging of Antarctic ice. *Earth Observation Quarterly* **43** (March): 4-6
- EICKEN, H.** (1994). Automated image analysis of ice thin sections: Instrumentation, methods and extraction of stereological and textural parameters. *J. Glaciol.* **39**: 341-352
- EICKEN, H.** (1994). Structure of under-ice melt ponds in the central Arctic and their effect on the sea-ice cover. *Limnol. Oceanogr.* **39** (3): 682-694
- EICKEN, H., LANGE, M.A., HUBBERTEN, H.-W. and WADHAMS, P.** (1994). Characteristics and distribution patterns of snow and meteoric ice in the Weddell Sea and their contribution to the mass balance of sea ice. *Ann. Geophys.* **12**: 80-93
- EICKEN, H., OERTER, H., MILLER, H., GRAF, W. and KIPFSTUHL, J.** (1994). Textural characteristics and impurity content of meteoric and marine ice in the Ronne Ice Shelf, Antarctica. *J. Glaciol.* **40** (135): 386-398
- ETIM, L. and BREY, T.** (1994). Growth, productivity, and significance for fishery of the bivalve *Egeria radiata* (Donicadae) in the Cross River, Nigeria. *Arch. Fish. Mar. Res.* **42** (1): 63-75
- ETIM, L., BASSEY, U. and BREY, T.** (1994). Population dynamics of the West African croaker *Pseudotolithus elongatus* in the Cross River Estuary, Nigeria. *Sci. Mar.* **58** (4): 315-321
- FABIAN, R., BEYERLE, G., EHLERS, J., GATHEN, P. von der, KRÜGER, B.C. and NEUBER, R.** (1994). Comparison between ozone profiles measured above Spitsbergen by LIDAR and sonde techniques. *Proc. Quad. Ozone Symp Charlottesville, Virginia, 1992* (R. D. Hudson, ed.). NASA Conference Publication **3266**: 512-515.
- FAHRBACH, E., ROHARDT, G., SCHRÖDER, M. and STRASS, V.** (1994). Transport and structure of the Weddell Gyre. *Ann. Geophys.* **12**: 840-855
- FAHRBACH, E., PETERSON, R.G., ROHARDT, G., SCHLOSSER, P. and BAYER, R.** (1994). Suppression of bottom water formation in the southeastern Weddell Sea. *Deep-Sea Res.* **41** (2): 389-411
- FISCHER, H. and LEMKE, P.** (1994). On the required accuracy of atmospheric forcing fields for driving dynamic-thermodynamic sea ice models. In: *The Polar Oceans and their role in shaping the global environment: The Nansen Centennial Volume* (O.M. Johannessen, R.D. Muench, J.E. Overland, eds.). AGU Geophys. Monogr. **85**: 373-381
- GARDNER, C. and CRAWFORD, R.M.** (1994). A description of *Plagiogrammopsis Mediaequatus* Gardner & Crawford, sp. nov. (Cymatosiraceae, Bacillariophyta) using light and electron microscopy. *Diatom Res.* **9** (1): 53-63
- GINGELE, F. X. and DAHMKE, A.** (1994). Discrete barite particles and barium as tracers of paleoproductivity in South Atlantic sediments. *Paleoceanography* **9** (1): 151-168
- GLEITZ, M., BATHMANN, U.V. and LOCHTE, K.** (1994). Build-up and decline of summer phytoplankton biomass in the eastern Weddell Sea, Antarctica. *Polar Biol.* **14**: 413-422
- GOHL, K. and SMITHSON, S.B.** (1994). Seismic wide-angle study of accreted Proterozoic crust in southeastern Wyoming. *Earth Planet. Sci. Lett.* **125**: 293-305
- GONZALEZ, H.E. and SMETACEK, V.** (1994). The possible role of the cyclopoid copepod *Oithona* in retarding vertical flux of zooplankton faecal material. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **113**: 233-246
- GONZALEZ, H.E., KURBJEWIT, F. and BATHMANN, U.V.** (1994). Occurrence of cyclopoid copepods and faecal material in the Halley Bay region, Antarctica, during January-February 1991. *Polar Biol.* **14** (5): 331-342
- GONZALEZ, H.E., GONZALEZ, S.R. and BRUMMER, G.-J.A.** (1994). Short-term sedimentation pattern of zooplankton, faeces and mikroplankton at a permanent station in the Bjørnafjorden (Norway) during April-May 1992. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **105**: 31-45

- GOURETSKI, V.V. and DANILOV, A.I.** (1994). Characteristics of warm rings in the African sector of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep-Sea-Res.* **41**: 1131-1157
- GRABEMANN, I. and KRAUSE, G.** (1994). Suspended matter fluxes in the turbidity maximum of the Weser Estuary. In: Changes in fluxes in estuaries: Implications from science to management (K. R. Dyer, Robert J. Orth eds.). Olsen & Olsen: 23-28
- GRAEVE, M., HAGEN, W. and KATTNER, G.** (1994). Herbivorous or omnivorous? The significance of lipid compositions as trophic markers in Antarctic copepods. *Deep-Sea Res.* **41** (5/6): 915-924
- GRAEVE, M., KATTNER, G. and HAGEN, W.** (1994). Diet-induced changes in the fatty acid composition of Arctic herbivorous copepods: Experimental evidence of trophic markers. *J. Exper. Mar. Biol. Ecol.* **182**: 97-110
- GRENFELL, T.C., COMISO, J.C., LANGE, M.A., EICKEN, H. and WENSNAHAN, M.R.** (1994). Passive microwave observations of the Weddell Sea during austral winter and early spring. *J. Geophys. Res.* **99/C5**: 9995-10010
- GRIESHABER, M.K., HARDEWIG, I., KREUTZER, U. and PÖRTNER, H.O.** (1994). Physiological and metabolic responses to hypoxia in invertebrates. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.* **125**: 43-147
- GROSFELD, K. and THYSSEN, F.** (1994). Temperature investigation and modelling on Filchner-Ronne Ice Shelf, Antarctica. *Ann. Glaciol.* **20**: 377-385
- GROSFELD, K., BLINDOW, N. and THYSSEN, F.** (1994). Bottom melting on the Filchner-Ronne Ice Shelf, Antarctica, using different measuring techniques. *Polarforschung* **62** (2-3): 71-76
- GROSSMANN, S.** (1994). Bacterial activity in sea ice and open water of the Weddell Sea, Antarctica: A microautoradiographic study. *Microb. Ecol.* **28**: 1-18
- GROSSMANN, S. and DIECKMANN, G. S.** (1994). Bacterial standing stock, activity, and carbon production during formation and growth of sea ice in the Weddell Sea, Antarctica. *Appl. Environ. Microbiol.* **60** (8): 2746-2753
- GÜNTHER, C.-P.** (1994). Recruitment of *Macoma balthica* (L.) on an intertidal sandflat in the Wadden Sea. *Senckenb. Marit.* **25** (1/3): 11-20
- GUTT, J. and SIEGEL, V.** (1994). Benthopelagic aggregations of krill (*Euphausia superba*) on the deeper shelf of the Weddell Sea (Antarctic). *Deep-Sea Res.* **41** (1): 169-178
- HAGEN, R. A., HINZE, H., MONK, J., NIEDERJASPER, F., SCHENKE, H. W. and SCHÖNE, T.** (1994). Applied marine geodetic research in polar regions. *Mar. Geod.* **17**: 81-94
- HAIN, S. and MELLES, M.** (1994). Evidence for a marine molluscan fauna beneath ice shelves in the Lazarev and Weddell Seas, Antarctica, from shells of *Adamussium colbecki* and *Nacella (Patinigera) cf. concinna*. *Antarct. Sci.* **6** (1): 29-36
- HAMER, K. and SIEGER, R.** (1994). Anwendung des Modells CoTAM zur Simulation von Stofftransport und geochemischen Reaktionen. Ernst & Sohn Verl. für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin: 186 pp.
- HANELT, D., LI, J. and NULTSCH, W.** (1994). Tidal dependence of photoinhibition of photosynthesis in marine macrophytes of the South China Sea. *Bot. Act.* **107**: 66-72
- HANELT, D., JARAMILLO, M.J., NULTSCH, W., SENGER, S. and WESTERMEIER, R.** (1994). Photoinhibition as a regulative mechanism of photosynthesis in marine algae of Antarctica. *Ser. Cient. INACH* **44**: 67-77
- HARDER, M. and LEMKE, P.** (1994). Modelling the extent of sea-ice ridging in the Weddell Sea. In: The polar oceans and their role in shaping the global environment: The Nansen Centennial Volume (O.M. Johannessen, R.D. Muench, J.E. Overland, eds.). AGU Geophys. Monogr. **85**: 187-197
- HARDEWIG, I., PÖRTNER, H.O. and GRIESHABER, M.K.** (1994). Interactions of anaerobic propionate formation and acid-base status in *Arenicola marina*: an analysis of propionyl-CoA carboxylase. *Physiol. Zool.* **67** (4): 892-909
- HARTMANN, J., KOTTMEIER, C., WAMSER, C. and AUGSTEIN, E.** (1994). Aircraft measured atmospheric momentum, heat and radiation fluxes over Arctic sea-ice. In: The polar oceans and their role in shaping the global environment: The Nansen Centennial Volume (O.M. Johannessen, R.D. Muench, J.E. Overland, eds.). AGU Geophys. Monogr. **85**: 443-454
- HASLE, G.R., MEDLIN, L.K. and SYVERTSEN, E.E.** (1994). *Synedropsis* gen. nov., a genus of araphid diatoms associated with sea-ice. *Phycologia* **33** (4): 248-270

- HEESE, B., BARTHEL, K. and HOV, Ø.** (1994). Toms total ozone data compared with northern latitude Dobson ground stations. Proc. Quad. Ozone Symposium, Charlottesville, Virginia, 1992 (R. D. Hudson, ed.). NASA Conference Publication 3266: 215-218.
- HEIDLAND, K.** (1994). Mapping the Ekstrømsisen ice shelf, Antarctica, from GEOSAT radar altimetry. Mar. Geod. 17: 95-106
- HELMERS, E.** (1994). Speciation of cadmium in seawater - a direct voltammetric approach. Fresenius J. Anal. Chem. 350: 62-67
- HEMLEBEN, C. and BIJMA, J.** (1994). Foraminiferal population dynamics and stable carbon isotopes. In: Carbon cycling in the glacial ocean: Constraints on the ocean's role in global change (R. Zahn, M. Kaminski, L. Labeyrie, T. Pedersen, eds.). NATO ASI Series 17: 145-166
- HIRCHE, H.-J., HAGEN, W., MUMM, N. and RICHTER, C.** (1994). The northeast water polynya, Greenland Sea. III. Meso- and macrozooplankton distribution and production of dominant herbivorous copepods during spring. Polar Biol. 14: 491-503
- HUBBERTEN, U., LARA, R.J. and KATTNER, G.** (1994). Amino acid composition of seawater and dissolved humic substances in the Greenland Sea. Mar. Chem. 45: 121-128
- HUYBRECHTS, P.** (1994). Formation and disintegration of the Antarctic ice sheet. Ann. Glaciol. 20: 336-340
- HUYBRECHTS, P.** (1994). The present evolution of the Greenland ice sheet: An assessment by modelling. Global Planet. Change 9: 39-51
- ISRAELSON, C., BUCHARDT, B., FUNDER, S. and HUBBERTEN, H.-W.** (1994). Oxygen and carbon isotope composition of Quaternary bivalve shells as a water mass indicator: Last interglacial and Holocene, East Greenland. Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol. 111: 119-134
- JANSSEN, H.H.** (1994). Pharyngeal glands in *Halicyptus spinulosus* von Siebold, 1849 (Priapulida). Arch. Fish. Mar. Res. 42 (1): 89-98
- JONAS, M., GROSSE, K. and THYSSEN, F.** (1994). Numerical flow simulation at local parts of Filchner Ronne Ice-Shelf, Antarctica. Ann. Glaciol. 20: 391-396
- KARSTEN, U., KÜCK, K., DANIEL, C., WIENCKE, C. and KIRST, G.O.** (1994). A method for complete determination of dimethylsulphoniopropionate (DMSP) in marine macroalgae from different geographical regions. Phycologia 33 (3): 171-176
- KATTNER, G., GRAEVE, M. and HAGEN, W.** (1994). Ontogenetic and seasonal changes in lipid and fatty acid/alcohol compositions of the dominant Antarctic copepods *Calanus propinquus*, *Calanoides acutus* and *Rhincalanus gigas*. Mar. Biol. 118: 637-644
- KATTNER, G., WEHRTMANN, I.S. and MERCK, T.** (1994). Interannual variations of lipids and fatty acids during larval development of *Crangon* spp. in the German Bight, North Sea. Comp. Biochem. Physiol. 107B: 103-110
- KERSTEN, M., KRIEWS, M., KÜHN, W. and RICK, H.-J.** (1994). Combined effects of abiotic and biotic factors on heavy metal fluxes: In: Circulation and contaminant fluxes in the North Sea (J. Sündermann, ed.). Springer Berlin, Heidelberg: 598-619
- KERSTEN, M., BALLS, P. W., ENK, R. J. Van, GREEN, N., KRAMER, K. J. M., KRIEWS, M., MONTENY, F., ZUURDEEG, B., AKKERMAN, I., DE VRIES, A., MORIS, A., EBBING, J. AND J. J. G. ZWOLSMAN** (1994). Background concentrations of natural compounds in rivers, sea water, atmosphere and mussels. In: Circulation and contaminant fluxes in the North Sea (J. Sündermann ed.). Springer Berlin, Heidelberg: 290-336
- KLAGES, M., GUTT, J., STARMANS, A. and BRUNS, T.** (1994). Stone crabs close to the Antarctic continent: *Lithodes murrayi* Henderson, 1888 (Crustacea; Decapoda; Anomura) off Peter I. Island (68°51'S, 90°51'W). Polar Biol. 15: 73-75
- KLÖSER, H., MERCURI G., LATURNUS F., QUARTINO M.L. and WIENCKE C.** (1994a). On the competitive balance of macroalgae in Potter Cove (King George Island, South Shetlands). Polar Biol. 14: 11-16
- KLÖSER, H., FERREYRA, G., SCHLOSS, I., MERCURI, G., LATURNUS, F. and CURTOSI, A.** (1994b). Hydrography of Potter Cove, a small fjord-like inlet on King George Island (South Shetlands). Est. Coast. Shelf. Sci. 38: 523-537

- KNUDSEN, B., GATHEN, P. von der, BRAATHEN, G.O., FABIAN, R., JÖRGENSEN, KYRÖ, E., NEUBER, R. and RUMMUKAINEN, M.** (1994). Temporal development of the correlation between ozone and potential vorticity in the Arctic in the winters 1988/89, 1989/90 and 1990/91, Proc. Quad. Ozone Symposium, Charlottesville, Virginia, 1992, (R. D. Hudson, ed.). NASA Conference Publication 3266: 504-507
- KÖBERLE, C. and PHILANDER, S.G.H.** (1994). On the processes that control seasonal variations of sea surface temperature in the tropical Pacific Ocean. *Tellus* 46A: 481-496
- KÖNIG-LANGLO, G. and AUGSTEIN, E.** (1994). Parameterization of the downward long-wave radiation at the Earth's surface in polar regions. *Met. Z. N.F.* 3. Jg. (6): 343-347
- KRÖNCKE, I.** (1994). Macrobenthos composition, abundance and biomass in the Arctic Ocean along a transect between Svalbard and the Makarov Basin. *Polar Biol.* 14: 519-529
- KRÖNCKE, I., TAN, T.L. and STEIN, R.** (1994). High benthic bacteria standing stock in deep Arctic basins. *Polar Biol.* 14: 423-428
- LAMB, H.F., DUGAN, C.A., GEE, J.H.R., KELTS, K., LISTER, G., MAXTED, R., MERZOUK, A., NIESSEN, F., TAHIRI, M., WHITTINGTON, R.J. and ZEROUAL, E.** (1994). Lacustrine sedimentation in a high-altitude, semi-arid environment: The palaeolimnological record of Lake Isli, High Atlas, Morocco. In: Environmental change in drylands: Biogeographical and geomorphological perspectives (A.C. Millington, K. Pye, eds). Wiley, London: 148-161.
- LAMI, A., NIESSEN, F., GUILIZZONI, P., MASAFERRO, J. and BELIS, C.A.** (1994). Palaeolimnological studies of the eutrophication of volcanic Lake Albano (Central Italy). *J. Paleolimnology* 10: 181-197
- LARA, R.J. and KATTNER, G.** (1994). Humic substances in the nitrogen cycle of polar waters. A comparison between the Arctic and Antarctic. In: Humic substances in the global environment and implications on human health (N. Senesi, T.M. Miano, eds.). Elsevier, Amsterdam: 799-804
- LARA, R.J. and THOMAS, D.N.** (1994). Isolation of marine dissolved organic matter: Evaluation of sequential combinations of XAD resins 2, 4, and 7. *Anal. Chem.* 66 (14): 2417-2419
- LARA, R.J. and THOMAS, D.N.** (1994). XAD-fractionation of „new“ dissolved organic matter: Is the hydrophobic fraction seriously underestimated? *Mar. Chem.* 47: 93-96
- LARA, R.J., KATTNER, G., TILLMANN, U. and HIRCHE, H.-J.** (1994). The North-East water polynya (Greenland Sea). II. Mechanisms of nutrient supply and influence on phytoplankton distribution. *Polar Biol.* 14: 483-490
- LEEMANN, A. and NIESSEN, F.** (1994). Holocene glacial activity and climatic variations in the Swiss Alps: Reconstructing a continuous record from proglacial lake sediments. *The Holocene* 4: 259-268
- LEEMANN, A. and NIESSEN, F.** (1994). Varve formation and the climatic record in an Alpine proglacial lake: calibrating annually-laminated sediments against hydrological and meteorological data. *The Holocene* 4: 1-8
- LONG, D.G. and DRINKWATER, M.R.** (1994). Greenland ice sheet surface properties observed by the Seast-A scatterometer at enhanced resolution. *J. Glaciol.* 40 (135): 213-230
- LORENZEN-SCHMIDT, H., WELLER, R. and SCHREMS, O.** (1994). Kinetics and mechanisms of the reactions of O(<sup>1</sup>D)-atoms with CBrF<sub>3</sub> and CBrF<sub>2</sub>CBrF<sub>2</sub> in the gas phase and in solid argon matrices. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 98 (12): 1622-1629
- LOZAN, J.L., RACHOR, E., REISE, K.V., WESTERNHAGEN, H. and LENZ, W.,** Hrsg. (1994). Warnsignale aus dem Wattenmeer: Wissenschaftliche Fakten. Blackwell Wiss.-Verl., Berlin: 387 pp.
- MACKENSEN, A., GROBE, H., HUBBERTEN, H.-W. and KUHN, G.** (1994). Benthic foraminiferal assemblages and the δ<sup>13</sup>C-signal in the Atlantic sector of the Southern Ocean: Glacial-to-interglacial contrasts. In: Carbon cycling in the glacial ocean: Constraints on the ocean's role in global change (R. Zahn, M. Kaminski, L. Labeyrie, T. Pedersen, eds.). NATO ASI series 117, Springer, Berlin: 105-144
- MALM, J.G.B., and ZILITINKEVICH, S.** (1994). Density induced currents and temperature distribution in a convectively mixed lake. *Boundary-Layer Meteorol.* 71: 219-234
- MALM, J., MIRONOV, D., TERZHEVIK, A., and JOENSON, L.** (1994). Investigation of the spring thermal regime in Lake Lagoda using field and satellite data. *Limnol. Oceanogr.* 39: 1333-1348



9. Veröffentlichungen

- MAYER, C. (1994). Geoelektrische Tiefensondierungen auf dem Schwarzmilzferner, Allgäuer Alpen. Z. Gletscherkde. Glazialgeol. 29 (1): 75-84
- MEDLIN, L.K., LANGE, M. and BAUMANN, M.E.M. (1994). Genetic differentiation among three colony-forming species of *Phaeocystis*: Further evidence for the phylogeny of the Prymnesiophyta. *Phycologia* 33 (3): 199-212
- MEDLIN, L.K., BARKER, G.L.A., BAUMANN, M., HAYES, P.K. and LANGE, M.A. (1994). Molecular biology and systematics. In: The Haptophyte algae (J.C. Green, B.S.C. Leadbeater, eds.). Systematics Assoc. special vol. 51, Clarendon Press, Oxford: 393-411
- MEHRTENS, G. (1994). Haloperoxidase activities in Arctic macroalgae. *Polar Biol.* 14: 351-354
- MELLES, M., VERKULICH, S.R. and HERMICHEN, W.-D. (1994). Radiocarbon dating of lacustrine and marine sediments from the Bunge Hills, East Antarctica. *Antarct. Sci.* 6 (3): 375-378
- MOORE, J.C., REID, A.P. and KIPFSTUHL, J. (1994). Microstructure and electrical properties of marine shelf ice and its relationship to meteoric ice and sea-ice. *J. Geophys. Res.* 99/C3: 5171-5180
- NAM, S.-I., FÜTTERER, D.K., GROBE, H., HUBBERTEN, H.-W. and STEIN, R. (1994). Late Quaternary glacial/interglacial variations in sedimentary processes along the East Greenland continental margin. *Terra Antarctica* 1 (2): 431-432
- NEUBER, R., BEYERLE, G., FIOCCO, G., SARRA, A.Di, FRICKE, K.H., DAVID, CH., GODIN, S., KNUDSEN, B.M., STEFANUTTI, L., VAUGHAN, G. and WOLF, J.-P. (1994). Latitudinal distribution of stratospheric aerosols during the EASOE winter 1991/92. *Geophys. Res. Lett.* 21 (13): 1283-1286
- NEUBER, R., BEYERLE, G., SCHREMS, O., FABIAN, R., GATHEN, P. von der and KRÜGER, B.C. (1994). Measurements of stratospheric ozone and aerosols above Spitsbergen. Proc. Quad. Ozone Symp., Charlottesville, Virginia, 1992 (R.D. Hudson, ed.). NASA conference publ. 3266: 483-487
- NIXDORF, U., OERTER, H. and MILLER, H. (1994). First access to the ocean beneath Ekströmisen, Antarctica, by means of hot-water drilling. *Ann. Glaciol.* 20: 110-114
- NOTHOLT, J. (1994). FTIR measurements of HF, N<sub>2</sub>O and CFCs during the Arctic polar night with the moon as light source, subsidence during winter 1992/93. *Geophys. Res. Lett.* 21 (22): 2385-2388
- NOTHOLT, J. (1994). The moon as a light source for FTIR measurements of stratospheric trace gases during the polar night: Application for HNO<sub>3</sub> in the Arctic. *J. Geophys. Res.* 99/D2: 3607-3614
- NOTHOLT, J. and SCHREMS, O. (1994). Ground-based FTIR measurements of vertical column densities of several trace gases above Spitsbergen. *Geophys. Res. Lett.* 21 (13): 1355-1358
- NOTHOLT, J. and SCHREMS, O. (1994). The moon as infrared light source for the monitoring of stratospheric trace gas concentrations during the polar night. SPIE, vol. 2089: 156-157
- NOTHOLT, J., CLARMANN, T. v., ADRIAN, G.P. and SCHREMS, O. (1994). Ground-based FTIR measurements of CLONO<sub>2</sub> vertical column amounts in the Arctic. *Geophys. Res. Lett.* 21 (13): 1359-1362
- NÜRNBERG, D., WOLLENBURG, I., DETHLEFF, D., EICKEN, H., KASSENS, H., LETZIG, T., REIMNITZ, E. and THIEDE, J. (1994). Sediments in Arctic sea ice: Implications for entrainment, transport and release. *Mar. Geol.* 119: 185-214
- OPPEN, M.J.H.van, DIEKMANN, O.E., WIENCKE, C., STAM, W.T. and OLSEN, J.L. (1994). Tracking dispersal routes: phylogeography of the Arctic-Antarctic disjunct seaweed *Acrosiphonia Arctica* (Chlorophyta). *J. Phycol.* 30: 67-80
- ORECCHIA, P., MATTIUCCI, S., D'AMELIO, S., PAGGI, L., PLÖTZ, J., CIANCHI, R., NASCETTI, G., ARDUINO, P. and BULLINI, L. (1994). Two new members in the *Contraecaecum osculatum* complex (Nematoda, Ascaridoidea) from the Antarctic. *Internat. J. Parasitol.* 24 (3): 367-377
- PAGES, F. and KURBJEWITZ, F. (1994). Vertical distribution and abundance of mesoplanktonic medusae and siphonophores from the Weddell Sea, Antarctica. *Polar Biol.* 14: 243-251
- PAGES, F., PUGH, P.R. and GILL, J.-M. (1994). Macro- and megaplanktonic cnidarians collected in the eastern part of the Weddell Gyre during summer 1979. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 74: 873-894
- PALM, H., ANDERSEN, K., KLÖSER, H. and PLÖTZ, J. (1994). Occurrence of *Pseudoterranova decipiens* (Nematoda) in fish from the southeastern Weddell Sea (Antarctic). *Polar Biol.* 14: 539-544

- PAUL, R.J., PFEFFER-SEIDL, A., EFINGER, R., PÖRTNER, H.O. and STORZ, H. (1994). Gas transport in the haemolymph of arachnids. II: Carbon dioxide transport and acid-base balance. *J. Exp. Biol.* **188**: 47-63
- PEIL, S. and SCHREMS, O. (1994). FTIR spectroscopic studies of low temperature: Polar stratospheric cloud model surfaces. *SPIE*, vol. **2089**: 158-159
- PÖRTNER, H.O. (1994). Athleten des Meeres: Zur Ökophysiologie pelagischer Kalmare. *Biol. in unserer Zeit* **24**: 192-199
- PÖRTNER, H.O. (1994). Coordination of metabolism, acid-base regulation and haemocyanin function in cephalopods. *Mar. Fresh. Behav. Physiol.* **25**: 131-148
- PÖRTNER, H.O., D'DOR and MACMILLAN, D.L., Eds. (1994). *Physiology of cephalopod molluscs: Lifestyle and performance adaptations*. Gordon and Breach, Basel: 214 pp.
- PÖRTNER, H.O., BRANCO, L.G.S., MALVIN, G.M. and WOOD, S.C. (1994). A new function for lactate in the toad *Bufo marinus*. *J. Appl. Physiol.* **76** (6): 2405-2410
- QUINTERN, L.E., PUSKEPELEIT, M., RAINER, P., WEBER, S., EI NAGGAR, S., ESCHWEILER, U. and HORNECK, G. (1994). Continuous dosimetry of the biologically harmful UV-radiation in Antarctica with the biofilm technique. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.* **22**: 59-66
- RACHOR, E., Ed. (1994). *Polar research – still a challenge*. (The Second European Polarstern Study). Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven: 32 pp.
- RAUSCHERT, M. (1994). *Gitanopsilis* (Crustacea, Amphipoda, Gammaridea), eine neue Amphilochilden-Gattung aus dem Sublitoral der König-Georg-Insel (Südshetlandinseln). *Mitt. Zool. Mus. Berl.* **70** (1): 133-156
- RAUSCHERT, M. and ANDRES, H.G. (1994). *Scaphodactylus simus* (Crustacea, Amphipoda, Gammaridea), ein weiterer neuer Vertreter der Stenothoiden aus dem Sublitoral der König-Georg-Insel (Südshetlandinseln). *Mitt. Zool. Mus. Berl.* **70** (2): 321-330
- REEH, N., BÖGGILD, C.E. and OERTER, H. (1994). Surge of Storstrømmen, a large outlet glacier from the inland ice of North-East Greenland. *Rapp. Grønlands geol. Unders.* **162**: 201-209
- REIMNITZ, E., DETHLEFF, D. and NÜRNBERG, D. (1994). Contrasts in Arctic shelf sea-ice regimes and some implications: Beaufort Sea versus Laptev Sea. *Mar. Geol.* **119**: 215-225
- RIEMANN-ZÜRNECK, K. (1994). Taxonomy and ecological aspects of the Subarctic sea anemones *Hormathia digitata*, *Hormathia nodosa* and *Allantactis parasitica* (Coelenterata, Actiniaria). *Ophelia* **39** (3): 197-224
- RIGNOT, E. and DRINKWATER, M.R. (1994). Winter sea-ice mapping from multi-parameter synthetic-aperture radar. *J. Glaciol.* **40** (134): 31-45
- ROUSSEAU, V., VAULOT, D., CASOTTI, R., CARIOU, V., LENZ, J., GUNKEL, J. and BAUMANN, M. (1994). The life cycle of *Phaeocystis* (Prymnesiophyceae): Evidence and hypotheses. *J. Mar. Syst.* **5**: 23-39
- RUDELS, B., JONES, E.P., ANDERSON, L.G. and KATTNER, G. (1994). On the intermediate depth waters of the Arctic ocean. In: *The polar oceans and their role in shaping the global environment: The Nansen Centennial Volume* (O.M. Johannessen, R.D. Muench, J.E. Overland, eds.). AGU Geophys. Monogr. **85**: 33-46
- RÜGER, H.-J. and KRAMBECK, H.-J. (1994). Evaluation of the BIOLOG substrate metabolism system for classification of marine bacteria. *System. Appl. Microbiol.* **17**: 281-288
- RUMMUKAINEN, M., KNUDSEN, B. and GATHEN, P. von der (1994). Dynamical diagnostics of the edges of the polar vortices. *Ann. Geophys.* **12**: 1114-1118
- RUTGERS van der LOEFF, M.M. (1994).  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{228}\text{Th}$  in the Weddell Sea. In: *The polar oceans and their role in shaping the global environment: The Nansen Centennial Volume* (O.M. Johannessen, R.D. Muench, J.E. Overland, eds.). AGU Geophys. Monogr. **85**: 177-185
- SCHALL, C., LATURNUS, F. and HEUMANN, G. (1994). Biogenic volatile organoiodide and organobromine compounds released from polar macroalgae. *Chemosphere* **28**: 1315-1324
- SCHAREK, R., SMETACEK, V., FAHRBACH, E., GORDON, L.I., ROHARDT, G. and MOORE, S. (1994). The transition from winter to early spring in the eastern Weddell Sea, Antarctica. Plankton biomass and composition in relation to hydrography and nutrients. *Deep-Sea Res.* **41** (8): 1231-1250

## 9. Veröffentlichungen

- SCHAUMANN, K. and PRIEBE, K.** (1994). *Ochroconis humicola* causing muscular black spot disease of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Can. J. Bot. **72**: 1629-1634
- SCHNACK-SCHIEL, S.B. and HAGEN, W.** (1994). Life cycle strategies and seasonal variations in distribution and population structure of four dominant calanoid copepod species in the eastern Weddell Sea, Antarctica. J. Plankton Res. **16** (11): 1543-1566
- SCHNACK-SCHIEL, S.B. and MIZDALSKI, E.** (1994). Seasonal variations in distribution and population structure of *Microcalanus pygmaeus* and *Ctenocalanus citer* (Copepoda: Calanoida) in the eastern Weddell Sea, Antarctica. Mar. Biol. **119**: 357-366
- SCHNACK-SCHIEL, S.B. and MUJICA, A.** (1994). The zooplankton of the Antarctic Peninsula region. In: Southern Ocean ecology: The BIOMASS perspective (S.Z. El-Sayed, ed.). Cambridge Univ. Pr., Cambridge: 79-92
- SCHNEIDER, W. and BUDEUS, G.** (1994). The North East water polynya (Greenland Sea). Polar Biol. **14**: 1-9
- SCHNEIDER, W., YAMANOUCI, T., NISHIO, F., WATANABE, O. and MASUKO, H.** (1994). Classification of MOS-1 VTIR images in the Antarctic, a case study. Int. J. Remote Sensing **15**: 3675-3691
- SCHRIVER, A., RACINE, S., SCHREMS, O. and SCHRIVER-MAZZUOLI, L.** (1994). Infrared induced conformational change in the two strong hydrogen bonded complexes 2-1 between dimethyl ether and hydrogen iodide in nitrogen matrix. Spectrochim. Acta **50A**: 287-295
- SHIMMIELD, G., DERRICK, S., MACKENSEN, A., GROBE, H. and PUDSEY, C.** (1994). The history of barium, biogenic silica and organic carbon accumulation in the Weddell Sea and Antarctic Ocean over the last 150000 years. In: Carbon cycling in the glacial ocean: Constraints on the ocean's role in global change (R. Zahn, M. Kaminski, L. Labeyrie, T. Pedersen, eds.). NATO ASI series **17**, Springer, Berlin: 555-574
- STAMBLER, N., COX, E.F. and VAGO, R.** (1994). Effect of ammonium enrichment on respiration, zooxanthellar densities, and pigment concentrations in two species of Hawaiian corals. Pacific Science **48**: 284-290
- STAMBLER, N., JOKIEL, P.L. and DUBINSKY, Z.** (1994). Nutrient limitation in the symbiotic association between zooxanthellae and reef-building corals: The experimental design. Pacific Science **48**: 219-223
- STAX, R. and STEIN, R.** (1994). Quaternary organic carbon cycles in the Japan Sea (ODP-Site 798) and their paleoceanographic implications. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. **108**: 509-521
- STEIN, R., GROBE, H. and WAHSNER, M.** (1994). Organic carbon, carbonate, and clay mineral distributions in eastern central Arctic Ocean surface sediments. Mar. Geol. **119**: 269-285
- STEIN, R., SCHUBERT, C., GROBE, H. and FÜTTERER, D.** (1994). Late Quaternary changes in sediment composition in the central Arctic Ocean: preliminary results of the Arctic '91 expedition. In: Proc. Internat. Conf. on Arctic Margins, Anchorage, Alaska, 1992 (D.K. Thurston, K. Fujita, eds.). Anchorage, Alaska: 363-368
- STEIN, R., SCHUBERT, C., VOGT, C. and FÜTTERER, D.** (1994). Stable isotope stratigraphy, sedimentation rates, and salinity changes in the Latest Pleistocene to Holocene eastern central Arctic Ocean. Mar. Geol. **119**: 333-355
- STEIN, R., NAM, S.-I., SCHUBERT, C., VOGT, C., FÜTTERER, D. and HEINEMEIER, J.** (1994). The last deglaciation event in the eastern central Arctic Ocean. Science **264**: 692-696
- STRASS, V.H.** (1994). Mesoscale instability and upwelling. Pt. 2. Testing the diagnostics of vertical motion with a three-dimensional ocean front model. J. Phys. Oc. **24** (8): 1759-1767
- TILZER, M.M., GIESKES, W.W., HEUSEL, R. and FENTON, N.** (1994). The impact of phytoplankton on spectral water transparency in the Southern Ocean: Implications for primary productivity. Polar Biol. **14**: 127-136
- TISON, J.-L., THORSTEINSSON, T., LORRAIN, R.D. and KIPFSTUHL, J.** (1994). Origin and development of textures and fabrics in basal ice at Summit, Central Greenland. Earth Planet. Sci. Lett. **125**: 421-437
- TÜG, H. and BAUMANN, M.E.M.** (1994). Problems of UV-B radiation measurements in biological research. Critical remarks on current techniques and suggestions for improvements. Geophys. Res. Lett. **21** (8): 689-692
- ULBRICHT, J. and ZIPPEL, D.** (1994). Delayed laying and prolonged fasting in Adélie penguins *Pygoscelis adeliae*. Polar Biol. **14**: 215-217

- URBAN, H.-J.** (1994a). Upper temperature tolerance of ten bivalve species off Peru and Chile related to El Niño. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **107**: 139-145
- URBAN, H.-J.** (1994b). Adaptations of six infaunal bivalve species off Chile: Coexistence resulting from differences in morphology, burrowing depth and substrate preference. *Arch. Fish. Mar. Res.* **42**: 183-193
- URBAN, H.-J. and CAMPOS, B.** (1994). Population dynamics of the bivalves *Gari solida*, *Semele solida* and *Protothaca thaca* from a small bay in Chile at 36°S. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **115**: 93-102
- VOIGHT, J.R., PÖRTNER, H.O. and O'DOR, R.K.** (1994). A review of ammonia-mediated buoyancy in squids (Cephalopoda: Teuthoidea). *Mar. Behav. Physiol.* **25**: 193-203
- VOSS, J.** (1994). Johannes Georgi und Fritz Loewe. Zwei Polarforscherschicksale nach „Eismitte“. Aus ihrem Briefwechsel 1929-1971 sowie die gesammelten Schriftenverzeichnisse von J. Georgi und F. Loewe. *Polarforschung* **62** (2/3): 151-161
- WAGENBACH, D., GRAF, W., MINIKIN, A., TREFZER, U., KIPFSTUHL, J., OERTER, H. and BLINDOW, N.** (1994). Reconnaissance of chemical and isotopic firn properties on top of Berkner Island, Antarctica. *Ann. Glaciol.* **20**: 307-312.
- WAL, R.S.W. van de, ROIJEN, J.J., RAYNAUD, D. van, BORG, K., JONG, A.F.M. van der, OERLEMANS, J., LIPENKOV, V. and HUYBRECHTS, P.** (1994). From <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C measurements towards radiocarbon dating of ice. *Tellus* **46B**: 94-102
- WELLS, M.J.** (1994) The evolution of a racing snail. In: *Physiology of cephalopod molluscs - Lifestyle and performance adaptations*. (H.O. Pörtner, R.K. O'Dor, D. MacMillan, eds). Gordon and Breach, Basel: 1-12
- WIENCKE, C., BARTSCH, I., BISCHOFF, B., PETERS, A.F. and BREEMAN, A.M.** (1994). Temperature requirements and biogeography of Antarctic, Arctic and amphiequatorial seaweeds. *Bot. Mar.* **37**: 247-259
- WOLF-GLADROW, D.** (1994). The ocean as part of the global carbon cycle. *ESPR - Environ. Sci. & Pollut. Res.* **1** (2): 99-106

#### Nicht begutachtete Veröffentlichungen 1994

- ALEXANDROV, V., EICKEN, H. and MARTIN, T.** (1994). Determination of ice drift in the Laptev Sea from satellite images and buoy data (in Russ.). In: *Nauchnye Resultaty Expeditsii Lapex-93* (L.A. Timokhov, ed.). Gidrometeoizdat, St. Petersburg: 174-179
- ALEXANDROV, V., EICKEN, H. and MARTIN, T.** (1994). On the determination of sea-ice concentration from NOAA AVHRR images (in Russ.). In: *Nauchnye Resultaty Expeditsii Lapex-93* (L.A. Timokhov, ed.). Gidrometeoizdat, St. Petersburg: 158-164
- ARNTZ, W.E. and GALLARDO, V.A.** (1994). Antarctic benthos: Present position and future prospects. In: *Antarctic science* (G. Hempel, ed.). Springer, Berlin: 243-277
- ARNTZ, W., RACHOR, E. and KÜHNE, S.** (1994). Mid- and long-term effects of bottom trawling on the benthic fauna in the German Bight. In: *Environmental impact of bottom gears on benthic fauna in relation to natural resources management and protection of the North Sea* (S. J. de Groot and H. J. Lindeboom, eds.). NIOZ RAPPORT **11**: 59-74
- BATHMANN U.** (1994). Southern Ocean - JGOFS: Überblick über internationale JGOFS-Untersuchungen 1992 in der Antarktis. In: *Bericht über den 2. JGOFS-Workshop 18./19. November 1993 in Bremen* (M. Giese, G. Wefer, Hrsg.). Ber. FB Geowissenschaften, Univ. Bremen, Nr. **45**: 14
- BEHRMANN, G.** (1994). Die Bewegungskoordination des Penis während der Kopulation beim Schweinswal *Phocoena phocoena* (Linné 1758). *Säugetierkd. Inf.* **3** (18): 611-616
- BEHRMANN, G.** (1994). Hoe vindt de penis van de walvissen de vagina? *Marswin* **15** (4): 154-159
- AUGSTEIN, E.**: Future ocean-atmosphere research in the Antarctic region. In: *Antarctic science - global concerns* (G. Hempel, ed.). Springer, Berlin: 278-282
- BLEIL, U., BREITZKE, M., DÄUMLER, K., DITTERT, L., EWERT J., GOHL, K., HEESEMANN, B., HEINITZ, W.-D., HELMKE, P., KEIL, H., MERKEL, T., PIOCH, B., POTOTZKI, F., ROSIAK, U., SCHNEIDER, R., SCHWENK, T., SPIESS, V. and UENZELMANN-NEBEN, G.** (1994). Bericht und erste Ergebnisse der SONNE-Fahrt SO 86, Buenos Aires - Kapstadt, 22.4.1993 - 31.5.1993, Berichte a. d. Fachbereich Geowissenschaften d. Universität Bremen **51**: 16 pp.

## 9. Veröffentlichungen

- BØGGILD, C.E., REEH, N. and OERTER, H.** (1994). Past and present energy-balance studies of Northeast Greenland. In: Rep. 4th Workshop on Mass Balance and Related Topics of the Greenland Ice Sheet (J.J.M. van der Meer, R.J. Braithwaite, eds.). Open File Series Grønlands Geologiske Undersøgelse, Copenhagen 94/13: 18-22
- BOTZET, M., CHRISTENSEN, J.H., CLAUDIUS, E., DETHLOFF, K., JACOB, D., LEHMANN, R., MACHENHAUER, B. and RINKE, A.** (1994). Application of a regional climate model on the Arctic atmosphere. In: 3. Deutsche Klimatagung, Potsdam, 1994: Tagungsband der Vorträge und Poster. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK). PIK Reports 1: 57-60
- BOTZET, M., CHRISTENSEN, J.H., CLAUDIUS, E., DETHLOFF, K., JACOB, D., LEHMANN, R., MACHENHAUER, B. and RINKE, A.** (1994). Application of a regional climate model of the tropo- and stratosphere on the Arctic. Ann. Geophys. Suppl. II to vol. 12: C 362
- BOTZET, M., CHRISTENSEN, J.H., CLAUDIUS, E., DETHLOFF, K., JACOB, D., LEHMANN, R., MACHENHAUER, B. and RINKE, A.** (1994). Results of HIRHAM simulations for January 1991 and July 1990 over the Arctic with ECMWF boundaries. Proc. 3rd Europ. Regionalization Workshop, Kopenhagen: 95-101
- BREY, T. and DAHM, C.** (1994). Population dynamics of Antarctic echinoderms. In: Echinoderms through time (David, Guille, Féral, Roux, eds.). Balkema, Rotterdam: 14
- DRINKWATER, M.R. and KOTTMEIER, C.** (1994). Satellite microwave radar- and buoy-tracked ice motion in the Weddell Sea during WWGS'92. Proc. IGARSS '94, Pasadena, CA, IEEE Cat. No. 94CH3378-7, vol. 1: 153-155
- DRINKWATER, M.R., EARLY, D.S. and LONG, D.G.** (1994). ERS-1 investigations of Southern Ocean sea-ice geophysics using combined scatterometer and SAR images. Proc. IGARSS '94, Pasadena, CA, IEEE Cat. No. 94CH3378-7, vol. 1: 165-168
- DRINKWATER, M.R., LONG, D.G. and EARLY, D.S.** (1994). ERS-1 investigations of Southern Ocean sea ice geophysics using scatterometer and SAR images. Paper presented at URSI Symp., Lawrence, Kansas, 1994
- EARLY, D.S., LONG, D.G. and DRINKWATER, M.R.** (1994). Comparison of enhanced resolution images of Greenland from the ERS-1 and seasat scatterometers. Proc. IGARSS '94, Pasadena, CA, IEEE Cat. No. 94CH3378-7, vol. 4: 2382-2384
- ECKSTALLER, A. and NIXDORF, U.** (1994). Ultra sonic logging of the GRIP borehole. Field Season Report 1994 by the GRIP Operation Center: 35-38
- FAHRBACH, E.** (1994). Discussant's report: Antarctic marine environment: Physical oceanography. In: Southern Ocean ecology: The BIOMASS perspective (S.Z. El Sayed, ed.). Cambridge Univ. Pr., Cambridge: 45-46
- FAHRBACH, E., AUGSTEIN, E. and OLBERS, D.** (1994). Impact of shelf and sea-ice on water mass modifications and large-scale oceanic circulation in the Weddell Sea. In: Antarctic science - global concerns (G. Hempel, ed.). Springer, Berlin: 167-187
- FAHRBACH, E., AUGSTEIN, E. und STRASS, V.** (1994). Zirkulation und Wassermassenmodifikation im Weddellmeer. In: Bericht zum WOCE III- Statusseminar (H. Fischer, ed.). Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven: 89-93
- FAHRBACH, E., NIXDORF, U., OERTER, H. and ROHARDT, G.** (1994). Tidal induced melting of the Ekström Ice Shelf in the southeastern Weddell Sea. FRISP report 8: 20-23
- GAGE, J.D. and BREY, T.** (1994). P/B ratios in deep-sea brittle stars. In: Echinoderms through time (B. David, A. Guille, J.-P. Féral, M. Roux, eds.). Balkema, Rotterdam: 421-426
- GATHEN, P. von der, KÜNZI, K. und SCHREMS, O.** (1994). Stratosphärische Ozonvariationen im Bereich des arktischen Polarwirbels II. Bericht zum 4. Statusseminar des Ozonforschungsprogramms des BMFT: 1-5
- GATHEN, P. von der, HEESE, B., BEYERLE, G. and NEUBER, R.** (1994). Multiwavelength lidar configurations for polar stratospheric research. Proc. 17th Internat. Laser Radar Conference, Sendai, Japan, 1994: 422-423
- GERLAND, S., EICKEN, H., HAAS, C. and MILLER, H.** (1994). Elektromagnetik in den Polargebieten: Wie dick ist das Meereis? Protokoll zum 15. Kolloquium „Elektromagnetische Tiefenforschung, Höchst, 28.-31. März, 1994“, (K. Bahr, A. Junge, Hrsg.): 464-469
- GERLAND, S., KIPFSTUHL, J., GRAF, W. and MINIKIN, A.** (1994). Non-destructive high resolution density measurements of the B15 ice core. FRISP Report 8: 24-28

- GERNANDT, H., DETHLOFF, K. and KANZAWA, H.** (1994). The height dependent interannual variability of vertical stratospheric ozone distributions over the Antarctic and its connection with the global circulation. In: 3. Deutsche Klimatagung, Potsdam, 1994: Tagungsband der Vorträge und Poster. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK). PIK Reports 1: 82-83
- GERNANDT, H., DETHLOFF, K. and KANZAWA, H.** (1994). A qualitative assessment of height dependent interannual variability of polar stratospheric ozone. Part I: Long-term variability and stratospheric ozone depletion. Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol. 8: 1-13
- GUTT, J., EKAU, W. and GORNY, M.** (1994). New results on the fish and shrimp fauna of the Weddell Sea and Lazarev Sea (Antarctic). Proc. NIPR Symp. Polar Biol. 7, Nat. Inst. Polar Res., Tokyo: 91-102
- HAAS, C.** (1994). Ship-based electromagnetic determination of sea-ice thickness. In Evening Sessions of the Summer School on Physics of Ice-covered Seas, Savonlinna, Finland, 1994 (T. Vihma, ed.). Report Series in Geophysics, University of Helsinki, Dept. of Geophysics: 28: 57-61
- HARLOFF, J. and JÄGER, R.** (1994). Ostracoden aus dem Lias der Kalkalpen Bayerns und Nordtirols. Stuttgarter Beitr. Naturk. Ser. B 205: 63 pp., 8 Taf., 4 Abb.
- HIRCHE, H.J.** (1994). The Northeast Water Polynya Cruise of RV Polarstern. News from the AOSB 2: 1-4
- HUYBRECHTS, P.** (1994). Glaciological and climatological probabilities and improbabilities of alternative glaciation models of Antarctica. In: Landscape evolution in the Ross Sea Area, Antarctica (F.M. van der Wateren, A.L.L.M. Verbers, F. Tessensohn, eds.). Rijks Geologische Dienst, Haarlem: 107-111
- JOKAT, W.** (1994). Reflexionsseismische Messungen im Weddell Meer (Antarktis). In: Sedimentation in polaren Gewässern: Kolloquium im Schwerpunkt Antarktisforschung mit vergleichenden Untersuchungen in arktischen Eisgebieten (D.K. Fütterer, J. Thiede, G. Kleinschmidt, Hrsg.). Deutsche Forschungsgemeinschaft: 77-82
- JOKIEL, P.L., DUBINSKY, Z. and STAMBLER, N.** (1994). Results of the 1991 United States-Israel Workshop „Nutrient Limitation in the Symbiotic Association between Zooxanthellae and Reef-building Corals“. Pacific Science 48: 215-218
- KLÖSER H.** (1994). Descripción básica de Caleta Potter y costas adyacentes. In: Estructura y dinámica de un ecosistema costero antártico. Contr. Inst. Antárt. Argent. 419: 5-16
- KNUDSEN, B., GATHEN, P. von der, BRAATHEN, G.O., FABIAN, R., JÖRGENSEN, T.S., KYRÖ, E., NEUBER, R. and RUMMUKAINEN, M.** (1994). Temporal development of the correlation between ozone and potential vorticity in the Arctic in the winters of 1988/89, 1989/90 and 1990/91. Proc. Quad. Ozone Symp., Charlottesville, Virginia, 1992 (R.D. Hudson, ed.). NASA conference publ. 3266: 504-507
- KRAUSE, R.A.** (1994). Warum Wissenschaftsgeschichte? DGM-Mitt. 4: 19-22
- LONG, D.G., EARLY, D.S. and DRINKWATER, M.R.** (1994). Enhanced resolution ERS-1 scatterometer imaging of southern hemisphere polar ice. IGARSS '94, Pasadena, CA: 8-12
- MARKUS, T., FISCHER, H. and BURNS, B.A.** (1994). Contribution of Antarctic coastal polyni to total ice production: comparison of satellite- and model-derived estimates. Proc. IGARSS '94, Pasadena, CA
- MAYER, C. and HUYBRECHTS, P.** (1994). The Ekström grounding line experiments - first results. FRISP Report 8: 39-44
- MELLES, M., AKIMOV, A.M., DIEPENBROEK, M., GOERKE, O., GROBE, H., HUBBERTEN, H.-W. and NIESSEN, F.** (1994). Sediment coring and subbottom profiling in periglacial lakes of East Greenland in 1994 - a preliminary report. IPPCCE Newsletter 8: 77-83
- NEUBER, R., BEYERLE, G., HEESE, B., STEBEL, K., GATHEN, P. von der and WITTRÖCK, F.** (1994). Aerosol, ozone, and temperature measurements with a multi-wavelength lidar at Spitsbergen. Proc. 17th Internat. Laser Radar Conference, Sendai, Japan, 1994: 420-421
- NOTHOLT, J.** (1994). Using moonlight for FTIR detection of trace gases in the stratosphere during the polar night. Bruker-Report 140: 34-35
- OERTER, H., JUNG-ROTHENHÄUSLER, F., BØGGILD, C.E. and REEH, N.** (1994). Glaciological investigations in Kronprins Christian Land, Eastern Northgreenland. In: Express Report Eastern North Greenland and North-East Greenland (N. Henriksen, ed.). Geol. Survey of Greenland, Copenhagen: 97-105

## 9. Veröffentlichungen

- OERTER H., REEH, N. and BØGGILD, C.E.** (1994). Glaciological fieldwork in 1993 at the ice margin in Kronprins Christian Land, NE Greenland. In: Rep. 4th Workshop on Mass Balance and Related Topics of the Greenland Ice Sheet (J.J.M. van der Meer, R.J. Braithwaite, eds.). Open File Series Grønlands Geologiske Undersøgelse Copenhagen 94/13: 87-90
- PLÖTZ, J. and SANDERS A.** (1994). Dismantling and clean-up of the research station „Georg Forster“, Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, Antarctica. Initial Environmental Evaluation. Technical Report AWI: 23 pp.
- PRITZ-HOHMEIER, S., HÄRTIG, W., BEHRMANN, G. and REICHENBACH, A.** (1994). Immunocytochemical demonstration of astrocytes and microglia in the whale brain. *Neuroscience Lett.* **167**: 59-62
- REEH, N., OERTER, H., BØGGILD, C.E. and JUNG-ROTHENHÄUSLER, F.** (1994). Glaciological investigations on Storstrømmen glacier, North-east Greenland. In: Express Report Eastern North Greenland and North-East Greenland 1994 (N. Henriksen ed.). Geol. Survey of Greenland, Copenhagen: 87-95
- REEH, N., THOMSEN H.H., OERTER, H. and BØGGILD, C.E.** (1994). Ice deformation and velocities along the Paakitsoq profile sampling lines, West Greenland. In: Field report on palaeo-environmental studies at the Greenland ice sheet margin (H.H. Thomson, N. Reeh, eds.). Geol. Survey of Greenland, Open File Series 94/15, Paakitsoq, West Greenland: 20-29
- SCHENKE, H.W., HEIDLAND, K., SEEBER, G. and VÖLKSEN, C.** (1994). Results from ERS-1 altimetry ground truthing on the Filchner-Ronne-Schelfeis. Proc. Second ERS-1 Symposium, Hamburg, 1993. ESA SP-361: 177-182
- SCHRÖTER, J.** (1994). A sensitivity analysis of variational data assimilation. In: Proc. of the NATO ARW on Data Assimilation (J. Nihoul, P. Brasseur, eds.). Springer, Berlin: 59-84
- SIEVERS, J., DOAKE, C.S.M., IHDE, J., MANTRIPP, D.R., POZDEEV, V.S., RITTER, B., SCHENKE, H.W., THYSSEN, F. and VAUGHAN, D.G.** (1994). Validating and improving elevation data of a satellite-image map of Filchner-Ronne Ice Shelf, Antarctica with results from ERS-1. *Ann. Glaciol.* **20**: 347-352
- SPINDLER, M. and DIECKMANN, G.** (1994). Ecological significance of the sea ice biota. In: Antarctic science: global concerns (G. Hempel, ed.). Springer, Berlin: 60-68
- THOMAS, D. and DIECKMANN, G.** (1994). Life in a frozen lattice. *New Scientist* **142**, No. 1929: 33-37
- THOMSEN H.H., BISQUAYE, P.E., BOURGEOIS J.C., BØGGILD, C.E., REEH, N. and THORSTEINSSON, T.** (1994). An international palaeoenvironmental project at Paakitsoq, West Greenland, GGU Report of Activity 1994: 88-92
- THORSTEINSSON, T. and OERTER, H.** (1994). Ice core drilling for studies of texture, fabric and visual stratigraphy on the ice margin at Paakitsoq, West Greenland. In: Field report on palaeo-environmental studies at the Greenland ice sheet margin (H.H. Thomson, N. Reeh, eds.). Geol. Survey of Greenland, Open File Series 94/15, Paakitsoq, West Greenland: 35-40
- VAJEN, H.-H., VIEHOFF, T. and SPIRIDONOV, Y.G.** (1994). Usage of OKEAN SLR data for sea ice studies. Proc. of the Euro-Russian Space Conference, Munich, 1993: 28-30
- VIEHOFF, T. and LI, A.** (1994). Multi-sensor and ground-truth investigation of Weddell Sea ice conditions. In: Proc. Second ERS-1 Symposium Space at the Service of our Environment, Hamburg, 1993. ESA SP-361: 287-290
- WADHAMS, P. and VIEHOFF, T.** (1994). The Odden ice tongue in the Greenland Sea: SAR imagery and field observations of its development in 1993. Second ERS-1 Symp. „Space at the Service of our Environment“. ESA SP-361: 291-296
- ZILITINKEVICH, S.** (1994). A generalized scaling for convective shear flows. *Boundary-Layer Meteorol.* **70**: 51-78

## Veröffentlichungen 1995

- ABELE-OESCHGER, D. and OESCHGER, R.** (1995). Hypoxia induced autoxidation of haemoglobin in the benthic invertebrates *Arenicola marina* (Polychaeta) and *Astarte borealis* (Bivalvia): possible effect of hydrogen sulphide. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **187**: 63-80

- AKEN, H.M. v., BUDEUS, G. and HÄHNEL, M.** (1995). The anatomy of the Arctic frontal zone in the Greenland Sea. *J. Geophys. Res.* **100**: 15999-16014
- ALLEY, R.B., GOW, A.J., JOHNSEN, S.J., MEESE D.A., KIPFSTUHL, J. and THORSTEINSSON, TH.** (1995). Ice-core comparison. *Nature* **373**: 393-394
- ALLREDGE, A.L., GOTSCHALK, C., PASSOW, U. and RIEBESELL, U.** (1995). Mass aggregation of diatom blooms: Insights from a mesocosm study. *Deep-Sea Res.* **42**: 9-27
- ARDUINO, P., NASCETTI, G., CIANCHI, R., PLÖTZ, J., MATTIUCCI, S., D'AMELIO, S., PAGGI, L., ORECCHIA, P. and BULLINI, L.** (1995). Isozyme variation and taxonomic rank of *Contracecum radiatum* (v. Linstow, 1907) from the Antarctic Ocean (Nematoda, Ascaridoidea). *Systematic Parasitology* **30**: 1-9
- ARRIGO, K.R., DIECKMANN, G., GOSSELIN, M., ROBINSON, D.H., FRITSEN, C.H. and SULLIVAN, C.W.** (1995). High resolution study of the platelet ice ecosystem in McMurdo Sound, Antarctica: biomass, nutrient, and production profiles within a dense microalgal bloom. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **127**: 255-268
- BAAR, H.J.W. de, JONG, J.T.M. de, BAKKER, D.C.E., LÖSCHER, B.M., VETH, C., BATHMANN, U. and SMETACEK, V.** (1995). Importance of iron for plankton blooms and carbon dioxide drawdown in the Southern Ocean. *Nature* **373**: 412-415
- BALK-BINDSEIL, W., HELMKE, E., WEYLAND, H. and LAATSCH, H.** (1995). Maremycin A and B, new diketopiperazines from a marine *Streptomyces* sp. *Liebigs Ann. Mar. Bact.* **8**: 1291-1294
- BARKER, G.L.A., HAYES, P.K. and MEDLIN, L.K.** (1995). Preliminary results using the RAPD analysis as means of screening populations during the development of natural blooms and mesocosm blooms of the prymnesiophyte *Emiliana*. *Sarsia* **79**: 301-306
- BEYERLE, G., HERBER, A., NEUBER, R. and GERNANDT, H.** (1995). Temporal development of Mt. Pinatubo aerosols as observed by lidar and sun photometer at Ny-Ålesund, Spitsbergen. *Geophys. Res. Lett.* **22** (18): 2497-2500
- BHATTACHARYA, D. and MEDLIN, L.K.** (1995). Phylogeny of plastids: A review based on comparisons of small subunit ribosomal RNA coding regions. *J. Phycol.* **31**: 487-496
- BISCHOFF, B. and WIENCKE, C.** (1995). Temperature adaption in strains of the amphi-equatorial green alga *Urospora penicilliformis* (Acrosiphoniales): biogeographical implications. *Mar. Biol.* **122**: 681-688
- BISCHOFF, B. and WIENCKE, C.** (1995). Temperature ecotypes and biogeography of Acrosiphoniales (Chlorophyta) with Arctic-Antarctic disjunct and Arctic/cold-temperate distributions. *Eur. J. Phycol.* **30**: 19-27
- BOETIUS, A.** (1995). Microbial hydrolytic enzyme activities in deep-sea sediments. *Helgoländer Meeresunters.* **49**: 177-187
- BOETIUS, A. and FELBECK, H.** (1995). Digestive enzymes in marine invertebrates from hydrothermal vents and other reducing environments. *Mar. Biol.* **122**: 105-113
- BORMANN, P. and FRITZSCHE, D., Eds.** (1995). The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings. *Peterm. Geogr. Mitt., Erg.-h.* **289**, Perthes, Gotha: 448 pp.
- BORMANN, P., SCHÄFER, U., KOPSCH, C. and WAGNER, S.** (1995). Geophysical investigations. In: The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings. (P. Bormann, D. Fritzsche, eds.). *PGM Erg.-h.* **289**, Perthes, Gotha: 39-57
- BUDEUS, G. and SCHNEIDER, W.** (1995). On the hydrography of the Northeast Water Polynya. *J. Geophys. Res.* **100**: 4287-4299
- BREY, T.** (1995). Temperature and reproductive metabolism in macrobenthic populations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **125**: 87-93
- BREY, T., PEARSE, J., BASCH, L., McCLINTOCK, J. and SLATTERY, M.** (1995). Growth and production of *Sterechinus neumayeri* (Echinoidea, Echinodermata) in McMurdo Sound, Antarctica. *Mar. Biol.* **124**: 279-292
- BREY, T., PECK, L.S., GUTT, J., HAIN, S. and ARNTZ, W.E.** (1995). Population dynamics of *Magellania fragilis*, a brachiopod dominating a mixed-bottom macrobenthic assemblage on the Antarctic shelf. *J. mar. biol. Ass. U.K.* **75**: 857-869



## 9. Veröffentlichungen

- BRUMSACK, H.-J., HEYDEMANN, A., KÜHN, V., RACHOLD, V. and USDOWSKI, E.** (1995). Geochemistry and mineralogy of Middle Aptian sediments from the Lower Saxony Basin, NW-Germany. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.* **196**: 235-255
- CHAKRABORTY, B. and SCHENKE, H.W.** (1995). Arc arrays: Studies of high resolution techniques for multibeam bathymetric applications. *Ultrasonics* **33** (6): 457-461
- CHEN, D., GERDES, R. and LOHMANN, G.** (1995). A 1-D atmospheric energy balance model developed for ocean modelling. *Theor. Appl. Climatol.* **51**: 25-38
- CRAWFORD, R.M.** (1995). The role of sex in the sedimentation of a marine diatom bloom. *Limnol. Oceanogr.* **40**: 200-204
- CRAWFORD, R.M. and HINZ, F.** (1995). The spines of the centric diatom *Corethron criophilum*: Light microscopy of vegetative cell division. *Eur. J. Phycol.* **30**: 95-105
- DIERKING, W.** (1995). Laser profiling of the ice surface topography during the Winter Weddell Gyre Study 1992. *J. Geophys. Res.* **100**: 4807-4820
- DOWER, K.M., LUCAS, M.I., PHILIPPS, R., DIECKMANN, G. and ROBINSON, D.H.** (1995). Phytoplankton biomass, P.I. Relationships and primary production in the Weddell Sea, Antarctica, during the Austral autumn. *Polar Biol.* **16**: 41-52
- EICKEN, H., FISCHER, H. and LEMKE, P.** (1995). Effects of the snow cover on Antarctic sea ice and potential modulation of its response to climate change. *Ann. Glaciol.* **21**: 369-376
- EICKEN, H., LENSU, M., LEPPÄRANTA, M., TUCKER III, W.B., GOW, A.J. and SALMELA, O.** (1995). Thickness, structure, and properties of level summer multiyear ice in the Eurasian sector of the Arctic Ocean. *J. Geophys. Res.* **100/C11**: 22697-22710
- EL NAGGAR, S. and SCHOPPE, S.** (1995). Waste management concept at the German winter station Neumayer. In: Proc. Sixth Symp. on Antarctic Logistics and Operations, Rome, 1994: 13-23
- EL NAGGAR, S., GUSTAT, H., MAGISTER, H. and ROCHLITZER, R.** (1995). An electronic personal UV-B-dosimeter. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.* **31**: 83-86
- FAHRBACH, E., ROHARDT, G., SCHEELE, N., SCHRÖDER, M., STRASS, V. and WISOTZKI, A.** (1995). Formation and discharge of deep and bottom water in the northwestern Weddell Sea. *J. Mar. Res.* **53** (4): 515-538
- FIRESTONE, J.** (1995) Resolving the younger Dryas event through borehole thermometry. *J. Glaciol.* **41**: 39-50
- FREIMANN, R.** (1995). *In situ* measurement of the zooplankton volume-frequency distribution by means of light scattering. *Cont. Shelf Res.* **16** (4): 421-434
- FRIEDMANN, A., MOORE, J.C., THORSTEINSSON, TH., KIPFSTUHL, J. and FISCHER, H.** (1995). A 1200 year record of accumulation from northern Greenland. *Ann. Glaciol.* **21**: 19-25
- FRITZSCHE, D. and BORMANN, P.** (1995). The Schirmacher Oasis as a part of Queen Maud Land. In: The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings. (P. Bormann, D. Fritzsche, eds.). PGM Erg.-h. **289**, Perthes, Gotha: 21-38
- GARDNER, C., SCHULZ, D., CRAWFORD, R.M. and WENDEROTH, K.** (1995). *Stoschiella Hebetata* gen. et sp. nov. A diatom from intertidal sand. *Diatom Res.* **10** (2): 241-250
- GATHEN, P. von der,** (1995). Aerosol extinction and backscatter profiles by means of a multiwavelength Raman lidar: a new method without a priori assumptions. *Applied Optics* **34** (3): 463-466
- GATHEN, P., von der, REX, M., HARRIS, N.R.P., LUCIC, D., KNUDSEN, B.M., BRAATHEN, G.O., BACKER, H. De, FABIAN, R., FAST, H., GIL, M., KYRÖ, E., MIKKELSEN, I.St., RUMMUKAINEN, M., STÄHELIN, J., and VAROTSOS, C.** (1995). Observational evidence for chemical ozone depletion over the Arctic in winter 1991-92. *Nature* **375**: 131-134
- GERDES, R. and KOEBERLE, C.** (1995). Influence of DSOW on the North Atlantic general circulation, *J. Phys. Oceanogr.* **25**: 2624-2642
- GERLAND, S. and VILLINGER, H.** (1995). Nondestructive density determination on marine sediment cores from gamma-ray attenuation measurements. *Geo-Mar. Lett.* **15**: 111-118

- GERNANDT, H.** (1995). Contribution to ionospheric, geomagnetic and middle atmosphere observations in high southern latitudes. In: The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings. (P. Bormann, D. Fritzsche, eds.). PGM Erg.-h. 289, Perthes, Gotha: 349-373
- GERNANDT, H.** (1995). Satellite sea ice observations in the Atlantic sector of the Southern Ocean. In: The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings. (P. Bormann, D. Fritzsche, eds.). PGM Erg.-h. 289, Perthes, Gotha: 343-258
- GERNANDT, H., GOERSDORF, U., CLAUDE, H. and VAROTSOS, C.A.** (1995). Possible impact of polar stratospheric processes on mid-latitude vertical ozone distributions. *Int. J. Remote Sensing* 16 (10): 1839-1850
- GLEITZ, M., RUTGERS van der LOEFF, M., THOMAS, D.N., DIECKMANN, G.S. and MILLERO, F.J.** (1995). Comparison of summer and winter inorganic carbon, oxygen and nutrient concentrations in Antarctic sea ice brine. *Mar. Chem.* 51: 81-91
- GØYENS, L., TRÉGUER, P., BAUMANN, M.E.M., BAEYENS, W. and DEHAIRS, F.** (1995). The leading role of ammonium in the nitrogen uptake regime of Southern Ocean marginal ice zones. *J. Mar. Syst.* 6: 345-361
- GOHL, K. and PEDERSEN, L.B.** (1995). Collisional tectonics of the Baltic Shield in the northern Gulf of Bothnia from seismic data of the BABEL project. *Geophys. J. Int.* 120: 209-226
- GOMEZ, I. and WESTERMEIER, R.** (1995). Energy contents and organic constituents in Antarctic and South Chilean marine brown algae. *Polar Biol.* 15: 597-602
- GOMEZ, I., THOMAS, D.N. and WIENCKE, C.** (1995). Longitudinal profiles of growth, photosynthesis and light independent carbon fixation in the Antarctic brown alga *Ascoseira mirabilis*. *Bot. Mar.* 38: 157-164
- GOMEZ, I., WIENCKE, C. and WEYKAM, G.** (1995). Seasonal photosynthetic characteristics of *Ascoseira mirabilis* (Ascoseirales, Phaeophyceae) from King George Island, Antarctica. *Mar. Biol.* 123: 167-172
- GRABEMANN, I., KAPPENBERG, J. and KRAUSE, G.** (1995). Aperiodic variations of the turbidity maximas of two German coastal plain estuaries. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 29 (3/4): 217-227
- GRAF, W., MOSER, H., REINWARTH, O., KIPFSTUHL, J., OERTER H., MINIKIN, A. and WAGENBACH, D.** (1995). Snow accumulation rates and isotopic contents ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^3\text{H}$ ) of near surface firn of the Filchner Ronne Ice Shelf, Antarctica, *Ann. Glaciol.* 20: 121-128
- GUTT, J.** (1995). The occurrence of sub-ice algal aggregations off northeast Greenland. *Polar Biol.* 15: 247-252
- GUTT, J. and KOLTUN, V.M.** (1995). Sponges of the Lazarev and Weddell Sea, Antarctica: explanations for their patchy occurrence. *Antarct. Sci.* 7 (3): 227-234
- HAAS, C. and THOMAS, D.N.** (1995). Glacial-ice fragments in Antarctic sea ice. *J. Glaciol.* 41 (138): 432-435
- HAENDEL, D., KAUP, E., LOOPMANN and WAND, U.** (1995). Physical and hydrochemical properties of water bodies. In: The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings. (P. Bormann, D. Fritzsche, eds.). PGM Erg.-h. 289, Perthes, Gotha, chapt. 8, Hydrology:279
- HAGEN, W., KATTNER, G. and GRAEVE, M.** (1995). On the lipid biochemistry of polar copepods. Compositional differences in the Antarctic calanoids *Euchaeta antarctica* and *Euchirella rostromagna*. *Mar. Biol.* 123: 451-457
- HANELT, D. and NULTSCH, W.** (1995). Field studies of photoinhibition show non-correlations between oxygen and fluorescence measurements in the Arctic red alga *Palmaria palmata*. *J. Plant Physiol.* 145: 31-38
- HANELT, D., UHRMACHER, S. and NULTSCH, W.** (1995). The effect of photoinhibition on photosynthetic oxygen production in the brown alga *Dictyota dichotoma*. *Bot Acta* 108: 99-105
- HARRIS, A.S.D., MEDLIN, L.K., LEWIS, J. and JONES, K.L.** (1995). *Thalassiosira* species (Bacillariophyceae) from a Scottish sea-loch. *Europ. J. Phycol.* 30: 117-32
- HEINRICH, W., HOFFBAUER, R. and HUBBERTEN, H.-W.** (1995). Contrasting fluid flow patterns at the Bufo del Diente contact metamorphic aureole, north-east Mexico: evidence from stable isotopes. *Contrib. Mineral. Petrol.* 119: 362-376
- HELMERS, E. and SCHREMS, O.** (1995). Wet deposition of metals to the tropical North and the South Atlantic Ocean. *Atmosph. Environm.* 29 (18): 2475-2484

## 9. Veröffentlichungen

- HELMKE, E. and WEYLAND, H.** (1995). Bacteria in sea ice and underlying water of the eastern Weddell Sea in midwinter. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **117**: 269-287
- HERMICHEN, W.-D.** (1995). The continental ice cover in the surroundings of the Schirmacher Oasis. In: *The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings.* (P. Bormann, D. Fritzsche, eds.). PGM Erg.-h. **289**, Perthes, Gotha: 221-242
- HERMICHEN, W.-D.** (1995). The continental ice cover in the surroundings of the Schirmacher Oasis. In: *The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings.* (P. Bormann, D. Fritzsche, eds.). PGM Erg.-h. **289**, Perthes, Gotha: 221-242
- HILLER, A., HERMICHEN, W.-D. and WAND, U.** (1995). Radiocarbon-dated subfossil stomach oil deposits from petrel nesting sites: novel paleoenvironmental records from continental Antarctica. In: *Proc. 15th Internat. <sup>14</sup>C Conference* (G.T. Cook, D.D. Harkness, B.F. Miller, E.M. Scott, eds.). *Radiocarbon* **37** (2): 171-180
- HOPPEMA, M., FAHRBACH, E., SCHRÖDER, M., WISOTZKI, A. and BAAR, H. J.W. De** (1995). Winter-summer differences of carbon dioxide and oxygen in the Weddell Sea surface layer. *Mar. Chem.* **51**: 177-192
- HUBBERTEN, U., LARA, R.J. and KATTNER, G.** (1995). Refractory organic compounds in polar waters: Relationship between humic substances and amino acids in the Arctic and Antarctic. *J. Mar. Res.* **53**: 137-149
- HUBBERTEN, H.-W., GROBE, H., JOKAT, W., MELLES, M., NIESSEN, F. and STEIN, R.** (1995). Glacial history of East Greenland explored. *Eos, Transact. Am. Geophys. Union* **76** (36): 353, 356
- HAAS, C. and THOMAS, D.N.** (1995). Glacial ice fragments in Antarctic sea-ice. *J. Glaciol.* **41**: 432-435
- HUYBRECHTS, P. and TSIORBEL, S.** (1995). Thermomechanical modelling of northern hemisphere ice sheets with a two-level mass-balance parameterization. *Ann. Glaciol.* **21**: 111-116
- JOKAT, W., BURAVTSEV, V.Yu. and MILLER, H.** (1995). Marine seismic profiling in ice covered regions. *Polarforschung* **64** (1): 9-17
- JOKAT, W., WEIGELT, E., KRISTOFFERSEN, Y., RASMUSSEN, T. and SCHÖNE, T.** (1995). New geophysical results from the south-western Eurasian Basin (Morris Jesup Rise, Gakkel Rise, Yermak Plateau) and the Fram Strait. *Geophys. J. Int.* **123**: 601-610
- JOKAT, W., WEIGELT, E., KRISTOFFERSEN, Y., RASMUSSEN, T. and SCHÖNE, T.** (1995). New insights into the evolution of the Lomonosov Ridge and the Eurasian Basin. *Geophys. J. Int.* **122**: 378-392
- KATTNER, G. and HAGEN, W.** (1995). Polar herbivorous copepods - different pathways in lipid biosynthesis. *ICES J. mar. Sci.* **52**: 329-335
- KIENEL, U., REHFELD, U. and BELLAS, S.** (1995). The Miocene Blue Clay formation of the Maltese Islands: Sequence-stratigraphic and paleoceanographic implications based on calcareous nanofossil stratigraphy and calcareous dinoflagellate cysts. *Berliner geowiss. Abh.* **E16**: 533-557
- KIRST, G.O. and WIENCKE, C.** (1995). Ecophysiology of polar algae. *J. Phycol.* **31**: 181-199
- KLÖSER, H. und ARNTZ, W.E.** (1995). RASCALS (Research on Antarctic Shallow Coastal and Litoral Systems) Untersuchungen zur Struktur und Dynamik eines antarktischen Küstenökosystems. *Polarforschung* **64** (1): 27-41
- KRAUSE, G. and TOMCZAK, M.** (1995). Do marine scientists have a scientific view of the earth? *Oceanography* **8** (1): 11-16
- KRIEWS, M. and SCHREMS, O.** (1995). Pollution analysis in the Arctic: Determination of heavy metals in deposition samples from Spitsbergen. In: *Heavy Metals in the Environment: (R.-D. Wilken, U. Förstner, A. Knöchel, eds.). CEP Consultants, Edinburgh, Vol. 1:* 371-374
- KRÖNCKE, I. and KNUST, R.** (1995). The Dogger Bank: A special ecological region in the central North Sea. *Helgoländer Meeresunters.* **49**: 335-353
- KULBIDA, A., RAMOS, M.N., RÄSÄNEN, M., NIEMINEN, J., SCHREMS, O. and FASTO, R.** (1995). Rotational isomerism in acrylic acid: A combined matrix-isolated IR, Raman ab *initio* molecular orbital study. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* **91** (11): 1571-1585
- LARA, R.J. and THOMAS, D.N.** (1995). Formation of recalcitrant organic matter: Humification dynamics of algal derived dissolved organic carbon and its hydrophobic fractions. *Mar. Chem.* **51**: 193-199

- LARA, R.J., ASTEASUAIN, A., RUSANSKY, C. and ASTEASUAIN, R.** (1995). Distribution of petroleum hydrocarbons in waters of the Bahía Blanca Bay, Argentina. *Mar. Poll. Bull.* **30**: 281-283
- LATURNUS, F.** (1995). Release of volatile halogenated organic compounds by unialgal cultures of polar macroalgae. *Chemosphere* **31** (6): 3387-3395
- LEUKART, P. and HANELT, D.** (1995). Light requirements for photosynthesis and growth in several macroalgae from a small soft-water stream in the Spessart Mountains, Germany. *Phycologia* **34**: 528-532
- LORENZEN-SCHMIDT, H., WELLER, R. and SCHREMS, O.** (1995). FTIR-Studies of the reaction of O(<sup>1</sup>D)-atoms with CF<sub>3</sub>Br in solid argon matrices. *J. Mol. Struct.* **349**: 333-336
- LYKOSOV, V.N. and WAMSER, C.** (1995). Turbulence intermittency in the atmospheric surface layer over snow-covered sites. *Boundary-Layer-Meteorol.* **72**: 393-409
- MACKENSEN, A., SCHMIEDL, G., HARLOFF, J. and GIESE, M.** (1995). Deep-sea foraminifera in the South Atlantic Ocean: Ecology and assemblage generation. *Micropaleontology* **41** (4): 342-358
- MEDLIN, L. K., COOPER, A., HILL, C., WRIEDEN, S. and WELLBROCK, U.** (1995). Phylogenetic position of the Chromista plastids from 16S rDNA coding regions. *Current Genetics* **28**: 560-565
- MEDLIN, L.K., LANGE, M., BARKER, G.L.A. and HAYES, P.K.** (1995). Can molecular techniques change our ideas about the species concept? In: *Molecular ecology of aquatic microbes* (I. Joint, P. Falkowski, N. Carr, eds). NATO ASI Series **G38**: 133-152
- METZ, C.** (1995). Seasonal variation in the distribution and abundance of *Oithona* and *Oncaea* species (Copepoda, Crustacea) in the southeastern Weddell Sea, Antarctica. *Polar Biol.* **15**: 187-194
- METZ, C. and SCHNACK-SCHIEL, S.B.** (1995). Observations on carnivorous feeding in Antarctic calanoid copepods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **129**: 71-75
- NAM, S.-I., STEIN, R., GROBE, H. and HUBBERTEN, H.-W.** (1995). Late Quaternary glacial-interglacial changes in sediment composition at the East Greenland continental margin and their paleoceanographic implications. *Mar. Geol.* **122**: 243-262
- NOTHOLT, J. and SCHREMS, O.** (1995). Ground-based FTIR spectroscopic absorption measurements of stratospheric trace gases in the Arctic with the sun and the moon as light sources. *J. Molecular Struct.* **347**: 407-416
- NOTHOLT, J., GATHEN, P. von der and PEIL, S.** (1995). Heterogeneous conversion of HCl and ClONO<sub>2</sub> during the Arctic winter 1992/93 initiating ozone depletion. *J. Geophys. Res.* **100/D6**: 11269-11274
- NOTHOLT, J., MEIER, A. and PEIL, S.** (1995). Total column densities of tropospheric and stratospheric trace gases in the undisturbed Arctic summer atmosphere. *J. Atmosph. Chem.* **20**: 311-332
- NOTHOLT, J., BENINGA, I. and SCHREMS, O.** (1995). Shipborne FT-IR measurements of atmospheric trace gases on a South (33°S) to North (53°N) Atlantic traverse. *Appl. Spectroscopy* **49**: 1525-27
- NÜRNBERG, D.** (1995). Magnesium in tests of *Neogloboquadrina pachyderma sinistral* from high northern and southern latitudes. *J. Foraminiferal Res.* **25** (4): 350-368
- NÜRNBERG, D., LEVITAN, M.A., PAVLIDIS, J.A., SHELEKHOVA, E.S.** (1995). Distribution of clay minerals in surface sediments from the eastern Barents and south-western Kara Seas. *Geol. Rundsch.* **84**: 665-682
- NÜRNBERG, D., FÜTTERER, D.K., NIESSEN, F., NØRGAARD-PEDERSEN, N., SCHUBERT, C.J., SPIELHAGEN, R.F. and WAHSNER, M.** (1995). The depositional environment of the Laptev Sea continental margin: Preliminary results from the R/V Polarstern ARK-IX/4 cruise. *Polar Res.* **14** (1): 43-53
- OHM, K. and WILLKOMM, R.** (1995). Collecting performance of a Lidar telescope at short distances. *EARSel Advances in Remote Sensing* **3** (3): 26-31
- PAUER, F., KIPFSTUHL, J. and KUHS, W.F.** (1995). Raman spectroscopic study on the nitrogen/oxygen ratio in natural ice clathrates in the GRIP ice core. *Geophys. Res. Lett.* **22** (8): 969-971
- PEIL, S., SEISEL, S. and SCHREMS, O.** (1995). FTIR-spectroscopic studies of polar stratospheric cloud model surfaces: Characterization of nitric acid hydrates and heterogeneous reactions involving N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and HBr. *J. Mol. Struct.* **348**: 449-452

9. Veröffentlichungen

- PIEPENBURG, D., BLACKBURN, T.H., DORRIEN, C.F. Von, GUTT, J., HALL, P.O.J., HULTH, S., KENDALL, M.A., OPALINSKI, K.W., RACHOR, E. and SCHMID, M.K.** (1995). Partitioning of benthic community respiration in the Arctic (northwestern Barents Sea). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **118**: 199-213
- PFIRMAN, S.L., EICKEN, H., BAUCH, D. and WEEKS, W.F.** (1995). The potential transport of pollutants by Arctic sea ice. *Science Total Environm.* **159**: 129-146
- PÖRTNER, H.O.** (1995). pH homeostasis in terrestrial vertebrates: A comparison of traditional and new concepts. *Curr. Adv. Comp. Env. Physiol.* **22**: 51-62
- PUGH, P.R. and PAGES, F.** (1995). Is *Lensia reticulata* a diphyne species (Siphonophorae, Calycophora, Diphyidae)? A redescription. *Sci. Mar.* **59** (2): 181-192
- RAUSCHERT, M.** (1995). Zwei neue Vertreter der Gammaridea (Crustacea, Amphipoda) aus dem Sublitoral bei Livingston Island (Südshetlandinseln). *Mitt. Zool. Mus. Berl.* **71** (1): 11-26
- REIMNITZ, E., EICKEN, H. and MARTIN, T.** (1995). Multiyear fast ice along the Taymyr Peninsula, Siberia. *Arctic* **48** (4): 359-367
- REUTER, R., WILLKOMM, R., KRAUSE, G. and OHM, K.** (1995). Development of a shipboard lidar: Technical layout and first results. *EARSeL Advances in Remote Sensing* **3** (3): 15-25
- RIEBESSELL, U. and WOLF-GLADROW, D.** (1995). Growth limits on phytoplankton. *Nature* **373**: 28
- RIEBESSELL, U., REIGSTAD, M., WASSMANN, P., NOJI, T. and PASSOW, U.** (1995). On the trophic fate of *Phaeocystis pouchetii* (Hariot) V. Significance of Phaeocystis-derived mucus for vertical flux. *Neth. J. Sea Res.* **33** (2): 193-203
- RIEMANN, F.** (1995). The deep-sea nematode *Thalassomonhystera Bathislandica* sp. nov. and microhabitats of nematodes in flocculent surface sediments. *J. mar. biol. Ass. U.K.* **75**: 715-724
- RUTGERS van der LOEFF, M.M., KEY, R.M., SCHOLTEN, J., BAUCH, D. and MICHEL, A.** (1995). <sup>228</sup>Ra as a tracer for shelf water in the Arctic Ocean. *Deep-Sea Res. II* **42** (6): 1533-1553
- SANDER, J., WOLF-GLADROW, D., and OLBERS, D.** (1995). Numerical studies of open ocean deep convection. *J. Geophys. Res.* **100**: 20579-20600
- SCHÄFER, J., SCHREMS, O., BEYERLE, G., HOFER, B., MILDNER, W., THEOPOLD, F. A., LAHMANN, W., WEITKAMP, C. and STEINBACH, M.** (1995). A modular and mobile, multi purpose lidar system for observation of tropospheric and stratospheric aerosols. *SPIE, Vol. 2581*: 128-136
- SCHAUER, U.** (1995). The release of brine-enriched shelf water from Storfjord into the Norwegian Sea. *J. Geophys. Res.* **100**: 160515-16028
- SCHAUMANN, K. and WEIDE, G.** (1995). Efficiency of uronic acid uptake in marine alginate-degrading fungi. *Helgoländer Meeresunters.* **49**: 159-167
- SCHNACK-SCHIEL, S.B. and HAGEN, W.** (1995). Life-cycle strategies of *Calanoides acutus*, *Calanus propinquus* and *Metridia gerlachei* (Copepoda: Calanoida) in the eastern Weddell Sea, Antarctica. *ICES J. mar. Sci.* **52**: 541-548
- SCHNACK-SCHIEL, S.B., THOMAS, D., DIECKMANN, G.S., EICKEN, H., GRADINGER, R., SPINDLER, M., WEISSEBERGER, J., MIZDALSKI, E. and BEYER, K.** (1995). Life cycle strategy of the Antarctic calanoid copepod *Stephos longipes*. *Prog. Oceanog.* **36**: 45-75
- SCHNEIDER, W. and BUDEUS, G.** (1995). On the generation of the Northeast Water Polynya. *J. Geophys. Res.* **100**: 4269-4286
- SCHNEIDER W., NISHIO, F., YAMANOUCHI T., WATANABE, O. and MASUKO, H.** (1995). SST estimation within Syowa's station mask using MOS-1's visible and thermal infrared radiometers. *Int. J. Remote Sensing* **16** ( 4): 613-624
- SCHOLTEN, J.C., RUTGERS van der LOEFF and MICHEL, A.** (1995). Distribution of <sup>230</sup>Th and <sup>231</sup>Pa in the water column in relation to the ventilation of the deep Arctic basins. *Deep-Sea Res. II* **42** (6): 1519-1531
- SCHUMACHER, U., KLEIN, P., PLÖTZ, J. and WELSCH, U.** (1995). Histological, histochemical, and ultrastructural investigations on the gastrointestinal system of Antarctic seals: Weddell Seal (*Leptonychotes weddellii*) and Crabeater Seal (*Lobodon carcinophagus*). *J. Morphol.* **225**: 229-249
- SEISEL, S. and SCHREMS, O.** (1995). Heterogeneous reactions of N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> with HBr on ice and NAT surfaces. In: Polar stratospheric ozone (J.A. Pyle, N.R.P. Harris, G.T. Amanatidis, eds). *Air Poll. Rep.* **56**: 740-743

- SPIRIDONOV, V.A.** (1995). Spatial and temporal variability in reproductive timing of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana). *Polar Biol.* **15**: 161-174
- STEBEL, K., SCHREMS, O., NEUBER, R., BEYERLE, G. and GATHEN, P. von der** (1995). Lidar observations of polar stratospheric clouds in the Arctic (Spitzbergen). In: *Polar stratospheric ozone* (J.A. Pyle, N.R.P. Harris, G.T. Amanatidis, eds). *Air Poll. Rep.* **56**: 113-116
- TCHEUNOV, A.V. and RIEMANN, F.** (1995). Arctic sea ice nematodes (Monhysteroidea), with descriptions of *Cryonema crassum* gen.n., sp.n. and *C. tenue* sp.n. *Nematologica* **41**: 35-50
- THIEL, H. and Forschungsverbund Tiefsee-Umweltschutz** (1995). The German Environmental Impact Research for Manganese Nodule Mining in the SE Pacific Ocean. In: *Proc. ISOPE-Ocean Mining Symposium, Tsukuba, Japan, 1995* (T. Yamazaki, K. Aso, Y. Okano, Y., K. Tsurusaki, eds.). *Internat. Soc. Offshore and Polar Engineers (ISOPE)*, Golden, Colorado: 39-45
- THOMAS, D.N. and LARA, R.J.** (1995). Photodegradation of algal derived dissolved organic carbon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **116**: 309-310
- THOMAS, D.N., LARA, R.J., EICKEN, H., KATTNER, G. and SKOOG, A.** (1995). Dissolved organic matter in Arctic multi-year sea ice during winter: Major components and relationship to ice characteristics. *Polar Biol.* **15**: 477-483
- THORSTEINSSON, T., KIPFSTUHL, J., EICKEN, H., JOHNSEN, S.J. and FUHRER, K.** (1995). Crystal size variations in Eemian-age ice from the GRIP ice core, Central Greenland. *Earth Planet. Sci. Lett.* **131**: 381-394
- TISON, J.-L., THORSTEINSSON, T., LORRAIN, R.D. and KIPFSTUHL, J.** (1995). Origin and development of textures and fabrics in basal ice at Summit, Central Greenland. *Earth Planet. Sci. Lett.* **125**: 421-437
- TÜG, H. and BAUMANN, M.E.M.** (1995). Reply to the comments by R.L. McKenzie and P.V. Johnston on our paper „Problems of UV-B radiation measurements in biological research. Critical remarks on current techniques and suggestions for improvements“. *Geophys. Res. Lett.* **22** (9): 1159-1160
- UHRMACHER, S., HANELT, D. and NULTSCH, W.** (1995). Zeaxanthin content and the degree of photoinhibition are linearly correlated in the brown alga *Dictyota dichotoma*. *Mar. Biol.* **123**: 159-165
- VANNESTE, K., UENZELMANN-NEBEN, G. and MILLER, H.** (1995). Seismic evidence for long-term history of glaciation on central East Greenland shelf south of Scoresby Sund. *Geo-Mar. Lett.* **15**: 63-70
- VOGELER, A. and SCHROETER, J.** (1995). Assimilation of satellite altimeter data into an open ocean model. *J. Geophys. Res.* **100**: 15951-15963
- WAMSER, C. and LYKOSOV, V.N.** (1995). On the friction velocity during blowing snow. *Beitr. Phys. Atmosph.* **68** (1): 85-94
- WAND, U.** (1995). Dykes. In: *The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings.* (P. Bormann, D. Fritzsche, eds.). *PGM Erg.-h.* **289**, Perthes, Gotha, chapt. 3, *Geology*: 109-112
- WAND, U.** (1995). Hydrogeochemistry. In: *The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings.* (P. Bormann, D. Fritzsche, eds.). *PGM Erg.-h.* **289**, Perthes, Gotha, chapt. 8, *Hydrology*: 309-311
- WAND, U.** (1995). Radiocarbon study of solidified stomach oil deposits. In: *The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings.* (P. Bormann, D. Fritzsche, eds.). *PGM Erg.-h.* **289**, Perthes, Gotha, chapt. 9, *Biology*: 109-112
- WAND, U.** (1995). Salt efflorescences. In: *The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings.* (P. Bormann, D. Fritzsche, eds.). *PGM Erg.-h.* **289**, Perthes, Gotha, chapt. 4, *Geomorphology*: 201-204
- WEIGEL, W., MILLER, H., FLÜH, E.R., BUTZKE, A., DEGHANI, A., GEBHARDT, V., HARDER, I., HEPPER, J., JOKAT, W., KLÄSCHEN, D., KREYMANN, S., SCHÜSSLER, S. and ZHAO, Z.** (1995). Investigations of the East Greenland continental margin between 70° and 72° N by deep seismic sounding and gravity studies. *Mar. Geophys. Res.* **17**: 167-199
- WIENCKE, C., CLAYTON, M.N. and SCHULZ, D.** (1995). Life history, reproductive morphology and development of the Antarctic brown alga *Desmarestia menziesii* J. Agardh. *Bot. Acta* **108**: 201-208
- WOLF-GLADROW, D.** (1995). A Lattice Boltzmann equation for diffusion. *J. Statist. Phys.* **79** (5/6): 1023-1032

9. Veröffentlichungen

- WOLFF, E.W., MOORE, J.C., CLAUSEN, H.B., HAMMER, C.U., KIPFSTUHL, J. and FUHRER, K.** (1995). Long-term changes in the acid and salt concentrations of the Greenland Ice Core Project ice core from electrical stratigraphy. *J. Geophys. Res.* 100/D8: 16249-16263
- nicht begutachtet*
- ARNTZ, W.E.** (1995). Antarktisches Benthos: Mythen und Daten. In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 230-239
- BATHMANN, U.** (1995). Die biologische Pumpe im Südpolarmeer. In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 128-137
- BATHMANN U.** (1995): Southern Ocean - JGOFS: Ergebnisse internationaler Prozeßstudien aus der Antarktis. In: Bericht über den 3. JGOFS-Workshop 5./6. Dezember 1994 in Bremen (M. Giese, G. Wefer, Hrsg.). Ber. FB Geowissenschaften, Univ. Bremen, Nr. 62: 12
- BATHMANN U., BLEIL, U., DOBENECK, T. v., HERTERICH, K., JØRGENSEN, B.B., NÖTHIG, E.-M., OLESCH, M., PÄTZOLD, J., SCHULZ, H.D., SMETACEK, V. SPIESS, V., WEFER, G. and WILLEMS, H.** (1995). Bericht des Graduiertenkollegs Stoff-Flüsse in marinen Ökosystemen. Ber. FB Geowissenschaften, Univ. Bremen, Nr. 69: 468pp.
- BECKMANN, A.** (1995). Numerical modeling of time-mean flow at isolated seamounts. In: *Topographic Effects in the Ocean. Proc. 'Aha Huliko'a Hawaiian Winter Workshop.* (P. Müller, D. Henderson, eds): 57-66
- BEHRMANN, G.** (1995). Een acneachtige huidziekte bij de Bruinvis. *Marswin* 16 (2): 81-84
- BEHRMANN, G.** (1995). Der Bartenwal aus dem Miozän von Gr.-Pampau (Schleswig-Holstein). *Geschiebekunde aktuell* 11 (4): 119-126
- BOCHERT, A.** (1995): Digitale Zeilenkamera zur Meereisforschung. In: : *Deutsches Museum Bonn. Forschung und Technik in Deutschland nach 1945* (P. Friess, P.M. Steiner, Hrsg.). Deutscher Kunstverlag: 334 - 335
- BUCHNER, T., ABELE-OESCHGER, D.** (1995). Seasonal differences of the enzymatic antioxidant defence in the lugworm *Arenicola marina* (Polychaeta). *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* 88.1: 96
- DETHLOFF, K., RINKE, A., CHRISTENSEN, J.H., BOTZET, M. and MACHENHAUER, B.** (1995). High resolution climate simulation over the Arctic. *Proc. 5th Europ. Regionalization Project Workshop, Toulouse, 1995*: 59-79
- DIECKMANN, G.S. and KIPFSTUHL, S.** (1995). Unterwassereis und grüne Eisberge. In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 86-94
- EICKEN, H.** (1995). Wie polar wird ein Polarmeer durch das Meereis? In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 58-76
- FAHRBACH, E.** (1995). Die Polarmeere - ein Überblick. In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 24-44
- FAHRBACH, E., ROHARDT, G., SCHRÖDER, M. and STRASS, V.** (1995). The Weddell Gyre Study 1989-1993. *WOCE Newsletter* 18: 6-9
- FAHRBACH, E., HEINZE, C., ROHARDT, G. and WOODGATE, R.** (1995). Moored current meter measurements in the East Greenland Current. *Nordic Seas, Hamburg*: 57-60
- GERLAND, S., HAAS, C., EICKEN, H. and MILLER, H.** (1995). Elektromagnetische Messungen zur Bestimmung der Dicke von Meereis. *Mitt. Dt. Geophys. Ges.* 2: 38-43
- GERNANDT, H.** (1995). Contribution to: Scientific Assessment of Ozone Depletion, 1994, WMO. *Global Ozone Research and Monitoring Project - Report No. 37, Pt. 1, Observed changes in ozone and source gases. Ch. 1, Ozone measurements*: 1.1.-1.54
- GERNANDT, H.** (1995). Ozonmessungen in den Polarregionen, *AGF-Jahresheft 1995*: 53 - 54
- GROBE, H.** (1995). Aus dem Geschichtsbuch der Polarmeere. In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 45-57

- GUTT, J.** (1995). Unterwasserfernsehen - wofür der Ökologe in den Polargebieten ein Auge am Meeresboden braucht. In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 248-257
- HARLOFF, J.** (1995). Shape analysis of *Ogmoconcha* and *Ogmoconcha amalthei* (Quenstedt 1858); Ostracoda. *Senckenbergiana lethaea* **75** (1/2): 149-161
- HARTMANN, J., MAI, S., KOTTMEIER, C., WAMSER, C. and AUGSTEIN, E.** (1995). Turbulente Vertikaltransporte von Impuls über Ozeanflächen mit unterschiedlichen Eisbedeckungsgrad. *Ann. Met.* **31**: 418-419
- HIRCHE, H.-J.** (1995). Überwinterungs- und Fortpflanzungsstrategien arktischer Copepoden. In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 156-165
- HOPPEMA, M. and FAHRBACH, E.** (1995). Carbon dioxide investigations during the Weddell Gyre Study. *International WOCE Newsletter* **18**: 12-15
- KÖNIG-LANGLO, G.** (1995). The Polar BSRN Station Neumayer and Koldewey (Ny Ålesund). *World Climate Research Programme: Baseline Surface Radiation Network: Report on a scientific workshop and a review meeting at ETH Zürich, 1994*: 3-4
- KÖNIG-LANGLO, G.** (1995). Meteorological observation made by the AWI. <http://www.awi-bremerhaven.de/MET/MetInfo.html>
- LEACH H., McCULLOCH, M.E., BAUER, J., DIDDEN, N., DIEMER, J., STAMMER, D., STRASS, V.H. and WOODS, J.D.** (1995). Compendium of SEA-ROVER Long Section in the North Atlantic 1981-87. *Internat. Rep. 1*, Oceanography Laboratories, University of Liverpool: 101 pp.
- LEGENDRE, L., PESANT, S., GOSSELIN, M., KATTNER, G., SCHNEIDER, W. and SMITH, W.O.** (1995). A typology of production regimes in the Northeast Water based on the contribution of size-fractionated phytoplankton to total biomass and production. Final progress report submitted to the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada: 23-29
- LOCHTE, K. and SMETACEK, V.** (1995). Was steuert die Produktivität des Planktons im Südpolarmeer? In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 104-115
- LÜPKES, C. and SCHLÜNZEN, K.H.** (1995). Anwendung eines mesoskaligen Modells mit nichtlokaler Turbulenzschließung auf die konvektive Grenzschicht im Bereich der arktischen Eisgrenze. *Ann. Met.*: **31**: 388-389
- NECHAEV, D.A., YAREMCHUK, M.I., and SCHRÖTER, J.** (1995). A steady state inverse model of the large-scale circulation of the Weddell Sea. *WOCE Newsletter* **21**: 4pp.
- OERTER, H.** (1995). Snow covers and glaciers. In: *National Report on Hydrological Research 1983-1993* (National Committee for Geodesy and Geophysics of the Federal Republic of Germany, ed.). Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn: 66-74
- OERTER, H., BØGGILD, C.E., JUNG-ROTHENHÄUSLER, F. and REEH, N.** (1995). Climate and sea-level change and the implications for Europe: AWI-Contribution for the Final Report for the Commission of the European Communities, contract No. EV5V-CT91-0051: 24 pp.
- PLÖTZ, J., BORNEMANN, H., KLEIN, H.-G. and WELSCH, U.** (1995). Die Weddellrobbe - ein Tauchspezialist in der Hochantarktis. In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 322-331
- PÖRTNER, H.O., FINKE, E., ZIELINSKI, S., WEBBER, D.M. und LEE, P.G.** (1995). Sauerstoffabhängigkeit des Aktivitätsstoffwechsels bei dem Kalmaren, *Lolliguncula brevis*. *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* **88.1**: 123
- PRIEBE, K. und SCHAUMANN, K.** (1995): Schwarzfleckigkeit in der Muskulatur eines Farmlachses *Salmo salar* verursacht durch den dematiazeenartigen Hyphomyzeten *Ochroconis humicola*. *FIMA-Schriftenreihe* **30**: 81-89
- RACHOR, E., HARMS, J., HEIBER, W., KRÖNCKE, I., MICHAELIS, H., REISE, K. und BERNEM, K.-H. Van** (1995). Rote Liste der bodenlebenden Wirbellosen des deutschen Wattenmeer- und Nordseebereichs. *Schr.-R. Landschaftspfl. Natursch.* **44**: 63-74
- REIPSCHLÄGER, A. and PÖRTNER, H.O.** (1995). Säure-Basen-Parameter als Modulatoren von Stoffwechselrate und Stickstoffmetabolismus im Spritzwurm *Sipunculus nudus*. *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* **88.1**: 125



9. Veröffentlichungen

- RINKE, A., DETHLOFF, K., MAISTROVA, V.V., CHRISTENSEN, J.H., BOTZET, M., MACHENHAUER, B.** (1995). Validierung eines regionalen Klimamodells über der Arktis. *Ann. Met.* **31**: 139 - 140
- SARTORIS, F.J. und PÖRTNER, H.O.** (1995). Temperaturinduzierte Interaktion von Säure-Basen- und Ionenregulation bei borealen und arktischen Crustaceen. *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* **88.1**: 129
- SCHNACK-SCHIEL, S.** (1995). Lebensstrategien antarktischer Copepoden. In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 175-179
- RÜGER, H.-J., HELMKE, E., GROSSMANN, S., SCHAUMANN, K. and TAN, T.L.** (1995). Mikrobiologie am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven. *Mitt. DGM* **2-3**: 5-10
- SCHAREK, R. und NÖTHIG, E.-M.** (1995). Das einzellige Plankton im Ozean der Arktis und Antarktis. In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 116-127
- SCHNEIDER W. and BUDEUS, G.** (1995). Watermasses on the northeast Greenland Shelf and their relation to surrounding waters. *Nordic Seas Symp.*, Hamburg, 1995: 181-184
- SCHREMS, O.** (1995). Ozonmessungen in Ny-Ålesund. *AGF-Forschungsthemen* **8**: 31-32
- SCHRÖDER, M., HOPPEMA, M. and WISOTZKI, A.** (1995). Bottom water anomaly at the Subantarctic Front on Greenwich Meridian. *International WOCE Newsletter* **18**: 10-12
- SEISS, G.** (1995). A steady state solution of the barotropic equations, the Phi-Psi Model. *Ocean Modelling* **108**: 5-6
- SHELEKHOVA, E.S., NÜRNBERG, D., WAHSNER, M., LEVITAN, M.A. and PAVLIDIS, Yu.A.** (1995). Distribution of clay minerals in the surface layer of bottom sediments of the south-western part of the Kara Sea. *Oceanology* **35** (3): 435-439
- TILZER, M.** (1995). Primärproduktion im Südpolarmeer: Die Bedeutung tiefer Wassertemperaturen für Produktivität und Wachstum des Phytoplanktons. In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 147-153
- TÜG, H. und HANKEN, T.** (1995). Die Mikrokanalplatte als photonenzählender Detektor. *Hamamatsu News* **1/95**: 8
- YAREMCHUK, M.J., NECHAEV, D.A. and SCHRÖTER, J.** (1995). A variational analysis of WOCE repeat section SR4. *WOCE Newsletter* **21**: 4pp.
- WACHTER, B. De and PÖRTNER, H.O.** (1995) A signal function for lactate in the crab *Carcinus maenas*. *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* **88.1**: 76
- WACHTER, B. De and PÖRTNER, H.O.** (1995) A signal function for lactate in the shore crab, *Carcinus maenas*. *Physiol. Zool.* **68**: 127
- WIENCKE, C.** (1995). Biologie antarktischer Makroalgen. In: *Biologie der Polarmeere: Erlebnisse und Ergebnisse* (I. Hempel, G. Hempel, Hrsg.). G. Fischer, Jena: 275-281
- ZILITINKEVICH, S.** (1995). Convection and heat/mass transfer in atmospheric models. In: *HIRLAM 3 Workshop on Physical Parametrization*, Oslo, 1994. Norrköping: 15-17
- ZILITINKEVICH, S.** (1995). Convection and heat mass transfer in the atmospheric surface layer. In: *11th Symp. on Boundary Layers and Turbulence*, 1995. AMS: 49-50
- ZILITINKEVICH, S.** (1995). Coherent structure of convection and revision of conventional similarity theory for the atmospheric surface layer turbulence. In: *Reprints 21st NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and Its Application*, Baltimore, MD, USA, 1995. AMS: 238-245
- ZILITINKEVICH, S.** (1995). Scaling for convective boundary layers. In: *Wind Climate in Cities*, NATO ASI Series, Series E, Applied Sciences, **277**, Kluwer, Dordrecht: 67-79
- ZILITINKEVICH, S.** (1995). Non-local turbulent transport: pollution dispersion aspects of coherent structure of convective flows. In: *Air Pollution III, vol. 1, Air pollution theory and simulation* (H. Power, N. Moussiopoulos, C.A. Brebbia, eds.). Computational Mechanics Publ., Southampton, Boston: 53-60
- ZILITINKEVICH S.** (1995). Similarity and scaling for convective boundary layers. In: *Air pollution modelling and its application* (S.E. Gryning, M.M. Millan, eds.). Plenum, New York and London: 223-234

*I. Personal*

(Stand 31. Dezember 1995)

*Direktorium*

Tilzer, Prof. Dr. Max  
 Paulenz, Dr. Rainer  
 Kreuzer, Gisela  
 Mahnkopf, Sigrid

*Wissenschaftlicher Bereich*

Abelmann-Gersonde,  
 Dr. Andrea  
 Albers, Carola  
 Arntz, Prof. Dr. Wolf  
 Augstein, Prof. Dr. Ernst  
 Baranski, Stanislaw  
 Barwich, Elke  
 Bathmann, Dr. Ulrich  
 Baumann, Dr. Marcus  
 Beckmann, Dr. Aike  
 Behrends, Marion  
 Berberich, Doris  
 Beyer, Kerstin  
 Bijma, Dr. Jelle  
 Birnbaum, Gerit  
 Bluhm, Dr. Hartmut  
 Bluszcz, Thaddäus  
 Bock, Ute  
 Bochert, Axel  
 Boetius, Antje  
 Bornemann, Dr. Horst  
 Borowski, Christian  
 Bracher, Astrid  
 Bratrich, Christine  
 Bremer, Renate  
 Brey, Dr. Thomas  
 Bruns, Tatjana  
 Buchner, Tanja  
 Bülten, Jutta  
 Budéus, Dr. Gereon  
 Burger, Stefan  
 Burkhardt, Steffen  
 Buschmann, Alexander  
 Bussmann, Dr. Ingeborg

Cisewski, Boris  
 Cisneros, Dr. Miguel  
 Cohrs, Wolfgang  
 Cordelair, Ruth  
 Crawford, Dr. Richard  
 Dahm, Dr. Corinna  
 Damm, Dr. Ellen  
 Damm, Michael  
 Dauelsberg, Anke  
 Deubel, Hendrik  
 Dieckmann, Dr. Gerhard  
 Diekmann, Dr. Bernhard  
 Dijk, Dr. Peter van  
 Döscher, Dr. Ralf  
 Drebing, Wolfgang  
 Dubischar, Corinna  
 Dutz, Jörg  
 Eckstaller, Dr. Alfons  
 Ehrich, Christa  
 Eicken, Dr. Hajo  
 Fahl, Dr. Kirsten  
 Fahrbach, Dr. Eberhard  
 Fechner, Dr. Notker  
 Firestone, Dr. John  
 Fischer, Dr. Holger  
 Fitznar, Hans Peter  
 Fleischmann, Dr. Klaus  
 Frank, Guido  
 Freese, Dietmar  
 Freitag, Johannes  
 Frenzel, Andreas  
 Friedrich, Jana  
 Frische, Dr. Andrea  
 Fröhlking, Rita  
 Fütterer, Prof. Dr. Dieter  
 Gerdes, Dr. Dieter  
 Gerdes, Dr. Rüdiger  
 Gerland, Dr. Sebastian  
 Gersonde, Dr. Rainer  
 Giese, Heide  
 Gleitz, Dr. Markus  
 Goerke, Dr. Helmut  
 Gohl, Dr. Karsten  
 Gorny, Dr. Matthias  
 Grobe, Dr. Hannes  
 Grosfeld, Dr. Klaus  
 Grossmann, Dr. Sönnke  
 Gutt, Dr. Julian  
 Haas, Christian  
 Haese, Ralf  
 Hagen, Dr. Ricky  
 Hamm, Christian  
 Hardewig, Dr. Iris  
 Harder, Markus  
 Harrigfeld, Ingrid  
 Hartmann, Carmen  
 Hartmann, Dr. Jörg  
 Heidland, Dr. Klemens  
 Heinz, Dr. Gerhard  
 Helmke, Dr. Elisabeth  
 Hempel, Dr. Ludwig  
 Heras, Dr. Miriam de las  
 Heye, Sigrid  
 Heyen, Britta  
 Hillenbrand, Claus-Dieter  
 Hinz, Friedel  
 Hirche, Dr. Hans-Jürgen  
 Hirse, Timo  
 Höreth, Michael  
 Hoffmann, Christel  
 Hofmann, Annette  
 Hofmann, Jörg  
 Hofmann, Dr. Matthias  
 Höltzen, Heike  
 Hollmann, Beate  
 Hoppe, Ilka  
 Hoppmann, Bernd  
 Hoppema, Dr. Mario  
 Hunewinkel, Thomas  
 Huybrechts, Dr. Philippe  
 Iarentchouk, Dr. Alexei  
 Jaeschke, Andrea  
 Janisch, Silvia  
 Jeskulke, Karen  
 Jokat, Dr. Wilfried  
 Jürgens, Jutta  
 Jung-Rothenhäusler, Friedrich  
 Kattner, Dr. Gerhard

Kipfstuhl, Dr. Josef  
 Kirchhoff, Berit  
 Klaas, Christine  
 Klages, Claudia  
 Klages, Christian  
 Klappstein, Inge  
 Kleefeld, Christoph  
 Klein, Boris  
 Klöser, Dr. Heinz  
 Knies, Jochen  
 Knust, Dr. Rainer  
 Köhler, Gertrud  
 König-Langlo, Dr. Gert  
 Kolatschek, Josef  
 Kooistra, Dr. Wiebe  
 Kottmeier, Dr. Christoph  
 Kowalke, Jens  
 Krause, Prof. Dr. Gunther  
 Kreyscher, Martin  
 Kriews, Dr. Michael  
 Kuhn, Dr. Gerhard  
 Kühn, Stefanie  
 Kühne, Stephan  
 Kukert, Helmut  
 Kunsch, Brunhilde  
 Lambrecht, Astrid  
 Legefeux, Françoise  
 Lensch, Norbert  
 Lobbes, Jörg  
 Lohmann, Gerrit  
 Loose, Bernd  
 Lorenzen, Christiane  
 Lücker, Marianne  
 Lüdemann, Jens  
 Lukait, Ingrid  
 Lüpkes, Dr. Christof  
 Mackensen, Dr. Andreas  
 Mädler, Annegret  
 Martens, Hartmut  
 Martin, Dr. Thomas  
 Mascher, Almuth  
 Mayer, Christoph  
 Medlin, Dr. Linda  
 Metz, Cornelia

Meyer, Angelika  
Meyer, Günter  
Meyer, Dr. Uwe  
Miller, Prof. Dr. Heinrich  
Minikin, Dr. Andreas  
Mironov, Dr. Dimitrii  
Monk, Jürgen  
Mudersbach, Helga  
Mühlebach, Anneke  
Müller, Annegret  
Müller, Christian  
Müller, Claudia  
Niederjasper, Fred  
Niessen, Dr. Frank  
Nitsche, Frank-Oliver  
Nixdorf, Dr. Uwe  
Nöthig, Dr. Eva-Maria  
Oelke, Christoph  
Oerter, Dr. Hans  
Ohm, Klaus  
Olbers, Prof. Dr. Dirk  
Orths, Axel  
Pahlow, Markus  
Pauer, Dr. Frank  
Peil, Dr. Stefan  
Peters, Nicole  
Pichler-Dieckmann, Claudia  
Plötz, Dr. Jochen  
Plugge, Rainer  
Pörtner, Prof. Dr. Hans-Otto  
Pohl, Mario  
Poltermann, Michael  
Rachor, Dr. Eike  
Ramdohr, Sven  
Rebhan, Dr. Helge  
Reipschläger, Anke  
Rhodes, Helga  
Riebesell, Dr. Ulf  
Richter, Klaus-Uwe  
Riegger, Lieselotte  
Riemann, Dr. Franz  
Rohardt, Gerd  
Rudjakov, Dr. Juri  
Rüger, Dr. Hans-Jürgen

Rutgers van der Loeff,  
Dr. Michael  
Sablotny, Burkhard  
Sartoris, Dr. Franz-Josef  
Schäfer, Dr. Heinz-Jürgen  
Schaumann, Dr. Karsten  
Schenke, Dr. Hans-Werner  
Scherzinger, Till  
Schiel, Dr. Sigrid  
Schlindwein, Vera  
Schlitzer, Dr. Reiner  
Schöne, Tilo  
Schönfeld, Jutta  
Schrens, Prof. Dr. Otto  
Schröder, Dr. Michael  
Schrüter, Dr. Jens  
Schütt, Ekkehard  
Schwager, Matthias  
Schwake, Cornelia  
Schwarz, Helga  
Seebeck, Michael  
Seisel, Sabine  
Seiß, Guntram  
Sieger, Dr. Rainer  
Siebold, Martina  
Siemer, Dr. Andreas  
Smetacek, Prof. Dr. Victor  
Soltwedel, Dr. Thomas  
Sommer, Angela  
Starmans, Andreas  
Stein, Dr. Rüdiger  
Steinmetz, Richard  
Steinsund, Dr. Per Ivar  
Stiller, Michael  
Stölting, Ilsetraut  
Strass, Dr. Volker-H.  
Strohscher, Birgit  
Studinger, Michael  
Stürcken-Rodewald, Martha  
Sündermann, Marika  
Tan, Dr. Tjhing-Lok  
Thiel, Prof. Dr. Hjalmar  
Thomzik, Renate  
Tibcken, Michael

Thorsteinsson, Thorstein  
Traue, Gaby  
Trefzer, Ulrich  
Tüg, Dr. Helmut  
Uenzelmann-Neben,  
Dr. Gabriele  
Unverricht, Sieglinde  
Valero-Delgado, Fernando  
Viehoff, Eva  
Völker, Dr. Christoph  
Wahsner, Dr. Monika  
Walter, Hans-Jürgen  
Wamser, Dr. Christian  
Warncke, Torsten  
Warnkroß, Marianne  
Weber, Dr. Kurt  
Weide, Gerold  
Weigel, Ursula  
Weissenberger, Dr. Jürgen  
Wellbrock, Ursula  
Weller, Dr. Rolf  
Wenzel, Dr. Manfred  
Wiencke, Dr. Christian  
Wisotzki, Andreas  
Witte, Hannelore  
Wolf-Gladrow, Dr. Dieter  
Woodgate, Dr. Rebecca  
Wrieden-Buerfeind, Dr. S.  
Zeebe, Richard  
Zielinski, Dr. Ulrich  
Zielinski, Susanne  
Zou, Dr. Jiangsheng  
Zwierz, Dr. Marek

*Geschäftsstelle des Wissen-  
schaftlichen Beirats  
der Bundesregierung  
Globale Umweltver-  
änderungen (WBGU)*  
Schulz-Baldes,  
Prof. Dr. Meinhard  
Deloch, Heinke  
Liebert, Ursula  
Loose, Dr. Carsten  
Pilardeaux, Dr. Benno

Schäfer, Barbara  
Schneider-Kremer, Martina

*Persönliche Assistenten  
der Beiratsmitglieder*

Büttner, Sebastian  
Fromm, Oliver  
Köbber, Birgit  
Lass, Wiebke  
Schmidt, Dr. Heike  
Lienenkamp, Roger  
Wink, Rüdiger  
Wöhler, Dr. Ingo

*Logistik*

Ahammer, Heinz  
Chiaventone, Birgit  
Drücker, Cord  
El Naggar, Dr. Saad El Dine  
Janneck, Jürgen  
Kohnen, Dr. Heinrich  
Kuhlmann-Treu, Beate  
Malitz, Gerhard  
Meyer, Mathias  
Müller, Norbert  
Nolting, Michael  
Sanders, Andreas  
Walter, Marianne  
Weippert, Ewald  
Weynand, Markus  
Witt, Ralf  
Wohltmann, Holger  
Woriescheck, Klaus  
Ziffer, Albert

*Verwaltung*

Audebert, Catherine  
Davidis, Edith  
Feuster, Astrid  
Fröhlich, Kirsten  
Gruberbauer, Monika  
Hornke, Rudolf  
Janßen, Jürgen  
Kalina, Marion  
Kappmeier, Angela  
Karic-Fazlic, Vesna

Kohnke, Christina  
 Krämer, Alexandra  
 Kröhnke-Geils, Antje  
 Kück, Liane  
 Künker, Jutta  
 Meinardus, Beate  
 Mühlstädt, Dorothee  
 Müller, Heino  
 Müller, Renate  
 Niess, Barbara  
 Onken, Heike  
 Ostermann, Silke  
 Plenge, Helmut  
 Pleyn, Dieter  
 Ritsch, Elke  
 Scharsig, Sandra  
 Siegmund, Ralf

#### **Allgemeine Dienste**

Böge, Richard  
 Bütcke, Uwe  
 Dunker, Erich  
 Ferber, Thorsten  
 Goebel, Ursula  
 Göcke, Elke  
 Janßen, Else  
 Laboda, Reinhold  
 Lemke, Gisela  
 Mante, Dieter  
 Pollnick, Lothar  
 Praß, Antje  
 Rastedt, Günter  
 Senkbeil, Elna  
 Sibberns, Reinhard  
 Siebelts, Hannelore  
 Urban, Jens  
 Weidmann, Eva  
 Zasowski, Bärbel

#### **Zentrale Dienste**

Burhop, Dörte  
 Diepenbroek, Dr. Michael  
 Dodge, Dr. Christopher  
 Fritzschn, Dr. Bernadette  
 Gerchow, Peter

Giermann, Dr. Günter  
 Gomez, Michael-John  
 Hiller, Dr. Wolfgang  
 Kersken, Dr. Hans-Peter  
 Kosinski, Jörg  
 Krause-Babst, Hans  
 Krause, Dr. Reinhard  
 Kurzbuch, Barbara  
 Laetsch, Brigitte  
 Liegmahl, Dr. Herbert  
 Makedanz, Siegfried  
 Marx, Dr. Beate  
 Möring, Heinz  
 Nixdorf, Heike  
 Pauls, Margarete  
 Pfeiffenberger-Pertl, Dr. Hans  
 Reddig, Sanne  
 Reinke, Dr. Manfred  
 Ritzmann, Frauke  
 Sbresny, Regine  
 Siems, Uwe  
 Sommerfeld, Jaqueline  
 Schlüter, Jens-Michael  
 Schulz, Arne  
 Voß, Jutta  
 Wübber, Dr. Chresten

#### **Auszubildende**

Geffken, Kerstin  
 Jüchtern, Ines  
 Lemke, Dennis  
 Martens, Holger  
 Neumann, Stefan  
 Ratje, Andreas

#### **Überwinterner AWI**

##### **Antarktis-Station Neumayer 1994 - 1996**

Loewenstein, Dr. Johannes  
 Günther, Sven  
 Hofinger, Stephan  
 Rogenhagen, Johannes  
 Schmidt, Torsten

##### **1995 - 1997**

Schubert, Dr. Helga

Arck, Martin  
 Gaw, Viola  
 Schmidt, Anke  
 Schmidt, Dr. Thomas

#### **Überwinterner**

##### **Arktisstation Spitzbergen**

Beninga, Ingo  
 Lilischkis, Rainer  
 Schütt, Hauke

#### **Beurlaubte**

##### **Mitarbeiter/innen**

Babst, Ulrike  
 Finke, Lars-Peer  
 Kölm, Jennifer  
 Langreder, Christina  
 Müller, Dr. Marina  
 Röben, Heike  
 Scharek, Dr. Renate  
 Stern, Martina  
 Weissenberger, Dr. Jürgen  
 Wiebe-Kawaletz, Susanne

##### **Forschungsstelle Potsdam**

Abegg, Christoph  
 Bastian, Ute  
 Becker, Edo  
 Beeskow, Bettina  
 Beyerle, Dr. Georg  
 Biele, Jens  
 Boike, Julia  
 Büttner, Heike  
 Claudius, Eduard  
 Debatin, Siegrid  
 Dethloff, Dr. Klaus  
 Ebel, Tobias  
 Eggert, Uwe  
 Eulenburg, Antje  
 Fritzsche, Dr. Diedrich  
 Gathen, Dr. Peter v.d.  
 Gernandt, Dr. Hartwig  
 Gräning, Sigrun  
 Graeser, Jürgen  
 Habel, Christina  
 Hagedorn, Dr. Birgit

Hahne, Dr. Jürgen  
 Harwart, Stephanie  
 Hebestadt, Ines  
 Henschel, Helga  
 Herber, Dr. Andreas  
 Hermichen, Dr. Wolf-Dieter  
 Hoops, Erich  
 Hubberten,  
 Dr. Hans-Wolfgang  
 Kienel, Dr. Ulrike  
 Kiewitt, Doreen  
 Kopsch, Conrad  
 Kulbe, Thomas  
 Lehmann, Dr. Ralph  
 Leutert, Beate  
 Litz, Christine  
 Meier, Arndt  
 Melles, Dr. Martin  
 Müller, Gerald  
 Nagel, Dagmar  
 Neuber, Dr. Roland  
 Notholt, Dr. Justus  
 Oberhänsli, Dr. Hedwig  
 Rachold, Dr. Volker  
 Rauschert, Dr. Martin  
 Rex, Markus  
 Rinke, Dr. Annette  
 Sass, Ingeborg  
 Scheuch, Dr. Patrick  
 Schönicke, Lutz  
 Schwab, Markus  
 Schwarz, Dr. Günter  
 Siegert, Dr. Christine  
 Stapke, Maren  
 Stoof, Günter  
 Struschka, Birgit  
 Vannahme, Gerald  
 Voskuhl, Jeanine  
 Wand, Dr. Ulrich  
 Wessel, Silke  
 Ziegenspeck, Katja  
 Zielke, Artur

## Anhang II

### Wissenschaftliche Veranstaltungen im AWI

- 1994
5. - 6.1. 10.2. Wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen AWI und MMBI (Murmansk Marine Biological Institute)  
Planungstreffen für ARK 95
14. - 18.3. „Arctic EPOS“ - (SEAS). Auswertung der Expedition ARK VIII/2 von 1991, ESF-Förderung.
13. - 14.4. Benthos-Kolloquium
9. - 10.5. Sitzung von SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research)
- 18.5. Sitzung des „Polarstern“-Nutzerbeirats
8. - 10.6. Begutachtung und Sitzung des Wissenschaftlichen Beirats
- 19.6. Tag der offenen Tür auf FS „Polarstern“
- 20.6. Planungstreffen für ANT XII/4
11. - 12.10. Kolloquium im Schwerpunktprogramm „Antarktisforschung mit vergleichenden Studien in arktischen Eisgebieten“ der DFG zum Thema „Glaziologie - Eishaushalt von Inlandeis, Schelfeis und Meereis“
- 12./13.10. DFG-Planungskolloquium über Glaziologische Arbeiten auf dem Filchner-Ronne-Schelfeis und im Rahmen von EPICA (im Rahmen des neuen „Koordinierten Programms Antarktisforschung der DFG“ (Nachfolger des bisherigen Schwerpunktprogramms Antarktisforschung)
26. - 28.10. Klausurtagung des Ozonforschungsprogramms des BMFT in Bremerhaven (130 Teilnehmer)
7. - 8.11. MAST III PROFILE-Workshop (Processes in Regions of Freshwater Influence)
15. - 16.12. Project Workshop ESMOS/Arctic in Potsdam (European Stratospheric Monitoring Stations in the Arctic).
- 1995
18. - 19.1. Treffen der Leiter der Internationalen Büros
30. - 31. 1. Prüfungsgruppe der DFG zum Schwerpunkt Antarktisforschung
22. - 24.2. Vorbereitungssitzung der „Polarstern“-Reise ARK XIII/3
9. - 10.3. 14th Meeting of the Arctic Ocean Science Board. Abschluß-Seminar GAP 95 - einer Expedition mit der „Akademik Boris Petrov“.
- 15.3. Planungssitzung der „Polarstern“-Reise ARK XI/2
18. - 19. 4. Berufungskommission und Vorträge für die C3-Stelle „Physik des Ozeans“
24. - 25.4. Sitzung der IOC Consultative Group on Ocean Mapping
- 3.5. Potsdam: Ny-Ålesund Science Managers Committee (NySMAC) - 2nd Committee Meeting, Reguläres Treffen zur Beratung und Koordinierung der internationalen Forschungsaktivitäten in Ny-Ålesund, Spitzbergen.
2. - 3.5. Potsdam: Workshop SESAME-Match 1994/95, Ergebnisse der koordinierten Ozonsondierungen im Winter 1995/96 im Rahmen des „Second European Stratospheric Arctic and Mid-latitude Experiment“.
4. - 5.5. Potsdam: 1st Ny-Ålesund Seminar Vorstellung Wissenschaftlicher Ergebnisse der Forschungsaktivitäten in Ny-Ålesund.
- 10.5. Sitzung des „Polarstern“-Nutzerbeirats
- 31.5. - 2.6. Querschnittsbegutachtung und Sitzung des Wissenschaftlichen Beirats
1. - 3.8. Potsdam (AWI) IPA Global Geocryological Database Workshop
19. - 20.9. ACSYS-Planungssitzung (Arctic Climate System Study)
12. - 13.10. DFG-Planungskolloquium für die „Polarstern“-Expedition ANT XIV/3 und die Vorerkundung Dronning Maud Land (EPICA).
20. - 21.10. 63. Sitzung des Forschungskollegiums Physik des Erdkörpers e. V. (FKPE)

## Anhang III

### Diplomarbeiten in der Sektion Biologie I

- Hendrik Deubel, 1995** Tiefenzonierung von Makrozoobenthos im Weißen Meer - unter Berücksichtigung der Zoo-geographie. Universität Marburg
- Elmar Finke, 1994** Stoffwechsel und intrazelluläre Säure-Basen-Regulation des Kalmaren *Lolliguncula brevis* bei verschiedenen Schwimgeschwindigkeiten. Universität Konstanz
- Ilka Hoppe, 1994** Vertikalwanderung von Meroplankton in der Deutschen Bucht. Universität Bremen
- Sandra Jaklin, 1994** Räumlich-zeitliches Vorkommen makrobenthischer Driftfauna im Gebiet der Gröninger Plate (Spiekerooger Rückseitenwatt). Universität Bremen
- Boris Klein, 1994** Zur Temperaturabhängigkeit physiologischer Prozesse bei *Arenicola marina* (L.): Energiestoffwechsel und Säure-Basen-Haushalt. Universität Düsseldorf
- Ulrike H. Lüder, 1995** Akklimatisierung der Photosynthese an verschiedene Temperatur- und Lichtbedingungen bei der Makroalge *Ulva lactuca* LINNAEUS (Chlorophyceae). Universität Bremen
- Karin Reinhard, 1995** Makrobenthische Driftfauna im Spiekerooger Rückseitenwatt: Vergleich 1993/1994. Universität Hamburg
- Anja Schanz, 1995** Untersuchungen zur Chemorezeption nekrophager Lysianassiden (Crustacea; Amphipoda) der Arktis am Beispiel von *Anonyx nugax* (Phipps, 1774). Universität Bremen
- Alexander Schröder, 1995** Das Makrozoobenthos am West-Gamma-Wrack in der äußeren Deutschen Bucht – Zum Fischereieinfluß auf eine Bodenfaunagemeinschaft der Nordsee. Universität Bonn
- Till Scherzinger, 1995** Zum Lebenszyklus des calanoiden Copepoden *Metridia longa* (Lubbock) in der zentralen Grönlandsee. Freie Universität Berlin
- Katja Tholen, 1995** Die spätherbstliche Verbreitung von Zoo- und Phytoplankton im Weddellmeer, Antarktis. Universität Bremen
- Jens Ulleweit, 1995** Zur Ökologie zweier Standfischarten, der Aalmutter (*Zoarcis viviparus* L.) und des Butterfisches (*Pholis gunnellus* L.) aus dem Niedersächsischen Wattenmeer. Universität Bremen
- Ute Volbehr, 1995** Zur Ökologie und Vergesellschaftung von *Pariambus typicus* und *Ophiura*-Arten in der Deutschen Bucht. Universität Heidelberg
- Susanne Zielinski, 1994** Temperaturabhängigkeit des Stoffwechsels von *Sipunculus nudus* unter besonderer Berücksichtigung des Säure-Basen-Haushaltes. Universität Düsseldorf

### Doktorarbeiten in der Sektion Biologie I

- Horst Bornemann, 1994** Zum Fraßverhalten der Weddellrobbe (*Leptonychotes weddellii*) in der Antarktis. Freie Universität Berlin, Veterinärmedizin
- Corinna Dahm, 1995** Ökologie und Populationsdynamik antarktischer Ophiuroiden (Echinodermata). Universität Bremen
- Georg Hanke, 1994** Vorkommen, Verteilung und Umsatz biogener Spurenstoffe in antarktischen Gewässern. Universität Bremen
- Katrin Iken, 1995** Trophische Beziehungen zwischen Makroalgen und Herbivoren in der Potter Cove (King George - Insel, Antarktis). Universität Bremen

- Barbara Niehoff, 1995** Gonadenentwicklung und Eiproduktion dreier Calanus-Arten (Calanoida, Copepoda): Freilanduntersuchungen, Experimente und Histologie. Universität Bremen
- Michael Stiller, 1995** Verbreitung und Lebensweise der Aphroditiden und Polynoiden (Polychaeta) im östlichen Weddellmeer und im Lazarewmeer (Antarktis). Universität Bremen
- Gabriele Weykam, 1995** Photosynthese-Charakteristika und Lebensstrategien antarktischer Makroalgen. Universität Bremen

#### ***Diplomarbeiten in der Sektion Biologie II***

- Corinna Dubischar, 1994** Zur Nahrungsaufnahme einiger antarktischer Zooplankter: Feldbeobachtungen und Experimente. Universität Bremen
- Christian Hamm, 1994** Der Einfluß feiner lithogener Partikel auf Bildung und Eigenschaften von Phytoplanktonaggregaten. Universität Bremen
- Markus Pahlow, 1995** Ein biologisch physikalisches Modell des Einflusses der Kettenbildung auf die Nährstoffversorgung von Diatomeen. Universität Bremen

#### ***Doktorarbeiten in der Sektion Biologie II***

- Humberto González, 1994** Die Rolle von Herbivorenkot im marinen Milieu: Verteilung, Zusammensetzung und Schicksal in Abhängigkeit von biotischen und abiotischen Umweltfaktoren. Universität Bremen
- Sönke Grossmann, 1995** Verteilung, Entwicklung und Produktivität von Bakterien im Meereis der Antarktis (Weddellmeer). Universität Bremen
- Doris Berberich, 1995** Die planktische Foraminifere Neogloboquadrina pachyderma (Ehrenberg) im Weddellmeer, Antarktis. Universität Bremen
- Stefanie Kühn, 1995** Untersuchungen zum Befall von Phytoplankton durch parasitoiden Protisten (Nordsee). Universität Bremen

#### ***Habilitationen in der Sektion Biologie II***

- Karin Lochte, 1994** Mikrobieller Abbau organischer Substanz in der Bodengrenzschicht der Tiefsee. Universität Bremen

#### ***Diplomarbeiten in der Sektion Meeresgeologie***

- Claus-Dieter Hillenbrand, 1995** Spätquartäre Sedimentationsprozesse am Kontinentalrand des nordöstlichen Bellingshausenmeeres. Universität Würzburg
- Bernd Hoppmann, 1995** Herstellung des Kartenblattes 567 aus dem Kartenwerk 'Alfred Wegener Institute - Bathymetric Charts of the Weddell Sea' (AWI BCWS). Fachhochschule Karlsruhe
- Jochen Knies, 1995** Spätquartäre Sedimentation am Kontinentalhang nordwestlich Spitzbergens. Der letzte Glazial/Interglazial-Zyklus. Universität Giessen
- Claudia Müller, 1995** Spätquartäre Sedimentationsprozesse in der östlichen Framstraße. Universität Münster
- Eric Rottmann, 1995** Analyse von GPS-Präzisionsmessungen nach Einführung des Y-Codes. Fachhochschule Hamburg
- Christoph Schreyer, 1995** Herstellung einer geowissenschaftlichen Stationskarte des Scoresby Sund mit CARIS. Fachhochschule München

### *Doktorarbeiten in der Sektion Meeresgeologie*

- Wolfgang Bonn, 1995* Biogenopal und biogenes Barium als Indikatoren für spätquartäre Produktivitätsänderungen am antarktischen Kontinentalrand. Universität Bremen
- Hans-Stefan Niebler, 1995* Rekonstruktionen von Paläo-Umweltparametern anhand von stabilen Isotopen und Faunenvergesellschaftungen planktischer Foraminiferen im Südatlantik. Universität Bremen
- Gerhard Schmiedl, 1994* Rekonstruktion der spätquartären Tiefenwasserzirkulation und Produktivität im östlichen Südatlantik anhand von benthischen Foraminiferenvergesellschaftungen. Universität Bremen
- Carsten Schubert, 1995* Organischer Kohlenstoff in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans: Terrigener Eintrag und marine Produktivität. Universität Bremen
- Jutta Wollenburg, 1995* Benthische Foraminiferenfaunen als Wassermassen-, Produktions- und Eisdriftanzeiger im Arktischen Ozean. Universität Bremen

### *Diplomarbeiten in der Sektion Geophysik/Glaziologie*

- Frank Wilhelms, 1995* Leitfähigkeits- und Dichtemessungen an Eisbohrkernen. Universität Bonn

### *Doktorarbeiten in der Sektion Geophysik/Glaziologie*

- Christian Hübscher, 1994* Krustenstrukturen und Verlauf des Kontinentalrandes im Weddellmeer/Antarktika. Universität Bremen
- Uwe Meyer, 1995* Untersuchung struktureller Elemente des südöstlichen Weddellmeeres/Antarktis auf der Basis mariner Potentialfelddaten. Universität Bremen
- Holger Mandler, 1995* Die Struktur der Erdkruste im Bereich des Scoresby Sund, Ostgrönland: Ergebnisse refraktionsseismischer und gravimetrischer Untersuchungen. Universität Bremen

### *Diplomarbeiten in der Sektion Physik I*

- Markus Harder, 1994* Erweiterung eines numerischen dynamisch-thermodynamischen Meereismodells zur Erfassung deformierten Eises. Universität Bremen
- Stephan Mai, 1995* Beziehungen zwischen geometrischer und aerodynamischer Oberflächenrauigkeit arktischer Meereisflächen. Universität Bremen
- Haika Fischer, 1995* Zur Bestimmung absoluter Strömungsgeschwindigkeiten im Weddellmeer. Universität Kiel
- Dietmar Freese, 1995* Emissions- und Extinktionseigenschaften niedriger Wolken in der arktischen Eisrandzone. Universität Bremen

### *Doktorarbeiten in der Sektion Physik I*

- Holger Fischer, 1995* Vergleichende Untersuchung eines optimierten dynamisch-thermodynamischen Meereismodells mit Beobachtungen im Weddellmeer. Universität Bremen

### *Diplomarbeiten in der Sektion Physik II*

- Werner Brasch, 1995* Stabilitätsuntersuchung der Rayleigh-Bénard-Konvektion im nichtrotierenden und rotierenden Kugelspalt. Universität Bremen
- Richard Zeebe, 1995* Ein eindimensionales thermodynamisches Meereismodell unter Berücksichtigung bio-optischer Eigenschaften. Universität Bremen



### ***Doktorarbeiten in der Sektion Physik II***

- Gerrit Lohmann, 1995*** Stability of the thermohaline circulation in analytical and numerical models. Universität Bremen
- Christoph Völker, 1995*** Barokline Strömungen über periodischer Topographie: Untersuchungen an analytischen und numerischen Modelle. Universität Bremen
- Jörn Behrens, 1995*** Adaptive semi-Lagrange-finite-Elemente-Methode zur Lösung der Flachwassergleichungen. Universität Bremen

### ***Habilitationen in der Sektion Physik II***

- Dieter A. Wolf-Gladrow, 1995*** Gittergase und Gitter-Boltzmann-Gleichungen.

### ***Diplomarbeiten in der Sektion Meeresphysik/ Meßwesen***

- Joachim Schmidt und Axel Maibaum 1994*** Sonnenscheinsimulator. Hochschule Bremen
- Dirk Schulze, 1994*** Automatische Höhenverstellung einer Sensoreinheit. Hochschule Bremen
- Thomas Böhm, 1995*** Ein autonomer Luftfeuchte-Probensammler für den Langzeiteinsatz in polaren Gebieten. Hochschule Emden
- Ralf Holzschuher, 1995*** Entwicklung eines Color-Line-Scanners für die Erdfernerkundung. Hochschule Bremen
- Marcel Kruse, 1995*** Erfassung und Verarbeitung der spektralen Helligkeitsverteilung in einem Photometer. Hochschule Bremen

### ***Diplomarbeiten im Rechenzentrum***

- Martin Dorsch, 1995*** Parallele Rechner und Algorithmen im Projekt „Parallelisierung und Entwicklung numerischer Algorithmen für ozeanische Zirkulationsmodelle. - Konzeptionierung, Entwurf und Implementierung eines Visualisierungsprogrammes für ein Ozeanmodell“. Hochschule Bremerhaven
- Bernd Fröhlich, 1995*** Entwurf einer objektorientierten Datenbank zur Verwaltung von Meßdaten und Vergleich mit dem relationalen System. Universität Bremen

### ***Doktorarbeiten im Rechenzentrum***

- Lutz-Peter Kurdelski, 1994*** Rechnernetze am AWI: Betrachtungen über einen adaptiven wissenschaftlichen Arbeitsplatz. Universität Darmstadt

### ***Diplomarbeiten in der Forschungsstelle Potsdam***

- Henry Rudow, 1994*** Geologische Entwicklung und hydrologische Probleme im Bereich des Südatlantiks. Universität Potsdam.
- Constanze Langner, 1995*** Zur Verteilung von Eisen und Mangan in Porenwässern und Sedimenten der Laptev-See. Universität Hamburg

### ***Habilitationen in der Forschungsstelle Potsdam***

- Hedi Oberhänsli, 1995*** Paläoklimatische und paläozeanographische Entwicklung im Eozän. Universität Tübingen.

## IV. „POLARSTERN“-Expeditionen

<i>Fahrt</i>	<i>Datum</i>	<i>Hafen (an-ab)</i>	<i>Fahrtleiter</i>	<i>Arbeitsgebiet</i>	<i>Wissenschaftliche Disziplinen</i>
ANT XI/2	12.12.93 - 11.01.94	Kapstadt - Punta Arenas	R. Gersonde	Atlantisches Südpolarmeer	Geologie, Sedimentologie, Geochemie
ANT XI/3	14.01.94 - 27.03.94	Punta Arenas - Kapstadt	H. Miller	Bellingshausenmeer, Amundsen-See	Geologie, Biologie, Ozeanographie, remote sensing
ANT XI/4	29.03.94 - 19.05.94	Kapstadt - Kapstadt	G. Kuhn	Maud-/Astrid/ Gunnerus-Rücken, Forster	Geologie, Biologie, Ozeanographie
ANT XI/5	21.05.94 - 17.06.94	Kapstadt - Bremerhaven	O. Schrems	Heimreise	Spurenstoff-/Luftchemie, Meteorologie
ARK X/1	06.07.94 - 15.08.94	Bremerhaven - Tromsø	E. Fahrbach	Ostgrönland-Shelf, Framstraße	Ozeanographie, Biologie
ARK X/2	17.08.94 - 06.10.94	Tromsø - Bremerhaven	H. Hubberten	Ostgrönland, Fjorde und Landoperationen	Geologie, Geophysik, Biologie
ANT XII/1	18.10.94 - 21.11.94	Bremerhaven - Punta Arenas	G. Kattner	Ausreise, Südatlantik	Spurenstoff-/Luftchemie, Physik
ANT XII/2	23.11.94 - 03.01.95	Punta Arenas - Kapstadt	D. Fütterer	Elephant Island, Halbinsel, Neumayer, Halley	Biologie, Ozeanographie
ANT XII/3	05.01.95 - 19.03.95	Kapstadt - Punta Arenas	W. Jokat	südl. Weddellmeer, Halley, Filchner, Drescher, Neumayer	Geophysik, Ozeanographie
ANT XII/4	21.03.95 - 14.05.95	Punta Arenas - Punta Arenas	R. Gersonde	SE-Pazifik, Bellingshausen- meer, Rothera	Geologie, Biologie
ANT XII/5	15.05.95 - 11.06.95	Punta Arenas - Bremerhaven	nil	Heimreise	nil
ARK XI/	10.07.95 - 20.09.95	Bremerhaven - Tromsø	E. Rachor	Kara- und Laptevsee, Murmansk	Biologie, Ozeanographie, Geologie
ARK XI/2	22.09.95 - 29.10.95	Tromsø - Bremerhaven	G. Krause	Grönland-See	Ozeanographie, Biologie, Chemie
ANT XIII/1	09.11.95 - 02.12.95	Bremerhaven - Kapstadt	nil	Ausreise	Ozean-Atmosphärenchemie
ANT XIII/2	04.12.95 - 24.01.96	Kapstadt - Kapstadt	V. Smetacek	Weddellmeer, Neumayer	Biologie, Ozeanographie, Chemie

