



Alfred-Wegener-Institut  
für Polar- und Meeresforschung

Zweijahresbericht 1992/93

Herausgeber:  
Alfred-Wegener-Institut  
für Polar- und Meeresforschung  
Postfach 12 01 61  
Columbusstraße  
D-27568 Bremerhaven  
Telefon (0471) 48 31-0  
Telefax (0471) 48 31-149  
Telex 2 38 695 polar d  
Telegramm: Polar Bremerhaven  
Telemail: Alfred.Wegener/Omnet

Gesamtherstellung:  
Druckhaus Lehe-Nord GmbH  
Langener Landstraße 226  
27578 Bremerhaven  
Telefon (0471) 8 50 21-23

ISSN 0940-4546



Alfred-Wegener-Institut  
für Polar- und Meeresforschung

---

Zweijahresbericht 1992/93

---

# Organe der Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung

(Stand 31. 12. 1993)



## Kuratorium

### Mitglieder

MinDir Dr. J.-B. Mennicken  
(Vorsitzender)  
Staatsrat Prof. Dr. R. Hoffmann  
(Stellvertr. Vorsitzender)  
Prof. Dr. M. Tilzer (bis 30. 10. 1992)  
Herr F. Zander  
Prof. Dr. H.G. Danielmeyer  
(bis 8. 11. 1992)  
Staatsrat Dr. H. Heidorn  
Prof. Dr. P. Hartl (bis 10. 3. 1993)  
Prof. Dr. J. Untiedt (bis 8. 11. 1992)  
Prof. Dr. D. Ehhalt  
MinDir Dr. J. Oesterhelt  
(bis 30. 6. 1992)  
MinDirig G. Möcklinghoff  
(bis 31.5.1992)  
MinR N. Kleeschulte (ab 1. 6. 1992)  
MinR D. Stiepel (im zweijährigen Wechsel  
mit N. Kleeschulte)  
Prof. Dr. H.-J. Schellhuber  
(ab 9. 11. 1992)  
VLRI D. Granow (ab 1. 10. 1992)  
Dipl.-Ing. C. Naber (ab 9. 11. 1992)  
Prof. Dr. J. Benndorf (ab 2. 12. 1992)  
Prof. Dr. Chr. Reigber (ab 11. 3. 1993)

### Beratende Teilnehmer

Prof. Dr. E. Augstein (bis 8. 12. 1992)  
Prof. Dr. G. Hempel (bis 31. 3. 1992)  
Dr. R. Paulenz  
M. Sündermann (bis 15. 4. 1992)  
Prof. Dr. J. Timm  
Prof. Dr. M. Tilzer (ab 1. 11. 1992)  
B. Loose (16. 4. 1992 – 11. 5. 1993)  
Prof. Dr. D. Fütterer (ab 8.12.1992)  
G. Meyer (ab 11. 5. 1993)  
Prof. Dr. H. Miller

## Wissenschaftlicher Beirat

### Mitglieder

Prof. Dr. D. Ehhalt (Vorsitzender)  
Prof. Dr. H.-P. Harjes (bis Oktober 1992)  
(Stellvertr. Vorsitzender)  
Der Präsident der MPG  
Prof. Dr. H.F. Zacher  
Ständiger Vertreter:  
Prof. Dr. K. Hasselmann  
Der Präsident der DFG  
Prof. Dr. W. Frühwald  
Ständiger Vertreter:  
Prof. Dr. Althaus (Mai 1992 – Juni 1993)  
Prof. Dr. Erik Flügel (ab Juli 1993)  
Der Präsident der BGR  
Prof. Dr. M. Kürsten  
Der Leiter der BFA  
Prof. Dr. Schreiber  
Ständiger Vertreter:  
Prof. Dr. G. Hubold  
Der Rektor der Universität Bremen  
Prof. Dr. J. Timm  
Prof. Dr. J. Egger  
Prof. Dr. B.-O. Jansson  
Prof. Dr. H. Oeschger (bis Juli 1993)  
Prof. Dr. E. Süss

### **Direktorium**

#### **Beratende Teilnehmer**

Der Vorsitzende  
des Kuratoriums des AWI  
MinDir Dr. J.-B. Mennicken  
Der Stellvertretende Vorsitzende  
des Kuratoriums des AWI  
Staatsrat Prof. Dr. R. Hoffmann  
Der Direktor des AWI  
Prof. Dr. G. Hempel (bis 31. 3. 1992)  
Prof. Dr. E. Augstein (1. 4. – 31. 10. 1992)  
Prof. Dr. M. Tilzer (ab 1. 11. 1992)  
Der Verwaltungsdirektor des AWI  
Dr. R. Paulenz  
Der Stellvertreter des Direktors des AWI  
Prof. Dr. E. Augstein (bis 8. 12. 1992)  
Prof. Dr. D. Fütterer (ab 8. 12. 1992)  
Der Vorsitzende  
des Wissenschaftlichen Rates des AWI  
Prof. Dr. H. Miller

Prof. Dr. G. Hempel  
(Direktor) (bis 31. 3. 1992)  
Prof. Dr. E. Augstein (Stellvertreter des  
Direktors 1. 4. – 31. 10. 1992)  
Prof. Dr. Tilzer (Direktor ab 1. 11. 1992)  
Dr. R. Paulenz (Verwaltungsdirektor)

### **Wissenschaftlicher Rat**

#### **Mitglieder**

Prof. Dr. H. Miller (Vorsitzender)  
Dr. E. Fahrbach (Stellvertr. Vorsitzender)  
Prof. Dr. W. Arntz  
Prof. Dr. E. Augstein  
Prof. Dr. W. Ernst (bis Ende April 1992)  
Prof. Dr. D. Fütterer  
Dr. H. Grobe  
Dr. W. Hiller  
Dr. H.-W. Hubberten  
Prof. Dr. G. Krause  
Dr. R. Neuber  
Prof. Dr. D. Olbers  
Prof. Dr. O. Schrems (ab Mai 1992)  
Prof. Dr. V. Smetacek  
Dr. K. Weber (ab Mai 1992)

#### **Beratende Mitglieder**

Prof. Dr. G. Hempel (bis 31. 3. 1992)  
Dr. R. Paulenz  
Prof. Dr. M. Tilzer (ab 1. 11. 1992)

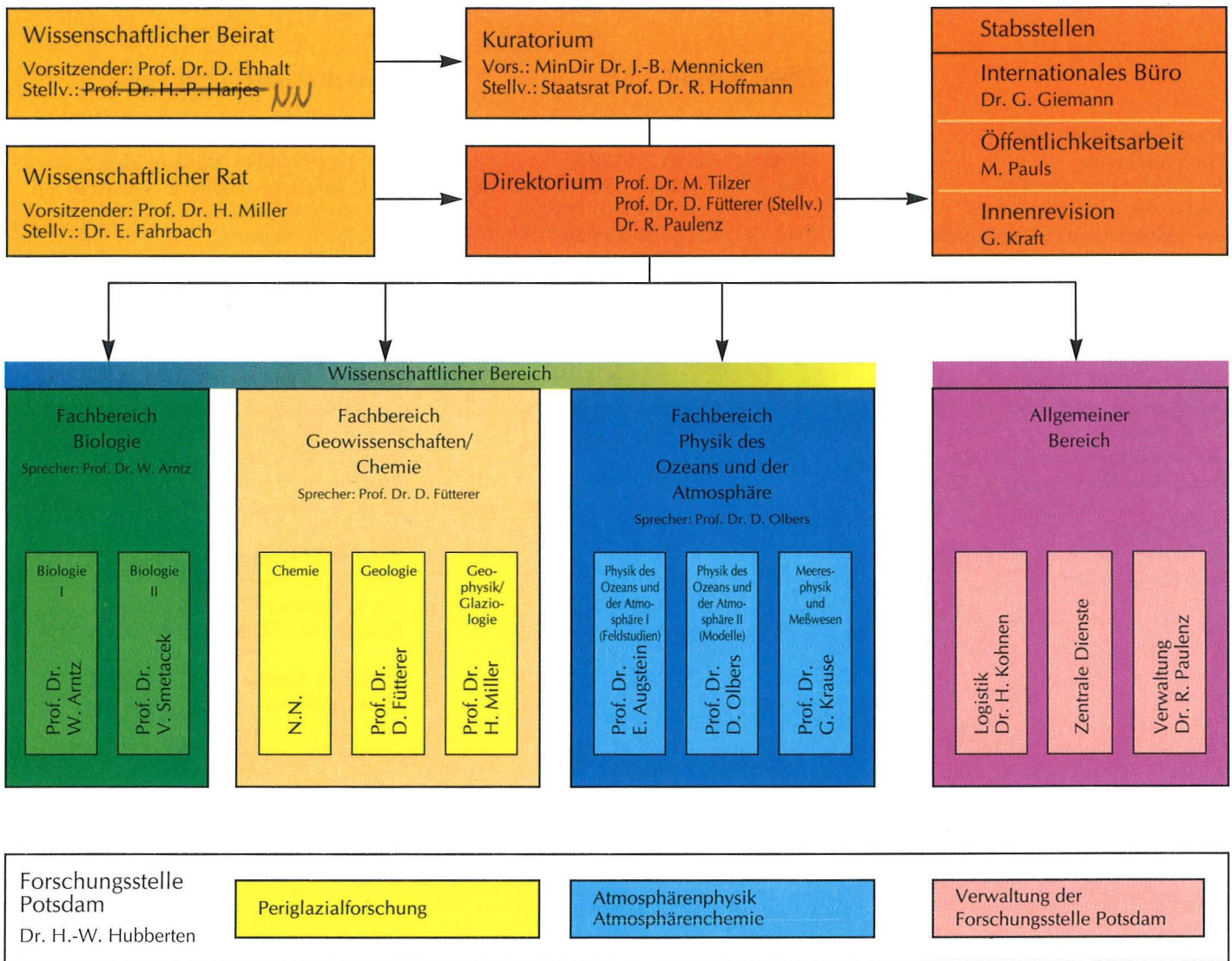
#### **Ständiger Gast**

Dr. H. Kohnen

---

# Organisationsplan des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung

(Stand 31. 12. 1993)



Inhaltsverzeichnis	Seite	Seite	
<b>1. Einleitende Übersicht</b> .....	7	Stimuliert ein globaler Anstieg des Kohlendioxids die marine Primärproduktion? .....	77
<b>2. Nationale und internationale Zusammenarbeit</b> .....	12	Die Beziehung zwischen Huminstoffen und Aminosäuren in polaren Gewässern .....	80
<b>3. Forschungsarbeiten - Expeditionen</b> .....	17	Die Ozonverteilung in der Atmosphäre über dem Atlantik .....	82
3.1 Antarktisexpedition X/2-8 .....	17	Pinatubo-Aerosole und polare stratosphärische Wolken .....	86
3.2 Arktisexpedition IX .....	21	Spurengas-Messungen in der arktischen Stratosphäre während der Polarnacht .....	90
3.3 Antarktisexpedition XI .....	24	Die mittleren vertikalen Ozonverteilungen über Arktis und Antarktis .....	92
3.4 Landexpedition Sibirien .....	27	Eisbewegung und Subglazialtopographie im Umfeld der Schirmacheroase, Ostantarktis .....	96
<b>4. Wissenschaftliche Arbeiten der Sektionen</b> .....	30	Umweltgeschichte der kontinentalen Ostantarktis - aufgezeichnet in Seesedimenten .....	98
4.1 Biologie I (Zoologie) .....	30	Das antarktische Meereis und seine Verbreitung in geologischer Vorzeit - Rekonstruktion und Modellierung .....	102
4.2 Biologie II (Botanik und Mikrobiologie) .....	34	Kalt- und Warmzeiten im Südatlantik anhand benthischer Foraminiferen .....	105
4.3 Chemie .....	38	Terrigener Sedimenteintrag im östlichen Arktischen Ozean .....	109
4.4 Geologie .....	43	Mineralbildung in Sedimenten und Böden der Permafrostzone .....	112
4.5 Geophysik .....	46	Seismische Untersuchungen im eurasischen Becken (Arktischer Ozean) .....	116
4.6 Physik des Ozeans und der Atmosphäre I .....	48	Untersuchungen zum Massenhaushalt des Inlandeises in Nordostgrönland .....	120
4.7 Physik des Ozeans und der Atmosphäre II .....	51	Wassermassenbildung im Storfjord - ein Modell arktischer Schelfgebiete .....	123
4.8 Meeresphysik und Meßwesen .....	53		
4.9 Forschungsstelle Potsdam .....	56		
<b>5. Ausgewählte Forschungsthemen</b> .....	61		
Die Entwicklung von Kaltwasser-Makroalgen .....	62		
Die Biodiversität des antarktischen Benthos .....	64		
Weddellrobben - Tieftaucher in der Hochantarktis .....	66		
Die weltweit verbreitete Planktonalge Phaeocystis: Untersuchungen zu physiologischen und molekularen Unterschieden .....	69		
Die Entwicklung von Algen- und Bakteriengemeinschaften im Meereis .....	73		
Zooplanktonkot in der Arktis: Nahrungsgrundlage im Pelagial oder Transportvehikel bei der Sedimentation? .....	75		

	Seite		Seite
Atmosphärische Rollenkonvektion in der Framstraße .....	126	<b>Anhang</b> .....	165
ERS-1 Radaraufnahmen des antarktischen Meereises .....	130	I Personal.....	166
Der Einfluß von Algen auf die physikalischen Prozesse im Meereis: ein Modell .....	132	II Wissenschaftliche Veranstaltungen .....	170
Die Bestimmung der Zirkulation im Weltmeer aus hydrographischen Daten .....	134	III Publikationen des Instituts .....	171
Auswirkungen der Tiefenwasserproduktion auf die Zirkulation des Nordatlantik .....	138	IV Veröffentlichungen der Mitarbeiter .....	174
Infrarot-Zeilenkamera zur verbesserten Meereisfernerkundung .....	142	V Abgeschlossene Examensarbeiten .....	191
LIDAR-Gerät zur Beobachtung fluoreszierender Stoffe im Meer .....	144	VI „Polarstern“-Expeditionen.....	193
Untersuchung der durch das Ozonloch verursachten UV-B Belastung auf Produktion und Artenzusammensetzung des Phytoplanktons .....	147		
<b>6. Logistik</b> .....	150		
<b>7. Zentrale Einrichtungen</b> .....	155		
7.1 Öffentlichkeitsarbeit .....	155		
7.2 Bibliothek .....	156		
7.3 Rechenzentrum .....	157		
<b>8. Personeller Ausbau und Haushaltsentwicklung</b> ...	163		
8.1 Personal.....	163		
8.2 Haushalt.....	163		



## 1. Einleitende Übersicht

Am 31. März 1992 beendete Professor Hempel, der das Institut seit seiner Gründung geleitet hatte, seine Tätigkeit am Alfred-Wegener-Institut. Bis zur Berufung des neuen Wissenschaftlichen Direktors leitete Professor Augstein als Stellvertretender Direktor das Institut. Am 1. November 1992 trat der Konstanzer Biologe Professor Dr. Max Tilzer die Nachfolge von Professor Hempel an. In der Folge wurde Professor Fütterer zum Stellvertretenden Institutsdirektor bestellt. Professor Augstein kehrte in die Sektion Physik I zurück, um sich wieder in erster Linie Forschungsarbeiten zu widmen.

Die Forschung des Alfred-Wegener-Instituts ist weiterhin auf die folgenden Schwerpunkte ausgerichtet:

- Das gekoppelte System Ozean-Atmosphäre-Kryosphäre: Hierzu gehören Untersuchungen zur Boden- und Tiefenwasserbildung in den Polarmeeren, zur Dynamik des Meereises sowie zum Energieaustausch zwischen dem Ozean und der Atmosphäre und seine Beeinflussung durch die Eisbedeckung. Außerdem wird an der Massenbilanz der polaren Eiskappen und der Klimarekonstruktion aus Eisbohrkernen gearbeitet. Die Untersuchungen zu chemischen Umsetzungen in Troposphäre und Stratosphäre bei der Polargebiete fallen ebenfalls in diesen Schwerpunkt.
- Marine Ökosysteme: Hier richten sich die Arbeiten vor allem auf die Anpassung polarer Organismen an ihre Lebensbedingungen, die Besiedlungsgeschichte des polaren Benthos, die Populationsdynamik planktischer und benthischer polarer Wirbelloser sowie die Produktion und den Stoffhaushalt der polaren Ozeane. In der biologischen Meeresforschung sollen zukünftig in vermehrtem Umfang ökophysiologische Arbeiten durchgeführt werden.
- Der Untergrund der polaren Meere und ihrer kontinentalen Begrenzungen: Wie bisher steht die Rekonstruktion vergangener klimatischer und ozeanographischer Bedingungen aus der Analyse von Meeresbodensedimenten im Mittelpunkt der meeresgeologischen Untersuchungen. Die geophysikalische Forschung konzentriert sich auf die Struktur des Meeresbodens vor dem Hintergrund der Großtektonik in beiden Polargebieten. In der Arktis steht die Öffnung des nördlichen Eismeer, in der Antarktis die Geschichte des Aufbrechens von Gondwana im Vordergrund.

Am 11. März 1992 wurde auf dem Telegrafenberg in Potsdam die **Forschungsstelle Potsdam** des Alfred-Wegener-Instituts eröffnet. Die Forschungsstelle wurde mit dem Ziel errichtet, die Erfahrungen der Antarktisforschung der ehemaligen DDR zu erhalten und in das Alfred-Wegener-Institut einzugliedern. Diese ergänzen in günstiger Weise die westdeutsche Antarktisforschung: Während letztere in erster Linie den Ozean sowie die Polareiskappen in Antarktis und Grönland bearbeitet, konzentrierte sich die Polarforschung der ehemaligen DDR auf die arktischen Eisrandgebiete sowie die unvergletscherten Oasen auf dem antarktischen Kontinent. Die landgebundene Forschung der ehemaligen DDR befaßte sich unter anderem mit der Rolle des Permafrostbodens für globale Stoffkreisläufe und der Rekonstruktion des holozänen Klimas aus Seebodensedimenten. Ein weiterer wichtiger Schwerpunkt der Polarforschung der ehemaligen DDR war die Untersuchung der Atmosphäre, insbesondere im Hinblick auf das stratosphärische Ozon. Von der Georg-Forster-Station aus wurde seit 1985 in engem zeitlichen Raster die Entwicklung der stratosphärischen Ozonkonzentration in der Antarktis untersucht. Diese Arbeiten ergänzen sich in wertvoller Weise mit den schon bisher am Alfred-Wegener-Institut durchgeführten Arbeiten in der Atmosphäre. In geringerem Umfang wurden in der ehemaligen DDR auch Untersuchungen an polaren Warmblütern durchgeführt.

In Potsdam wurden zunächst drei Arbeitsgruppen, den oben genannten Schwerpunkten entsprechend, eingerichtet. Im Laufe des ersten Jahres des Bestehens der Forschungsstelle zeigte sich die Notwendigkeit, die Atmosphärenforschung in Bremerhaven mit der in Potsdam zusammenzulegen. Die wichtigsten Elemente der Atmosphärenforschung sind daher inzwischen an der Forschungsstelle Potsdam angesiedelt. Diese Konzentration hat die Atmosphärenforschung am Alfred-Wegener-Institut nachhaltig gestärkt. Es erwies sich außerdem als vorteilhaft, die kleine Potsdamer Arbeitsgruppe zur Warmblüterbiologie nach Bremerhaven zu verlegen, um sie besser in die anderen biologischen Arbeitsgruppen einzubinden.

Die Forschungsstelle Potsdam arbeitet nunmehr intensiv sowohl in der Atmosphärenphysik/Luftchemie als auch auf dem Gebiet der Geowissenschaften. Die geowissenschaftliche Arbeitsgruppe führte im Sommer 1993 mit logistischer Unterstützung von und in enger Kooperation mit russischen Wissenschaftlern eine Erkundungsexpedition auf die Taymyr-Halbinsel und

nach Jakutien durch. Im Südsommer 1993/94 ging es, ebenfalls mit russischen Partnern, zur Bungereise in die Ostantarktis. In beiden Gebieten wurden Seebodensedimente zum Zwecke der Klimarekonstruktion beprobt. Die Atmosphärengruppe beschäftigt sich mit den chemischen Prozessen der Atmosphäre, insbesondere mit dem stratosphärischen Ozon in beiden Polargebieten. Hierbei geht es sowohl um die kontinuierliche Messung als auch um die Modellierung der Dynamik der Atmosphäre. Die wissenschaftliche Koordination der Arbeiten an der Koldewey-Station auf Spitzbergen liegt nunmehr in Händen der Forschungsstelle Potsdam. Sämtliche Meßprogramme in der antarktischen Atmosphäre werden nun von der Neumayer-Station aus durchgeführt.

Im folgenden sollen einige herausragende Forschungsergebnisse aus den wissenschaftlichen Sektionen kurz dargestellt werden.

#### **Sektion Physik I: Energietransfer Ozean - Atmosphäre**

Im März 1993 konnten zum erstenmal mit dem Flugzeug Turbulenz- und Strahlungsmessungen unter winterlichen Bedingungen (Lufttemperatur  $> -20^{\circ}\text{C}$ ) im Bereich der Framstraße durchgeführt werden. Dabei wurde gefunden, daß bei labiler vertikaler Dichteschichtung

- der Wärmefluß vom Ozean in die Atmosphäre im Mittel dem Quadrat offener Wasserflächen proportional ist
- der Wärmetransferkoeffizient zwar linear mit wachsender Eiskonzentration abnimmt, sich aber nicht mit der Oberflächenrauigkeit des Meereises ändert
- die aerodynamische Rauigkeit des Meereises mit der Höhe der Eisschollen über dem Wasser linear zunimmt.

Aus diesen Befunden wurden neue wirklichkeitsnahe Parameter zur Darstellung der Austauschprozesse in Meereisgebieten abgeleitet.

#### **Physik II: Fertigstellung des Hydrographischen Atlas für das Südpolarmeer**

Mit der Drucklegung des Hydrographischen Atlas für das Südpolarmeer im Jahre 1992 und der darauffolgenden wissenschaftlichen und öffentlichen Vorstellung wurde ein umfangreiches und langfristiges Projekt des Instituts abgeschlossen. Der Atlas wurde in vielen wissenschaftlichen Begutachtungen als exzellenter Meilenstein in der Tradition ozeanographischer Atlanten gewertet. Es gab auch viel Lob wegen seiner ansprechenden graphischen Gestaltung. Die validierten Daten, die zur Erstellung

des Atlanten in einer Datenbank gesammelt wurden, sind weltweit interessierten Wissenschaftlern und Institutionen auf CD ROM zugänglich gemacht worden.

#### **Sektion Meeresphysik und Meßwesen: Entwicklung einer Zeilenkamera für die Fernerkundung des Meereises**

Für die Fernerkundung von Meereis werden zur Validierung satellitengestützter Messungen und zur Bestimmung der Eissituation während meteorologischer Experimente vom Flugzeug und Hubschrauber aus Line-Scanner eingesetzt. Diese erfassen während eines Meßfluges ein Gebiet von mehreren hundert Quadratkilometern als digitales Bild mit einer räumlichen Auflösung von einigen Metern abhängig von Flughöhe und -geschwindigkeit. Die hohe Auflösung ermöglicht die Analyse kleinskaliger Phänomene, während die beträchtliche Abdeckung Grundlage für statistische Aussagen und Vergleiche mit Satellitendaten ist. Im Berichtszeitraum wurde ein Line-Scanner für den sichtbaren Spektralbereich bezüglich seiner Empfindlichkeit verbessert und ein neuer Line-Scanner entwickelt, der über die thermische Infrarotstrahlung die Temperatur der Erdoberfläche messen kann. Der kombinierte Einsatz beider Systeme ermöglicht die Differenzierung von Meereis unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Dicke.

#### **Atmosphärengruppe Potsdam/Luftchemie Bremerhaven: Messungen mit dem Infrarot-Spektrometer bei Mondlicht**

Das an der Koldewey-Station betriebene Infrarot-Spektrometer wurde weiterentwickelt, um Absorptionsmessungen mit Hilfe des Mondlichtes durchführen zu können. Damit waren im Dezember 1992 erstmals derartige Messungen während der Polarnacht möglich. Das ist u. a. deswegen von Bedeutung, da während der vier Monate andauernden Polarnacht jene chemischen Umwandlungsprozesse ablaufen, welche die Atmosphäre für den stratosphärischen Ozonabbau im Frühjahr vorbereiten. In der Antarktis sinken die aufgrund der kalten Temperaturen aus gasförmigem  $\text{HNO}_3$  gebildeten Aerosole (Polare stratosphärische Wolken), die in Zusammenhang mit dem katalytischen Ozonabbau wichtig sind, ab. Dies führt zu einer Verringerung des gesamten  $\text{NO}_y$  Budgets im stratosphärischen Polarwirbel. Die Mondmessungen zeigen, daß, im Gegensatz dazu in der Arktis, im Winter 1992/93 trotz zeitweiliger tiefer Temperaturen ein Absinken dieser Partikel nicht stattgefunden hat. Ebenso gelang es mit den FTIR Mondmessungen die Abnahme von  $\text{ClONO}_2$  und  $\text{HCl}$  in der dunklen arktischen Stratosphäre nachzuweisen.

### **Sektion Geologie: Untersuchungen zur rezenten Tiefen- und Bodenwasserzirkulation mittels stabiler Isotopen**

Um den Nährsalzgehalt von Tiefen- und Bodenwassermassen vergangener Zeiten zu rekonstruieren, gibt es zwei quantitativ interpretierbare Signale. Beide, das  $d^{13}C$ -Signal und das Cadmium-Signal werden in den Gehäusen benthischer Foraminiferen gespeichert, die in den jeweiligen Wassermassen leben. In den fossil erhaltenen Foraminiferen bestimmter Meeresgebiete widersprechen sich diese beiden Signale jedoch. Um diese für jede Art von Rekonstruktion und Modellierung des glazialen Ozeans entscheidende Diskrepanz lösen zu helfen, wurde die heutige Beziehung zwischen Nährsalzgehalt und  $d^{13}C$ -Signal im  $SCO_2$  der Tiefen- und Bodenwassermassen des Weddellmeeres untersucht. Für paläozeanographische Rekonstruktionen wird in der Regel eine empirische lineare Beziehung zwischen Nährsalzgehalt und  $d^{13}C$ -Signal der Tiefen- und Bodenwassermasse angenommen.

Unsere Messungen von extrem schweren  $d^{13}C$  Verhältnissen im  $SCO_2$  der Tiefen- und Bodenwassermassen haben nun gezeigt, daß heute im Weddellmeer diese lineare Beziehung zwischen Nährsalzgehalt und  $d^{13}C$ -Verhältnis entkoppelt ist. Bei sehr niedrigen Temperaturen erfolgt, vermutlich während des Prozesses der Bodenwasserbildung, eine stärkere Isotopenfraktionierung beim Gasaustausch ( $CO_2$ ) zwischen Atmosphäre und Oberflächenwasser, als bisher berücksichtigt wurde. Da dieser Prozeß nur das  $d^{13}C$ -Signal betrifft, also entkoppelt ist vom Nährsalzgehalt, könnten so unterschiedliche Signale im Cd und im  $d^{13}C$  von benthischen Foraminiferen erzeugt werden:  $d^{13}C$  täuscht zu hohe Nährsalzgehalte vor, während Cd die „wahre“ Situation widerspiegeln könnte.

### **Sektion Geophysik/Glaziologie: Feststellung kurzfristiger Klimaschwankungen im Eem-Interglazial**

Im Rahmen des europäischen Greenland Ice Core Project (GRIP) wurde ein 3 km langer Eisbohrkern auf dem höchsten Punkt des grönländischen Inlandeises erbohrt, der eine zeitlich hochaufgelöste Rekonstruktion des Klimas während der letzten 200 000 Jahre erlaubt. Die Analyse des Verhältnisses der stabilen Sauerstoffisotope ( $\delta^{18}O_2$ ) zeigt, daß die letzte Interglazialzeit im Gegensatz zum Holozän durch weite und sehr kurzfristige Klimaschwankungen gekennzeichnet war. Die Ursachen für diese Temperatur-Instabilitäten (bzw. für die jetzige relative Stabilität) sind derzeit noch nicht bekannt.

### **Sektion Chemie: Umweltchemikalien in antarktischen Tieren**

Zur Früherkennung globaler Umweltveränderungen und zum Schutz der Umwelt untersuchen Chemiker des Alfred-Wegener-Instituts, wie stark Tiere der Polargebiete mit Stoffen aus hochindustrialisierten Gebieten kontaminiert sind. Diese Stoffe werden hauptsächlich über die Atmosphäre in die Polargebiete transportiert und in Geweben dort lebender Tiere angereichert. Tieranalysen aus den vergangenen Jahren zeigen eine zunehmende Belastung der Antarktis mit persistenten chlorhaltigen Umweltchemikalien. Die Gehalte dieser Stoffe in antarktischen Tieren sind jedoch niedrig und liegen drei Größenordnungen unter denen in Nordseetieren. So wurden in antarktischen Fischen Organochlorverbindungen im Bereich von 10 - 20 ng/g Fett nachgewiesen; in Pinguinen wurden hundertmal höhere, in Krill fünfmal geringere Konzentrationen gefunden. In diesen Unterschieden spiegeln sich die Nahrungsbeziehungen und die Lebensweisen dieser antarktischen Tiere wider.

### **Geowissenschaftliche Arbeitsgruppe Potsdam: Variabilität des antarktischen Eisschildes während der letzten 100 000 Jahre**

Geowissenschaftliche Untersuchungen an Seesedimenten aus antarktischen Oasen lieferten wichtige Informationen über Aufbau und Schwankungen des Ostantarktischen Eisschildes. Radiokohlenstoff-Altersdatierungen zeigen, daß es in der letzten Kaltzeit Perioden gegeben hat, in denen die heute eisfreien Gebiete (Oasen) ebenfalls eisfrei waren. Diese Erkenntnisse sprechen für einen in Mächtigkeit und Ausdehnung variierenden Eisschild während der letzten 100 000 Jahre.

### **Biologie I: Temperaturansprüche von polaren Makroalgen als Hinweis für ihre Ausbreitungsgeschichte**

Südliche Algenarten sind aufgrund der langen Kaltwassergeschichte der Antarktis (> 14 Mio. Jahre) an wesentlich niedrigere Temperaturen angepaßt als arktische Arten, die erst seit weniger als 3 Millionen Jahren tiefen Temperaturen ausgesetzt sind. Die Temperaturansprüche bipolar verbreiteter Arten sind gerade so hoch, daß eine Überquerung des Tropengürtels am Höhepunkt der letzten Eiszeit möglich war. Diese Ergebnisse haben Bedeutung für die Prognose von Veränderungen der geographischen Verbreitung von Makroalgen und von Algen-Tiergemeinschaften angesichts möglicher globaler Temperaturveränderungen.

## **Biologie II: Kontrolle der Wachstumsrate mariner Planktonalgen durch die Verfügbarkeit von Kohlendioxid**

In den meisten Situationen wird der Wachstumsertrag mariner grüner Pflanzen durch die Verfügbarkeit von Nährsalzen (meistens Nitrat oder Ammonium) kontrolliert, die Wachstumsraten jedoch durch die Verfügbarkeit von Licht. Laborexperimente und Modellrechnungen haben nunmehr ergeben, daß bei Algen, die ausschließlich freies Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) nutzen können, die Diffusionsrate vom  $\text{CO}_2$  an die Oberflächen heran sowie die Freisetzung von  $\text{CO}_2$  aus Bikarbonat die Wachstumsraten kontrollieren können. Dies wird dadurch erklärt, daß im Meerwasser der Anteil von freiem  $\text{CO}_2$  am insgesamt vorhandenen anorganischen Kohlenstoff sehr klein ist und die Diffusion des  $\text{CO}_2$  an die Zelloberfläche heran der ratenbegrenzende Schritt für die Aufnahme von freiem Kohlendioxid ist. Dieses Ergebnis hat möglicherweise weitreichende Konsequenzen für das Verständnis der Steuerung des globalen Kohlenstoffkreislaufs durch die Lebensgemeinschaften der Ozeane.

Zur Steigerung der wissenschaftlichen Effizienz wurde am Alfred-Wegener-Institut ein Programm zur Förderung besonderer Forschungsthemen eingerichtet: Zweimal im Jahr können vor allem jüngere Mitarbeiter bei der Institutsleitung die interne Förderung besonderer Forschungsvorhaben beantragen. Es sollen insbesondere interdisziplinäre Forschungsvorhaben gefördert werden, die infolge ihrer besonderen Aktualität im Forschungsplan des Instituts noch nicht berücksichtigt worden sind. Die Förderung erstreckt sich auf die Bereitstellung von Personalstellen sowie von Sachmitteln. Bei der ersten Begutachtung im Dezember 1993 wurde ein Projekt in das Förderprogramm aufgenommen. Die Förderung wird für jeweils ein Jahr ausgesprochen und kann insgesamt für einen Zeitraum von drei Jahren erfolgen.

Die Expeditionstätigkeit mit FS „Polarstern“ hatte ihren Schwerpunkt mit insgesamt acht Fahrtabschnitten wieder in der Antarktis. Nach einer glaziologischen Kampagne von Januar bis März 1992 mit Eisbohrungen und Bodenuntersuchungen für den ERS-1-Satelliten im Rahmen des internationalen Filchner-Ronne-Schelfeisprogramms wurden im April und Mai die Vorgänge während und nach der Eisbildung in der Wassersäule wie auch die Lebensgemeinschaften im Meereis untersucht.

Besondere Anforderungen an Wissenschaft und Besatzung stellten die ungünstigen Eis- und Wetterverhältnisse während des Fahrtabschnittes im Hochwinter von Juni bis August, der dritten Überwinterung der „Polarstern“ im antarktischen Weddellmeer. Hydrographische Messungen für die dritte Meßphase

der Weddellwirbel-Studie standen im Vordergrund. Zum ersten Mal wurde auch die Verteilung des Phyto- und Zooplanktons in der Wassersäule im Hochwinter gemessen.

Ein geowissenschaftlicher Fahrtabschnitt führte im Spätwinter in das Scotia-Meer, um dort Sedimentproben zur Rekonstruktion von Paläozeanographie und -klima zu gewinnen.

Den Abschluß des Winterexperiments bildete der Abschnitt „Frühling am Eisrand“, auf welchem von Oktober bis November im Rahmen der Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) der Kohlenstofffluß zwischen der Deckschicht und dem Meeresboden untersucht wurde.

Im Februar 1993 wurden in der Framstraße zwischen Svalbard und Grönland Untersuchungen zur Dynamik des Meereises durchgeführt. Messungen zur Dynamik der unteren Atmosphäre erfolgten gemeinsam mit den Polarflugzeugen, die von Longyearbyen aus operierten. Nach einer längeren Wertzeit im Mai folgte eine Expedition in die Ostgrönlandsee, in deren Rahmen in erster Linie die Entstehung der Ostgrönland-Polynya untersucht wurde. Von August bis Oktober 1993 war „Polarstern“ mit dem russischen Forschungsschiff „Ivan Kireyev“ auf einer gemeinsamen deutsch-russischen Expedition aktiv, während welcher erstmalig für deutsche Forscher Arbeiten in der russischen Wirtschaftszone des nördlichen Eismerees bis in die Laptewsee durchgeführt werden konnten. Diese Expedition hatte in erster Linie ozeanographische, biologische und geowissenschaftliche Zielsetzungen. Für das Alfred-Wegener-Institut besitzt diese Expedition auch deswegen eine besondere Bedeutung, da in Kooperation mit russischen Forschern bisher unzugängliche Gebiete in den eurasischen Schelfmeeren zugänglich wurden.

### **Nationale Zusammenarbeit:**

Das Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven ist durch einen Kooperationsvertrag eng mit der Universität Bremen verbunden. Berufungen auf Professorenstellen werden gemeinsam durchgeführt. Es wird angestrebt, mit der Universität Potsdam einen ähnlichen Kooperationsvertrag abzuschließen und ebenfalls gemeinsame Berufungen durchzuführen. Partnerschaftsverträge bestehen auch mit den Universitäten Oldenburg, Hamburg und Kiel.

Das Alfred-Wegener-Institut ist die zentrale Koordinationsstelle für alle deutschen Unternehmen auf dem Gebiete der Polarforschung. Diese wird ergänzt durch die in der Satzung des Instituts verankerte Aufgabe, die Logistik für diese Unternehmen bereitzustellen. Das Institut arbeitet mit der Deutschen For-

schungsgemeinschaft (DFG) zusammen. Der von der DFG in der zweiten Bewilligungsperiode laufende Schwerpunkt „Antarktisforschung“ erfordert eine enge Abstimmung mit dem Alfred-Wegener-Institut. Wissenschaftler des Instituts beteiligen sich intensiv an diesem Schwerpunktprogramm. Häufig führen sie gemeinsame Projekte mit Universitätswissenschaftlern durch. Enge wissenschaftliche Kontakte bestehen auch mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, mit der Bundesanstalt für Fischerei, Hamburg sowie mit dem Geomar Forschungszentrum für marine Geowissenschaften und dem Institut für Polarökologie der Universität Kiel. In Potsdam ergeben sich enge Kontakte mit dem Potsdam Institut für Klimafolgenforschung und dem GeoForschungsZentrum. In Bremen wurden regelmäßige Koordinationstreffen mit anderen in der Meeresforschung tätigen Institutionen abgehalten: der Universität (Fachbereich Chemie, Fachbereich Geowissenschaften, Sonderforschungsbereich SFB 261), dem Zentrum für marine Tropenökologie sowie dem Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie. Ziel ist die Abstimmung gemeinsamer Forschungsarbeiten und der Logistik.

#### **Internationale Zusammenarbeit:**

Das Alfred-Wegener-Institut ist in zahlreiche internationale Projekte integriert. Besondere Aufmerksamkeit wurde im Berichtszeitraum der Intensivierung der Kontakte mit der Kommission der Europäischen Gemeinschaften gewidmet. Das Internationale Büro koordiniert die aus dem Institut an die EG-Kommission gestellten Förderungsanträge.

Um die bilateralen Kontakte des Alfred-Wegener-Instituts zu fördern, hat der neue Wissenschaftliche Direktor einige der wichtigsten in der Polarforschung tätigen Institutionen besucht. Es waren dies Institute in Großbritannien (British Antarctic Survey, Scott Polar Research Institute), Norwegen (Norsk Polar Institutt, Norsk Institutt for Luftforskning, Institute of Marine Research in Bergen, Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Bergen, Marine Biological Station, University Trondheim, University of Tromsø: Department of Arctic Biology, Institute of Medical Biology, The Norwegian College of Fisheries Science; Roald Amundsen Centre for Polar Research), Rußland (Arctic and Antarctic Research Institute (AARI), VNIIG Geologia), USA (National Science Foundation), Australien (Australian Antarctic Division), Neuseeland (Antarctic Center), Frankreich (IFREMER). Der deutsch-russischen Kooperation kommt für die Arktisforschung sowohl auf dem Land als auch in den arktischen Seegebieten besondere Bedeutung zu. Von russischer Seite sind in erster Linie das AARI, St. Petersburg, das Murmansk Marine Bio-

logical Institute (MMBI), Murmansk sowie das Shirshov Institute for Oceanology, Moskau wichtige Partner des Instituts. Neben dem AWI sind an den maringeologischen Untersuchungen auch andere deutsche Institutionen, insbesondere das Geomar in Kiel, beteiligt.

Am Alfred-Wegener-Institut fanden zahlreiche kleinere internationale und nationale Symposien statt. Wichtige Koordinationsfunktionen auf internationaler Ebene nehmen das Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR), das International Arctic Science Committee (IASC), das Arctic Ocean Sciences Board (AOSB) sowie das Council of Managers of Antarctic Programmes (COMNAP) wahr, in denen Mitglieder des Alfred-Wegener-Instituts an zentraler Stelle beteiligt sind.

#### **Öffentlichkeitsarbeit:**

Das Alfred-Wegener-Institut pflegt sehr intensive Kontakte zu den Medien, insbesondere zur Presse und zum Fernsehen. 1993 hat das Alfred-Wegener-Institut gemeinsam mit dem Deutschen Schiffahrtsmuseum in Bremerhaven die Ausstellung „125 Jahre deutsche Polarforschung“ erarbeitet, die am 14. Oktober 1993 durch den Bundesminister für Forschung und Technologie, Dr. Paul Krüger, eröffnet wurde. Diese Ausstellung wird in der Folge auch in anderen Städten gezeigt.

#### **Ausblick:**

Auch in Zukunft wird das Alfred-Wegener-Institut seine Forschungstätigkeit auf die Polargebiete konzentrieren. Dabei wird eine Verstärkung der Arbeiten in der Arktis angestrebt. Die Änderung der geopolitischen Situation (Auflösung des Ostblocks) ermöglicht es, vordem nicht zugängliche Gebiete in der Arktis zu erforschen. In der Meeresforschung sollen neben den Flachwasser- und Schelfregionen in zunehmendem Maße die Tiefseeregionen in die Arbeit einbezogen werden. Die landgebundene Polarforschung konzentriert sich auf die Periglazialräume der Arktis, die polaren Eisschilde und die unvergletscherten Bereiche der Antarktis. Ein weiterer landgebundener Schwerpunkt ist die Untersuchung der Atmosphäre, die durch Arbeiten vom Forschungsschiff „Polarstern“ aus auf den Überfahrten zwischen Nord- und Südhalbkugel ergänzt wird. Die Rolle der Polargebiete im globalen Klimageschehen und in den globalen Stoffkreisläufen steht weiterhin im Zentrum des Interesses.

## 2. Internationale und nationale Zusammenarbeit

### 2.1 Internationales Büro (Leitung Dr. Giermann)

Das Internationale Büro des AWI ist zuständig für das Sekretariat der Deutschen IOC-Sektion (siehe 2.1.1), das Sekretariat des Deutschen Landesausschusses SCAR/IASC (siehe 2.1.2) und das EG-Büro des AWI (siehe 2.1.3). Als Nationale Kontaktstelle für Anfragen zu Aktivitäten, wissenschaftlichen Beobachtungen und Ergebnissen in der Antarktis (im Rahmen des Antarktisvertrages) hat sie außerdem für das BMFT und das Auswärtige Amt die jährlichen nationalen Berichte erstellt, die an alle Antarktisvertragsstaaten verteilt werden; die Kontaktstelle sammelt entsprechend die Berichte der anderen Länder. Eine Broschüre zum Antarktisvertragssystem (in deutsch) wurde in der Bundesrepublik an zahlreiche Interessenten verschickt.

Das Internationale Büro ist außerdem die Koordinationsstelle der deutsch-neuseeländischen Vereinbarung über die wissenschaftliche Zusammenarbeit in der Antarktis und wurde regelmäßig von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, über deren Aktivitäten in Nordvictoriataland unterrichtet.

#### 2.1.1 Sekretariat der Deutschen IOC-Sektion (IOC = Intergovernmental Oceanographic Commission/Zwischenstaatliche Ozeanographische Kommission der Unesco, Paris)

An der 25. Sitzung des IOC-Exekutivrates im März 1992 sowie an dessen 26. Sitzung im Februar 1993 und der darauffolgenden 17. Sitzung der IOC-Vollversammlung, alle in Paris, nahm Dr. Giermann als Delegierter teil. An der Vollversammlung beteiligte sich auch Prof. Tilzer, um sich ein Bild von diesem für die internationale Koordinierung der Meeresforschung wichtigen Gremium zu machen. Über die vorausgegangenen Sitzungen der Deutschen IOC-Sektion im Auswärtigen Amt in Bonn und die Sitzungen der IOC selbst liegen Berichte des Sekretariats vor.

Als neuer Schwerpunkt der IOC kristallisierte sich die Einrichtung eines Globalen Meeresbeobachtungssystems (GOOS - Global Ocean Observing System) heraus, das von der Umweltkonferenz in Rio (UNCED, Juni 92) starke Unterstützung erhielt. Die Deutsche IOC-Sektion setzte eine ad hoc Arbeitsgruppe für GOOS ein, die sich im Juni 92, im Januar 93 und im Dezember

93 traf. Sie betonte jedoch auch die Wichtigkeit eines deutschen Engagements in TEMA, dem IOC Trainingsprogramm für die Dritte Welt.

Im Februar 1992 nahm Dr. Giermann an dem vom BMFT (über den IOC Trust Fund) finanzierten Trainingskurs über küstennahe Sedimentation und die Entwicklung der Küstenumwelt in Kuala Lumpur, Malaysia, teil. 1993 konnte das Sekretariat der Deutschen IOC-Sektion Gespräche mit dem BMFT über eine Fortführung der IOC Trainingskurse erfolgreich abschließen. Es werden drei weitere Kurse finanziert, an deren Vorbereitung und Durchführung sich das Sekretariat beteiligt. Dr. Giermann wird als Instructor 1994 nach Pakistan und 1996 nach Indonesien entsendet.

Da die Bundesrepublik Deutschland neben den Polargebieten ein besonderes wissenschaftliches Interesse an der Meeresforschung im Indischen Ozean hat („Sonne“ 1993, „Meteor“ 1995), half Dr. Giermann der Region bei der Einrichtung einer neuen Organisation mit dem Namen „Indian Ocean Marine Affairs Cooperation“ (IOMAC), die eng mit der IOC zusammenarbeitet. Dr. Giermann vertrat die Bundesrepublik bei den Sitzungen des zwischenstaatlichen Standing Committee von IOMAC.

#### 2.1.2 Sekretariat des Deutschen Landesausschusses SCAR/IASC (SCAR = Scientific Committee on Antarctic Research; IASC = International Arctic Science Committee; beide nicht-gouvernemental)

An der 2. Sitzung des Landesausschusses in Bremerhaven im Mai 1993, die das Sekretariat betreute, nahmen vom AWI Prof. Tilzer und 10 Mitarbeiter teil. Ein Bericht mit Empfehlungen liegt vor. Der Landesausschuß begrüßte die Ziele des Umweltschutzprotokolls zum Antarktisvertrag und bat, bei der Umsetzung dafür zu sorgen, „daß nicht durch restriktive Reglementierungen eine Verschlechterung der deutschen Forschungsmöglichkeiten herbeigeführt wird“. Der Landesausschuß bestätigte auch, daß die deutsche Beteiligung an der Arktisforschung wesentlich sei.

Im Berichtszeitraum haben AWI-Wissenschaftler in drei (von acht) SCAR Arbeitsgruppen und drei (von sechs) Spezialistengruppen mitgearbeitet; Prof. Tilzer ist Permanent Delegate in SCAR. In IASC-Gruppen sind sechs AWI-Wissenschaftler Mitglied; Prof. Fütterer ist Mitglied des Council.

Die deutschen Antarktisforschungsberichte an SCAR (German Antarctic Research Reports to SCAR) Nr. 14 - 1992 und Nr. 15 - 1993 wurden herausgegeben. Im Juni 1992 nahmen Dr. Kohnen, Prof. Arntz und Dr. Plötz an der 22. Sitzung der SCAR-Vollversammlung in Bariloche, Argentinien, teil, Dr. Kohnen weiterhin an Sitzungen von COMNAP und SCALOP. Prof. Tilzer und Dr. Kohnen nahmen an einer weiteren COMNAP/SCALOP-Sitzung in Christchurch, Neuseeland, im Juni 1993 teil.

### 2.1.3 EG-Büro

Das EG-Büro des AWI wurde im April 1993 im Internationalen Büro des AWI eingerichtet, vor allem um den Kontakt mit den Direktionen der Generaldirektion XII sowie den deutschen EG-Vertretungen (EG Kontaktstelle Bremen, Koordinierungsstelle EG der Wissenschaftsorganisationen, Bonn und Brüssel) zu pflegen.

Im Juni 1993 führten Prof. Tilzer, Prof. Schrems, Dr. Giermann und Dr. Schulz-Baldes erste Gespräche in Brüssel. Im September 1993 nahmen Prof. Tilzer und Dr. Kohnen an einem ECOPS Workshop zum Thema „European Collaboration in Polar Research“ in Granada teil.

Ende 1993 wurden elf EG Projekte mit einem Gesamtvolumen von über 2 Millionen ECU, an denen sich die EG mit 930.000 ECU beteiligt, vom AWI betreut. Die Projekte gehören den Bereichen „Umwelt“ und „MAST“ sowie „Humankapital & Mobilität“ an. Das Projekt ESMOS/ARTIC (Koordinator Dr. Neuber) wurde mit der Note „Excellent“ bewertet. In diesem Projekt stellt das AWI den Koordinator, in allen anderen Fällen ist das AWI Vertragspartner. Für weitere acht Projekte liegen Anträge vor (Stand Oktober 93).

Für die „European Conference on Grand Challenges in Ocean and Polar Sciences“, die im September 1994 in Bremen stattfinden wird, ist 1993 ein Local Organizing Committee unter dem Vorsitz von Prof. Tilzer eingerichtet worden (Vertreter ist Dr. Kohnen). Internationales Büro und Logistik des AWI sind an den Vorbereitungen beteiligt. Der Convenor der Tagung ist der Vorsitzende von ECOPS (European Committee on Ocean and Polar Sciences von EG und ESF), Prof. Hempel.

## 2.2 Internationales Büro für Meeres- und Polarforschung, Lateinamerika (Leiter: Prof. Arntz)

Die Zusammenarbeit mit Argentinien, Brasilien und Chile wurde weiter ausgebaut. Die beiden Antarktis-Projekte ANT 1

und 2 mit dem argentinischen Antarktisinstitut IAA (Instituto Antártico Argentino) in Buenos Aires haben zu einem regen Austausch zwischen AWI und IAA geführt. Die deutsche Annexstation an die argentinische Antarktisstation Jubany wurde zu Saisonende 1993 weitgehend fertiggestellt und am 20. 1. 1994 offiziell der Bestimmung übergeben. Gemeinsame Arbeiten sind in größerem Umfang ab 1994 geplant. Die Argentinier haben drei weitere Antarktisprojekte vorgeschlagen, die in der Sitzung der Gemischten Kommission in Bonn (April 1993) diskutiert wurden. Zwei meeresbiologische Projekte wurden 1992 erfolgreich abgeschlossen. Die Partner haben sich zu erneuter Kooperation mit veränderter Fragestellung entschlossen.

Die Zahl der Projekte mit Brasilien betrug Anfang 1993 16. Der Schwerpunkt in der Zusammenarbeit 1993 lag in der Durchführung eines Workshops im August in Niteroi zur Präsentation der Ergebnisse der „Victor-Hensen“-Reise 1990/91 nach Brasilien. Alle maßgeblichen brasilianischen Meeresforschung betreibenden Institutionen waren vertreten. Im Rahmen der Diskussion wurde auch die Möglichkeit einer zweiten „Victor-Hensen“-Reise besprochen. Eine gemeinsame Finanzierung wurde von der Gemischten Deutsch-Brasilianischen Kommission im Oktober 93 in Bonn bekräftigt.

Durch den Gastaufenthalt von Prof. Arntz in Chile sind die dortigen Kooperationsmöglichkeiten verbessert und ausgebaut worden. In Vorbereitung für 1994 sind ein Kurs zur Crustaceen-Biologie und eine Expedition zur Erforschung von marinen Bakterienmatten auf dem Schelf.

Die Zusammenarbeit mit Mexiko befindet sich noch immer in der Vorbereitungsphase.

## 2.3 Nationaler Koordinator, SCAR Filchner-Ronne-Schelfeis-Programm (Koordinator: Prof. Miller)

Im Juni 1992 fand der 7th International Workshop of the Filchner-Ronne Ice Shelf Programme in der Nähe von Münster statt. Darüber berichtet FRISP Report no. 6 (1992), herausgegeben von Dr. Oerter.

## 2.4 Koordinator, Nationales Deutsches WOCE-Programm (Koordinator: Prof. Augstein)

Die deutschen Projekte zu WOCE (World Ocean Circulation Experiment) werden seit Oktober 1993 ausschließlich durch das BMFT Ref. 525 gefördert. Die Mittel verwaltet für den BMFT der

Projekträger BEO in der Außenstelle Warnemünde. Antragsteller für den Verbund der WOCE-Vorhaben ist das AWI, das mit den Universitäten Kiel, Hamburg, Bremen und Heidelberg sowie mit dem MPI für Meteorologie in Hamburg Verträge als Auftraggeber abgeschlossen hat. Dem AWI obliegen die Verwaltung der Mittel, die Koordination des Verbundes und die Berichtspflicht gegenüber dem BMFT.

## **2.5 Geschäftsstelle des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (Leiter: Prof. Schulz-Baldes)**

Das 1990 gegründete „Nationale Global Change-Sekretariat“ arbeitete zusammen mit dem BMFT Referat 521 und dem Projekträger „Umweltsystemforschung“ intensiv an der Forschungsrahmenkonzeption „Globale Umweltveränderungen“ mit. Ein weiterer Schwerpunkt war die Betreuung der Wanderausstellung „Global Change – unsere Erde im Wandel“.

Im Sommer 1992 wurde das Nationale Global Change-Sekretariat in die neu geschaffene „Geschäftsstelle des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen“ integriert. Im Rahmen einer von BMFT und BMU zu gleichen Teilen finanzierten Zusatzaktivität an der Geschäftsstelle wurden in ausgewählten Arbeitsfeldern (Forschungskonzeptionen, internationale Forschungsorganisation, Öffentlichkeitsarbeit, Herausgabe der Zeitschrift „Global Change Prisma“) die Arbeiten des Sekretariats weitergeführt.

Die Geschäftsstelle unterstützte den Beirat durch umfassende Zuarbeit, bereitete die monatlichen Sitzungen vor und nach, überwachte die Vergabe von Aufträgen an Dritte und verwaltete zentral die Finanzmittel des Beirats und der diesen zugeordneten persönlichen Assistenten.

Das erste Gutachten des Beirats, das am 7. 6. 1993 dem Bundeskanzler und den zuständigen Fachministern Wissmann und Töpfer übergeben wurde, befaßte sich mit einer Systemanalyse des globalen Wandels. Auf der Basis der darin festgelegten Prioritäten wird das Programm für die zukünftige Beiratsarbeit entwickelt.

Weiter nahm der Geschäftsführer als einer der deutschen Vertreter an den Beratungen der IGFA (International Group of Funding Agencies) in Toulouse teil. Hier, wie auch auf der Sitzung des Human Dimension Programme des ISSC in Paris, wurden wertvolle Kontakte zu den großen internationalen Programmen im Bereich des Globalen Wandels geknüpft.

## **2.6 International PIPOR Coordinating Office (Leitung: Prof. Augstein)**

Das „Programme for International Polar Ocean Research“ (PIPOR) wurde als Reaktion auf das von der ESA 1986 ausgeschriebene Announcement of Opportunity (AO) für den ersten europäischen Fernerkundungssatelliten ERS-1 ins Leben gerufen. In ihm sind 38 von der ESA ausgewählte Principal Investigators (PI) aus 10 Staaten vertreten. Das PIPOR Koordinationsbüro unterstützt die beiden PIPOR Coordinating Investigators und koordiniert und überwacht die regional gegliederten Teilprojekte. Es dient darüber hinaus als Kontaktstelle zwischen der ESA und den PIPOR-PIs.

1992 hat das Büro die Aktivitäten zum Empfang von ERS1/SAR-Daten (SAR = Synthetic Aperture Radar) an der Antarktisstation O'Higgins für die Zeiträume Januar, März, Juli sowie November/Dezember koordiniert. Darüber hinaus oblag dem Büro die wissenschaftliche Planung der Vergleichsmessungen am Boden für die SAR-Daten während der „Polarstern“-Expedition ANT X/4 (1992) und der „James Clark Ross“-Expedition im November/Dezember 1992.

1993 erarbeitete das Büro die Eckdaten für die Beobachtungszeiten an der deutschen ERS-1 Empfangsstation auf O'Higgins und handelte die von der PIPOR-Gruppe gewünschten Einschaltzeiten mit der ESA aus.

Für die Feldmessungen im Rahmen verschiedener Arktisexpeditionen 1993 in der Grönlandsee wurden alle SAR Einschaltzeiten mit den beteiligten Institutionen abgesprochen und bei der ESA eingereicht.

Das First ERS-1-Symposium in Cannes im November 1992 diente als Forum für den Austausch erster Ergebnisse aus der ERS-1-Mission sowie zur Koordination der weiteren Missionsabschnitte. Während des Symposiums wurde festgelegt, beim PIPOR-Büro eine Datenbank zu erstellen, die alle innerhalb der Gruppe verfügbaren SAR-Daten sammelt. Diese Datenbank kann seit Ende März 1993 genutzt werden.

Im Oktober 1993 führte das Büro in Hamburg einen PIPOR-Workshop durch. Anschließend fand in Hamburg ein zweites ERS-1-Symposium der ESA statt, bei dem das Koordinationsbüro wiederum die PIPOR-Gruppe vertrat. Dabei wurden eine Bestandsaufnahme der geleisteten Arbeit erstellt und die Richtlinien für die Arbeit der PIPOR Gruppe in bezug auf die ERS-2 und RADARSAT Missionen festgelegt. Gegenwärtig werden die von der ESA geforderten Vorschläge für die ERS-2 Mission ausgearbeitet.



## 2.7 Formelle bilaterale Absprachen des AWI (Dr. Giermann)

Das AWI traf 1992–93 sechs bilaterale Absprachen (Memoranda) mit ausländischen Instituten und bereitet weitere vor:

- (1) Memorandum on Antarctic Marine Research between the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI), Bremerhaven, Germany, and the Netherlands Marine Research Foundation (SOZ), The Hague, Netherlands (gezeichnet von den Direktoren von AWI und SOZ; datiert 31. 3. 1992).
- (2) Kooperationsabsprache zwischen AWI und NIOZ zu JGOFS (gezeichnet von Vertretern des AWI und des NIOZ; datiert 6. 5. 1992).
- (3) Proposal for a programme of cooperation in polar marine science between the P.R. China (2nd Institute of Oceanography S.O.A.) and Germany (Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research) (gezeichnet by AWI, Head, Section Bio II; datiert 9. 6. 1992).
- (4) Protocol of Intention on Cooperation between the Murmansk Marine Biological Institute (MMBI) and the Alfred Wegener Institute (AWI), Bremerhaven (gezeichnet von den Direktoren von MMBI und AWI; datiert 29. 12. 1992).
- (5) Memorandum of the Meeting of Representatives of the Arctic and Antarctic Research Institute (AARI), the All-Russia Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean (VNIIO), and the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI), St. Petersburg, 15 – 17 March 1993, on joint research in a broad array of disciplines including work related to global change issues (gezeichnet von den Direktoren AARI, AWI, VNIIO; nicht datiert).
- (6) Memorandum of the International Workshop on the Russian-German Cooperation in and around the Laptev Sea, St. Petersburg, 10 – 12 May 1993 (gezeichnet von den Direktoren AARI, AWI, GEOMAR, IORAS, RINCAN, VNIIO, ZJSP RAS, IPÖ; nicht datiert).
- (7) Die Zusammenarbeit mit NSF (Washington, D.C.), die die Mitreise amerikanischer Wissenschaftler auf der „Polarstern“ sowie den Aufenthalt von AWI-Wissenschaftlern in amerikanischen Instituten beinhaltet, soll auf eine formelle Grundlage gestellt werden. Ein „letter agreement“ auf der Basis eines Abkommens über die wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen NSF und BMFT ist geplant. Zu

vorbereitenden Gesprächen besuchte Prof. Tilzer im September 1993 NSF in Washington, D.C.

## 2.8 Bilaterale Gespräche zur Förderung einer umfassenden Zusammenarbeit (Prof. Tilzer)

Auf mehreren Reisen 1993 stellte der Direktor, Prof. Tilzer, die Aktivitäten des AWI vor und führte Kooperationsgespräche. Das AWI hat auch ausländische Wissenschaftler zu Kooperationsgesprächen nach Bremerhaven eingeladen.

Im März besuchten Prof. Tilzer, Prof. Fütterer, Dr. Kohnen und Dr. Hubberten das Arctic and Antarctic Research Institute (AARI), das All Russian Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean (VNIIO) und das Zoologische Institut der Russischen Akademie der Wissenschaften (ZISP) in Sankt Petersburg. Sie besprachen gemeinsame Projekte in Arktis und Antarktis und unterzeichneten eine Kooperationsabsprache zwischen AARI, VNIIO und AWI.

Im April besuchten Prof. Tilzer und Dr. Paulenz die Universität und das Norsk Polar Institut in Oslo sowie das Institute of Marine Research und die Universität in Bergen.

Im Mai besuchten Prof. Tilzer und Prof. Arntz Argentinien, Uruguay und Chile. Schwerpunkt in Buenos Aires waren Gespräche im Instituto Antártico Argentino über die Logistik der deutschen Annexstation in Jubany sowie die künftige Abwicklung gemeinsamer Unternehmungen. In Montevideo wurde beschlossen, die Antarktisforschung an der Universität durch Einladen von Gastwissenschaftlern zu fördern. Das Instituto Antártico Uruguayo wurde als künftiger Partner für eine logistische Zusammenarbeit ausgewählt. In Santiago de Chile stand die Teilnahme am internationalen Seminar „Science in Antarctica“ im Vordergrund.

Im Juni besuchte Prof. Tilzer die australischen Antarctic Division in Hobart, Tasmanien, und informierte sich über deren logistische Möglichkeiten und das wissenschaftliche Programm. Weitere Besuche galten dem Antarctic Cooperative Research Centre, dem CSIRO Marine Laboratory and dem Bureau of Meteorology. Es wurde abgesprochen, die Kontakte zwischen dem AWI und AAD zu vertiefen.

Mitte Oktober besuchte eine Delegation des British Antarctic Survey (BAS, Cambridge) unter Leitung des Direktors Dr. Drewry zu Kooperationsgesprächen das AWI. Diesen ging ein Besuch von Prof. Tilzer in Cambridge (BAS, SPR) im Februar voraus.

Ende Oktober besuchte Prof. Tilzer mehrere Institutionen in Norwegen wie die Meeresbiologische Station der Universität Trondheim und relevante Institute der Universität Tromsø. Die Zusammenarbeit zwischen den Wissenschaftlern stand im Vordergrund der Gespräche. Eine europäische Einbindung sei anzustreben (ESF).

Im Dezember besuchten Prof. Tilzer und Dr. Giermann IFREMER (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) in Paris. Ein Informationsaustausch in drei Bereichen wurde abgesprochen: Logistik (Dr. Kohnen - M. Girard), wissenschaftliche Programme (Prof. Miller - M. Cavanié) und Technologie (Prof. Krause - M. Legrand).

## 2.9 Nationale Zusammenarbeit (AGF, DFG, Universitäten)

Das Alfred-Wegener-Institut koordiniert die Polarforschung in der Bundesrepublik gemäß seiner Satzung. Im Vordergrund stand 1992-93 die Kooperation mit den Universitäten Bremen und Potsdam, die Mitarbeit in der AGF (Umweltverbund) und die Fortführung des DFG-Schwerpunktprogrammes „Antarktisforschung“.

Die Zusammenarbeit zwischen AWI-Wissenschaftlern und Hochschullehrern der Universität Bremen im Rahmen von Berufungskommissionen war überaus konstruktiv und einvernehmlich.

Die Universität Bremen lud die Direktoren des AWI, des ZMT sowie des MPI für Marine Mikrobiologie mehrmals zu Arbeitssessen in Bremen ein (27. 11. 1992, 23.2. 1993 und 7. 12. 1993). Sie führten zu einem überaus intensiven Erfahrungs- und Gedankenaustausch. Für das AWI sind vor allem die folgenden Aspekte von Bedeutung:

- Die Nutzung des FK „Victor Hensen“ durch die Universität Bremen, das ZMT sowie das MPI.
- Die Lehrtätigkeit von AWI Wissenschaftlern an der Universität Bremen; eine verstärkte Kurtätigkeit von AWI Wissenschaftlern für Bremer Studenten am AWI.
- Die Entwicklung eines Forschungsverbundes „Umweltforschung“ an der Universität Bremen.

Am 22. 3. 1993 fand ein ausführliches Gespräch zwischen Prof. Tilzer und dem Rektor und Konrektor der Universität Bremen über Fragen von gemeinsamem Interesse statt. Am 26. Oktober 1993 fand in Potsdam ein Gespräch von Prof. Tilzer und Dr. Paulenz mit Prof. Mitzner, Rektor der Universität Pots-

dam, statt. Es wurde vereinbart, einen Kooperationsvertrag abzuschließen.

In dem 1992 gegründeten AGF-Forschungsverbund „Umweltvorsorge“ ist neben sieben weiteren Großforschungseinrichtungen auch das Alfred-Wegener-Institut beteiligt. Die Forschungsaktivitäten des AWI im Rahmen des Verbundes konzentrieren sich auf den Schwerpunkt „Chemie und Transport von Spurenstoffen in der Atmosphäre“ mit den Teilbereichen „Ozonbildung in der planetaren Grenzschicht“ und „Abbau der stratosphärischen Ozonschicht in der Nordhemisphäre“.

Die Fortführung des DFG-Schwerpunktprogrammes „Antarktisforschung“ (Koordinator Prof. Hempel) sicherte dem AWI die Zusammenarbeit mit den deutschen Universitäten und Hochschulen. Die Förderung von Arbeiten in arktischen Gebieten erweiterte das Programm wesentlich. FS „Polarstern“ wurde von Wissenschaftlern des Schwerpunktprogrammes optimal genutzt.

## 3. Forschungsarbeiten – Expeditionen

### 3.1 Zehnte Antarktisexpedition der „Polarstern“ (Dezember 1991 bis Februar 1993)

#### 3.1.1 Antarktisexpedition ANT X/2, Punta Arenas – Kapstadt

Der Fahrtabschnitt ANT X/2 begann am 4.1.1992 in Punta Arenas und endete am 26.3.1992 in Kapstadt. Er galt überwiegend geowissenschaftlichen und glaziologischen Fragen, deren Untersuchung mit umfangreichen Arbeiten an Land und auf dem Eis verbunden war. (Fahrtleitung Prof. H. Miller).

„Polarstern“ war in dieser Saison weitgehend von den sonst üblichen Versorgungsaufgaben entlastet, weil ein Schiff, das wegen des Neubaus der Neumayer-Station gechartert worden war, diese Aufgaben übernahm. Dafür hatte „Polarstern“ aber zwei unabhängige Forschergruppen abzusetzen und zu unterstützen.

Im Drescher Inlet beobachteten Biologen über mehrere Wochen hinweg das Freß- und Tauchverhalten von Robben und Pinguinen. Sie setzten damit bereits früher begonnene Arbeiten fort. Mit Hilfe weiterentwickelter Verfahren zur Bestimmung der Tauchtiefe und zur Untersuchung des Freßverhaltens konnten sie neue Ergebnisse zur Ökophysiologie dieser Tiere gewinnen.

Eine große Gruppe von Glaziologen setzte die Arbeiten an einem langfristigen Forschungsprogramm auf dem Ronne Schelfeis fort, das Teil des internationalen Filchner-Ronne-Schelfeis-Programms ist. Es befaßt sich mit dem Massenhaushalt und der Dynamik des Schelfeises. Aufbauend auf Ergebnissen früherer Expeditionen wurden in dieser Kampagne besonders die Prozesse an der Schelfeisunterseite untersucht. Um die SAR- und Altimeterdaten des ERS-1 Satelliten besser interpretieren zu können, wurden mit umfangreichen „ground truth“ Studien die tatsächlichen Verhältnisse am Boden erkundet und festgehalten. Außerdem wurde die Vermessung von Bewegung und Deformation des Schelfeises fortgesetzt. Als geodätischer Bezugspunkt für die präzisen Lage- und Höhenbestimmungen diente dabei die argentinische Station Belgrano II, an der ein Expeditionsteilnehmer die entsprechenden Beobachtungen durchführte.

Die Glaziologen interessierte außerdem die Dynamik und die Energiebilanz des Meereises. Ihre Untersuchungen stützten sich auf Satellitendaten, die auch an Bord empfangen und bearbeitet

wurden, direkte Beobachtungen mit Hilfe von Meßbojen und einer vom Hubschrauber aus eingesetzten Zeilenbildkamera. Schwerpunkt dieses Fahrtabschnitts waren geophysikalische Arbeiten zur Untersuchung der Erdkruste und ihrer sedimentären Bedeckung sowie begleitende marin-geologische Untersuchungen. Es wurde, ebenfalls aufbauend auf Ergebnissen früherer Expeditionen, in ausgewählten Gebieten zwischen der Antarktischen Halbinsel und dem Astrid Rücken gearbeitet. Damit ist die Kartierung der sedimentären Bedeckung sowie der Strukturen der tieferen Erdkruste in Schlüsselgebieten vervollständigt worden.

Während der Reise mußte das wissenschaftliche Programm für einige Zeit unterbrochen werden, um das südafrikanische Versorgungsschiff „Agulhas“, das mit einem irreparablen Ruder-schaden fast manövrierunfähig war, aus der Packeiszone zu eskortieren. Ein Hilfsschiff aus Südafrika übernahm dann die weitere Begleitung. Auf der Rückreise nach Kapstadt war noch ein Teil der Baumannschaft von der Neumayer-Station an Bord. Außerdem reisten die 14 Teilnehmer der Sommerkampagne an der Georg-Forster-Station mit.

#### 3.1.2 Antarktisexpedition ANT X/3, Kapstadt – Kapstadt

Vom 27. März bis zum 19. Mai 1992 wurden von dem FS „Polarstern“ aus auf der Verbindungslinie zwischen Kapstadt und der Neumayer-Station sowie im Küstenbereich vor der Antarktisstation vorwiegend biologische Untersuchungen bei herbstlichen Meereisbedingungen durchgeführt (Fahrtleiter: Prof. M. Spindler).

Das Hauptanliegen der Reise war eine ausführliche Beprobung der Lebensgemeinschaften im Meereis und im oberen Bereich (500 m) der Wassersäule. Daneben wurden barophile Bakterien und das Benthos in Tiefen größer als 1000 m erforscht. Mit einem benthopelagischen Trawl wurden für eine Reihe physiologischer Studien Fische gefangen. Die physikalischen Umgebungsbedingungen wurden laufend durch hydrographische Messungen erfaßt. Diese Messungen dienten auch zur detaillierten Aufzeichnung der dreidimensionalen Struktur der Küstenfront vor dem antarktischen Kontinent in dem Sektor zwischen 4°E und 12°W.

An den Arbeiten auf dem Schiff wirkten neben 31 deutschen Wissenschaftlern und Technikern 20 Teilnehmer 9 ausländischer Forschungsinstitutionen mit. Dementsprechend erfolgt auch die Bearbeitung der Proben und Meßwerte in beträchtlichem Umfang interdisziplinär und in internationaler Zusammenarbeit.

### **3.1.3 Antarktisexpedition ANT X/4, Kapstadt – Puerto Madryn**

Dieser Fahrtabschnitt (vom 21. Juni bis zum 5. August 1992) war die dritte Reise der „Polarstern“ im antarktischen Winter. Er bildete auch die dritte Meßphase der Weddell-Wirbel-Studie und leistete mit hydrographischen Messungen zwischen Kapstadt und dem Antarktischen Kontinent (längs der WOCE-Linie SR2) ferner einen bemerkenswerten Beitrag zum internationalen World Ocean Circulation Experiment (WOCE) (Fahrtleiter: Prof. P. Lemke).

Das Beobachtungsprogramm enthielt neben den dichten hydrographischen Sondierungen und Wasserprobennahmen regelmäßige Messungen des thermischen und kinematischen vertikalen Aufbaus der Atmosphäre, aller Größen zur Spezifikation der atmosphärischen Randbedingungen an der Meeresoberfläche, der physikalischen Eigenschaften des Meereises und dessen Schneedecke. Ferner wurden die optischen und elektromagnetischen Eigenschaften der Schnee- und Eisoberflächen untersucht, um Satellitendaten, vor allem die des europäischen Satelliten ERS-1, zu überprüfen. Außerdem wurden mit Fernerkundungsmessungen die Bedeckung, Konzentration und Bewegung des Meereises großflächig bestimmt.

Schließlich lieferten die Wasser- und Meereisproben Informationen über die Verteilung des Phyto- und Zooplanktons sowie der Nährstoffe im Meereis und in der oberen Wassersäule im Hochwinter.

Dieser Fahrtabschnitt stellte wegen der ungünstigen Wetter- und Eisbedingungen und der Polarnacht besondere Anforderungen an die Schiffs- und Forschungsbesatzung.

### **3.1.4 Antarktisexpedition ANT X/5, Puerto Madryn – Punta Arenas**

Während des südlichen Spätwinters, vom 8. August bis zum 26. September 1992 war „Polarstern“ Stützpunkt für meeresgeologische Studien im Argentinischen und Georgischen Becken,

im Südsandwich-Graben, dem Scotia Meer und der Drake Passage (Abb 1). Fahrtleiter war Dr. R. Gersonde.

Großes Gewicht wurde auf eine ausführliche Beprobung der Oberflächensedimente gelegt. Aus den Proben soll die Verteilung informativer Sedimentkomponenten (u. a. Tonminerale, Kohlenstoff, Quarz, Opal) abgeleitet und die Verteilung von Mikroorganismen unter rezenten Umweltverhältnissen anhand benthischer Foraminiferen, Diatomeen und Radiolarien analysiert werden. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse helfen bei der Rekonstruktion früherer Klimabedingungen aus Meeressedimenten der südlichen Polarregion. Zu diesem Zweck wurden an 40 Stationen Sedimentkerne (mittlere Länge 10 m) mit dem Schwere- und dem Kolbenlot gezogen. Vermessungen des Meeresbodens mit dem Hydrosweep-System und Registrierungen der Sedimentstruktur mit dem Parasound-System begleiteten diese Beprobungen. Die Bearbeitung der Daten erfolgt überwiegend innerhalb des bremischen Sonderforschungsbereichs der Deutschen Forschungsgemeinschaft: „Südatlantik im Spätherbst: Rekonstruktion von Stoffhaushalt und Stromsystemen“.

Parallel zu hydrographischen Messungen wurde der Nährstoffgehalt in Wasserproben festgestellt und Plankton mit speziellen Netzen gefangen. Zusammengenommen tragen die so gewonnenen Daten zur Aufklärung aktueller Sedimentationsvorgänge bei.

Um im Jahr 1995 die geodynamischen Prozesse ausführlich untersuchen zu können, wurden in der Randzone des Südsandwich-Grabens Voruntersuchungen vorgenommen. Das dort mit Dredgen gewonnene Material eröffnet einen ersten Einblick in die geodynamischen Vorgänge.

Schließlich vervollständigten regelmäßige hydrographische Serien das Meßprogramm. Sie tragen dazu bei, den Wassermassenaufbau und die Vermischungsprozesse im Bereich der Polarfront und der Subantarktischen Front zu beschreiben bzw. abzuschätzen, sowie die Lage des Antarktischen Zirkumpolarstroms im Spätwinter zu bestimmen.

### **3.1.5 Antarktisexpedition ANT X/6, Punta Arenas – Kapstadt**

ANT X/6 (Frühling am Eisrand) wurde im Rahmen der internationalen Southern Ocean - Joint Global Ocean Flux Study (SO-JGOFS) vorbereitet und durchgeführt. Alle 51 Wissenschaftler an Bord bearbeiteten Fragen im Rahmen dieses Programms, das 27 Standardparameter zur Erfassung des Kohlenstoffflusses zwischen der Deckschicht und dem Meeresboden vorschreibt.

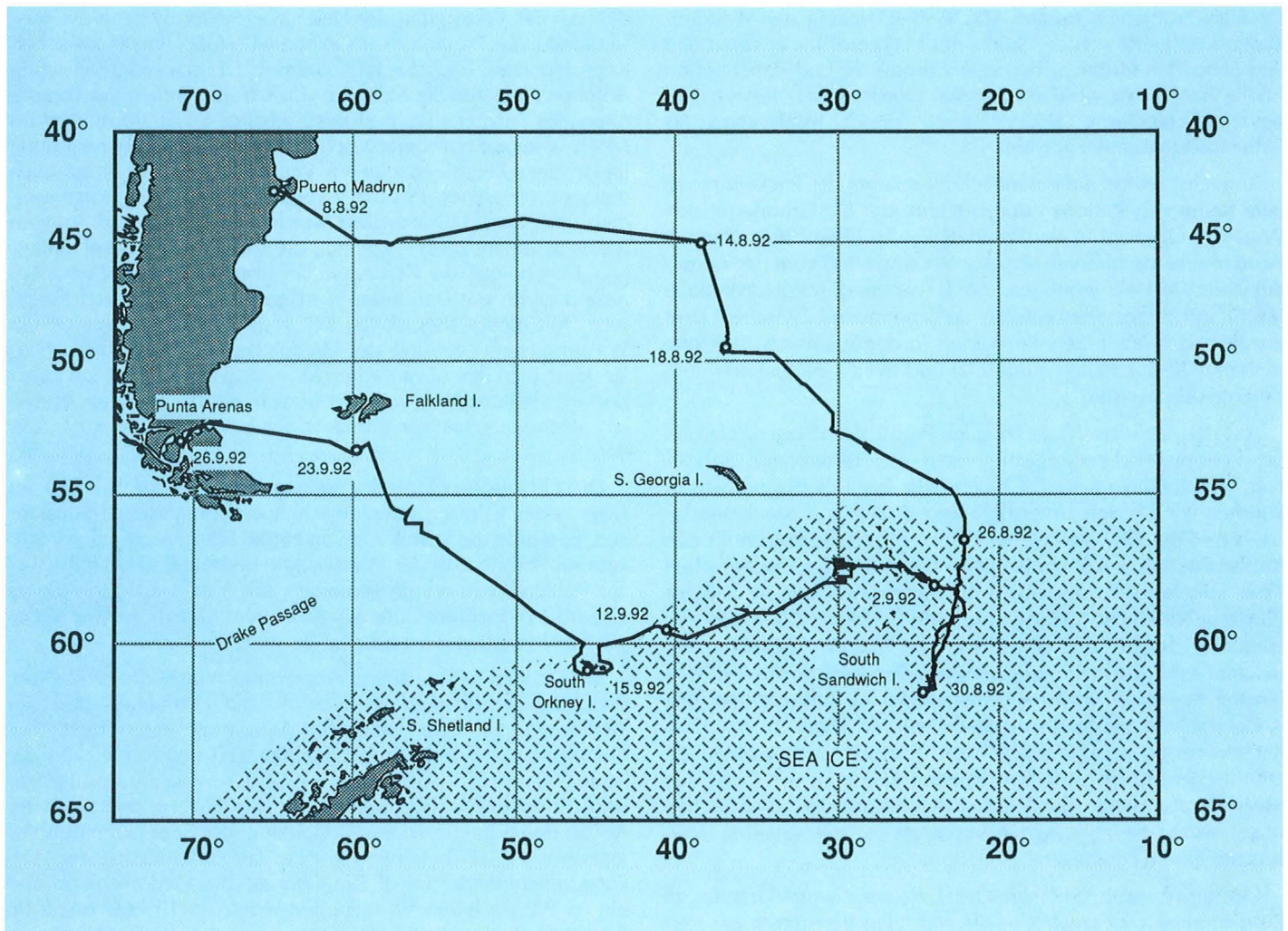


Abb 1.: Fahrtroute der "Polarstern" während der Antarktisexpedition ANT-X/5 und die mittlere Meereisverbreitung während der Reise

Zusätzlich wurde eine Reihe von anderen Parametern gemessen, die auf die Besonderheiten des Südpolarmeeres zugeschnitten sind (Meereis, Spurenmetalle, Warmblüter). Ziel dieser Fahrt war es, die Entwicklung des pelagischen Systems in drei charakteristischen Wasserkörpern zu verfolgen: Weddellwirbel, südlicher Zirkumpolarstrom, Polarfrontzone. Das Gebiet vor der schmelzenden Meereisgrenze, die zu dieser Jahreszeit an der Front zwischen Weddellwirbel und dem Zirkumpolarstrom lag, sollte

besonders berücksichtigt werden. Die Fahrt begann am 29.9. und endete am 30.11.1992 (Fahrtleitung Prof. V. Smetacek).

Damit Phytoplanktonblüten, die für den Kohlenstoffkreislauf von besonderer Bedeutung sind, sich entwickeln können, ist eine ausreichende Licht- und Nährsalzzufuhr (einschließlich Spurenstoffe wie Eisen) notwendig sowie ein im Verhältnis zur Primärproduktion geringer Fraßdruck. Es wird angenommen, daß solche günstigen Bedingungen am schmelzenden Meereis-

rand im Frühjahr auftreten. Das Gebiet entlang der Weddell-Scotia-Konfluenz von der Spitze der Halbinsel bis etwa zu den Süd-Sandwich-Inseln ist besonders produktiv und daher schon häufig untersucht worden. Diesmal wurde daher der weniger bekannte landferne Sektor östlich dieser Inselgruppe als Untersuchungsgebiet gewählt.

Zunächst wurde auf einem Schnitt entlang der Packeisgrenze eine Reihe von Stationen durchgeführt, um die Gründe für den West-Ost Gradient in der Produktivität zu überprüfen. Danach wurden drei meridionale Schnitte (entlang 6°W) vom packeisbedeckten Weddellwirbel (ca. 60°S) bis in die Polarfrontzone (46°S) mit enger Stationsfolge aufgenommen. Zwischen dem ersten und zweiten Schnitt wurden in der Schmelzwasserzone treibende Sinkstofffallen ausgesetzt und in situ Inkubationsexperimente durchgeführt.

Aus den Meßdaten der vertikalen Profile der Wassersäule und der kontinuierlichen Registrierungen von Temperatur, Salzgehalt, Kohlendioxid und Chlorophyll im Oberflächenwasser konnten wir für den Untersuchungszeitraum ein dreidimensionales Bild der Entwicklung des Plankton und der Folgen für den Kohlenstofffluß zeichnen: Nicht im schmelzenden Eisrandgebiet - wie im Westen -, sondern an der Polarfront hatten sich Algenblüten gebildet. Die Gesamtbiomassen (>280 mg Chl.a m<sup>-2</sup>) entsprachen denen, die sonst nur von flachen Schelfmeeren bekannt sind; die maximal gemessene Produktion von 3 g Kohlenstoff m<sup>-2</sup> Tag<sup>-1</sup> wird im Weltmeer kaum überschritten. Die Abnahme von Kohlendioxid sowie von <sup>234</sup>Thorium im Oberflächenwasser dokumentierte den Aufbau von partikulärem organischem Kohlenstoff bzw. dessen Export in die Tiefe. Am Meeresboden wurde die Auswirkung absinkenden organischen Materials auf die chemischen Vorgänge des interstitiellen Wassers mit einem Freifallgerät aufgenommen.

Der gewonnene umfangreiche Datensatz wurde bereits an Bord in einer Datenmatrix erfaßt und allen Beteiligten zur Verfügung, Ergänzung und weiteren Verarbeitung in ihre Heimatinstitutionen mitgegeben.

### 3.1.6 Antarktisexpedition ANT X/7, Kapstadt - Ushuaia

Die Untersuchungen dieses Fahrtabschnitts (3. 12. 1992 bis 22. 1. 1993) waren ein Teil der Weddell-Wirbel-Studie, die 1989 begann und zum World Ocean Circulation Experiment (WOCE) beiträgt. Fahrtleiter war Dr. E. Fahrbach.

Nach der Versorgung der Neumayer-Station begann das wissenschaftliche Programm im zentralen Weddellmeer zwischen Kapp Norvegia und der Joinvilleinsel. Die ozeanographischen Arbeiten umfaßten die Messung von Vertikalprofilen der Temperatur, des Salzgehaltes und des Gehaltes an Spurenstoffen im Meerwasser auf hydrographischen Stationen. Der Aufzeichnung langfristiger Zeitreihen dienten Verankerungen mit Strömungsmessern, von denen 19 nach zweijähriger Meßdauer aufgenommen und neun neu ausgelegt wurden. In zwei Verankerungen waren Sedimentfallen eingebaut, die absinkende Partikel auffangen. Eisecholote, die Zeitreihen der Eisdicke über der Verankerungsposition messen, wurden in sechs Verankerungen eingesetzt. Mit diesen Messungen läßt sich die Zirkulation und die Wassermassenverteilung des Weddellwirbels bestimmen. Daraus kann man den ozeanischen Massen-, Wärme- und Salztransport ins südliche Weddellmeer berechnen, der den Beitrag dieses Meeresgebietes zur Klimawirksamkeit des Ozeans begründet.

Die chemischen Untersuchungen befaßten sich mit den im Meerwasser gelösten anorganischen und organischen Substanzen. Es wurde die Verteilung von Nitrat, Nitrit, Ammonium, Silikat und Phosphat in der Wassersäule bestimmt. Das Treibhausgas Kohlendioxid wurde gemessen, um festzustellen, ob dieses Gas im Weddellmeer überwiegend vom Ozean an die Atmosphäre abgegeben wird oder umgekehrt.

Im Rahmen biologischer Programme wurde die Verteilung verschiedener Planktonarten erfaßt, die Produktion und der Stoffumsatz gemessen und die Anpassung unterschiedlicher Organismen an antarktische Bedingungen untersucht. Um die Verfügbarkeit von Nährstoffen im Stoffkreislauf zu bestimmen, ist nicht nur der Aufbau organischer Substanz, sondern auch der Abbau durch Bakterien von Bedeutung, der in einem mikrobiologischen Projekt behandelt wurde. Zur Abschätzung der Wirkung zunehmender UV-B Strahlung auf das Phytoplankton und die im Wasser lebenden Bakterien wurde an 19 Positionen die Eindringtiefe der Strahlung unterschiedlicher Wellenlängenbereiche gemessen.

Nach dem Abschluß der Arbeiten auf dem Hauptschnitt war ein Vorstoß nach Süden entlang des Larsen Schelfeises möglich. Während sich normalerweise die Eisdecke im südwestlichen Weddellmeer kaum öffnet, waren in diesem Jahr weite Gebiete mit weniger als 50% Eis bedeckt. Bei 69°S begann ein Schnitt von der Schelfeiskante aus nach Nordosten. Hier galt besondere Bedeutung dem Ausstrom von Weddellmeer-Bodenwasser, das am Kontinentalabhang nach Norden fließt. Aus den Messungen, die etwa auf der Hälfte zwischen einem wahrscheinlichen Ent-

stehungsgebiet dieser Wassermasse, dem Filchner-Ronne Schelfeis, und der Joinvilleinsel liegen, kann man feststellen, ob auch im westlichen Weddellmeer Bodenwasser gebildet wird, und es ist möglich, die Absinkgeschwindigkeit des Bodenwassers sowie die Intensität der Vermischung mit den umliegenden Wassermassen abzuleiten.

### 3.1.6 Antarktisexpedition ANT X/8, Ushuaia – Bremerhaven

Auf der Heimreise aus der Antarktis vom 24. 1. bis 22. 2. 1993 (Fahrtleiter: Prof. G. Krause) waren die meisten Untersuchungen Teil langfristiger Beobachtungsprogramme. Dazu gehörten fast alle chemischen Spurenstoffprojekte, die globale Erfassung des Kohlendioxids-Gehalts in Luft und Oberflächenwasser, die Ozonmessungen sowie die Aufnahmen der Temperaturverteilungen in der Deckschicht des Meeres mit XBT- und in der Atmosphäre mit Radiosonden.

Erstmalig wurde das im AWI neuentwickelte Schiffslidar-Gerät eingesetzt, das nach acht Tagen Installationszeit nahezu im Routinebetrieb gefahren werden konnte. Parallel dazu wurden sowohl für das neue System als auch für die Satellitenfernerkundung der weltweiten Verteilung von Algen zahlreiche optische Eigenschaften des Meerwassers gemessen.

Die Konzentration des Ozons in Bodennähe stieg beim Überqueren der Innertropischen Konvergenzzone (etwa am Äquator) sprunghaft auf fast den doppelten Wert an (von 20 auf 35–40 ppb). Die Messungen sollen klären, ob hauptsächlich die stärkere anthropogene Belastung der Nordhemisphäre oder aber natürliche Effekte diesen Anstieg verursachen.

In der Südhemisphäre liegt die Rußbelastung der Luft über dem Ozean unterhalb der Nachweisgrenze des an Bord eingesetzten, empfindlichen Gerätes. Auf der Nordhalbkugel störte Saharastaub diese Messungen zeitweise erheblich, so daß eine eventuell stärkere Rußbelastung der nördlichen Hemisphäre, die infolge des größeren vom Menschen hervorgerufenen Eintrags auf der Nordhalbkugel erwartet wird, wahrscheinlich nicht nachgewiesen werden konnte.

Die fortlaufenden Registrierungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration in Luft und Wasser haben ergeben, daß das Meer zwischen 40° und 30° Süd CO<sub>2</sub> aufnimmt während zwischen 30°S und 5° Nord fluktuierende Übersättigungen angetroffen wurden.

Das Wasserstoffperoxid, ein wichtiges „Reinigungsmittel“ in der Luft, zeigt ein Konzentrationsprofil mit einem breiten Maximum zwischen den Wendekreisen. Seine Konzentration in der

sauberen Atlantikluft hängt hauptsächlich von der Sonneneinstrahlung ab. Die bisherigen Messungen deuten darauf hin, daß es wohl überwiegend aus der Luft und weniger durch photochemische Reaktionen im Meerwasser in das Oberflächenwasser gelangt.

## 3.2 Neunte Arktisexpedition der „Polarstern“ (Februar - Oktober 1993)

### 3.2.1 Arktisexpedition ARK IX/1a, Bremerhaven – Longyearbyen

Diese erste Winterexpedition in die Arktis (26. 2.–24. 3. 1993) hatte die Meteorologie und Meereisforschung in der Framstraße zum Schwerpunkt. (Fahrtleiter Dr. H. Eicken).

Unter äußerst extremen winterlichen Bedingungen (bei durchschnittlich -37°C während der ersten Woche) wurde die „Polarstern“ in der Framstraße westlich von Spitzbergen an einer großen Eisscholle festgemacht, um atmosphärische Grenzschicht-Untersuchungen über Kaltluftausbrüche und den Wärmeaustausch im Bereich der Eisrandzone durchzuführen. Für diese Arbeiten lag die Federführung beim Meteorologischen Institut der Universität Hamburg, in Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Meteorologie und eingebunden in ein international abgestimmtes Meßprogramm. Hierzu gehörten auch Flugzeugmessungen über der Framstraße, an denen sich das AWI mit seinen Flugzeugen „Polar 2“ und „Polar 4“ beteiligte („REFLEX 2“: Radiation and Eddy Flux Experiment zur Untersuchung mesoskaliger atmosphärischer Verhältnisse).

Dieses umfangreiche Programm wurde durch ozeanographische Messungen unterstützt. Hinzu kamen wasser- und luftchemische Messungen, biologische Probennahmen sowie breit gefächerte Untersuchungen der Eigenschaften des Meereises und der Lebensgemeinschaften im Eis.

Die Expedition erbrachte wertvolle Daten, die zum Verständnis der meteorologischen Prozesse in der winterlichen arktischen Grenzschicht beitragen. Es war möglich, die Eigenschaften des Eises bei bislang nicht untersuchten extremen Wintertemperaturen zu messen sowie Basisdaten zur Interpretation von Fernerkundungs-Methoden (ERS-1) zu erfassen. Auch der Einfluß interner Wellen auf die Bewegungen von Eisschollen wurde untersucht. Die Eisbiologen konnten zeigen, daß die Winterverhältnisse im Eis keine aktiven Lebensprozesse zulassen; Fische und Krebse unter dem Eis sind jedoch aktiv. Darüber hinaus

wurden Messungen zur Kohlendioxid-Verteilung zwischen Wasser und Atmosphäre erfolgreich durchgeführt.

### 3.2.2 Arktisexpedition ARK IX/1b, Longyearbyen – Bremerhaven

Ozeanographische Untersuchungen der winterlichen Schichtungs- und Zirkulationsverhältnisse standen bei diesem Fahrabschnitt (24. 3. – 18. 4. 1993) auf dem Programm. Gleichzeitig sollte die Bedeutung dieser Verhältnisse für die Ökologie im Bereich der Framstraße und der zentralen Grönlandsee untersucht werden. Fahrtleiter war Prof. J. Meincke, IfM Hamburg. Die meereskundlichen Arbeiten sind Bestandteil der seit 1988 laufenden, international abgestimmten Experimente „Arktis“ und „Greenland Sea Project“, die vor allem vom Sonderforschungsbereich 318 („Klimarelevante Prozesse“) der Universität Hamburg und vom AWI unter dem Dach des Arctic Ocean Sciences Board getragen werden.

Zunächst wurden ozeanographische Messungen entlang 79°N in der Framstraße abgearbeitet und drei Verankerungen zur Eisdicken-Bestimmung aufgenommen. In der eigentlichen Grönlandsee (nahe 75°) gelangen ebenfalls erfolgreiche Messungen und die Bergung dreier ozeanographischer Verankerungen. Es wurde ermittelt, daß winterliche Absinkprozesse des Wassers in der Regel nicht tiefer als 300 m reichten, einmal bis 800 m. Offensichtlich hat auch in diesem Winter keine nennenswerte Erneuerung des Tiefenwassers in der Grönlandsee stattgefunden. Dies haben Freonmessungen bestätigt. Der seit 1980 unterhalb 1200 m andauernde Anstieg von Temperatur und Salzgehalt hat sich fortgesetzt. Weitergehende Aussagen werden erst möglich sein, wenn die Daten der verankerten Meßgeräte ausgewertet sind.

Die biologischen Arbeiten belegen einen frühen Aufstieg des Copepodenkrebsses *Calanus hyperboreus* aus Überwinterungstiefen von mehr als 1000 m. Beobachtungen der Eisverhältnisse zeigten, daß die Persistenz von Pfannkucheneisfeldern und die Bildung von Neueis (im April) eng an das Auftreten von salzärmeren Wasserlinsen gebunden ist. Die z. T. schon im Fahrabschnitt 1a begonnenen chemischen Messungen über ozeanographische Tracer, Pflanzen-Nährsalze und CO<sub>2</sub> wurden fortgeführt.

### 3.2.3 Arktisexpeditionen ARK IX/2, Bremerhaven – Tromsø, und ARK IX/3, Tromsø – Tromsø

Obwohl die Expedition in zwei Fahrabschnitte aufgeteilt und unter verschiedenen Fahrtleitern durchgeführt wurde (ARK IX/2:

16. 5. – 24. 6. 1993, Fahrtleiter Dr. G. Kattner und ARK IX/2: 25. 6. – 4. 8. 1993, Fahrtleiter Dr. H.-J. Hirche), ist sie eine thematische Einheit. Deshalb werden die Abschnitte hier zusammen dargestellt.

Die im Rahmen des Arctic Ocean Sciences Board abgestimmten internationalen arktischen „Polynya-Programme“ dieser „Polarstern“-Expedition hatten ihren Untersuchungsschwerpunkt in der regelmäßig wiederkehrenden Polynya, dem Nordostwasser („NEW“) von Grönland, der durch die Biologen, Ozeanographen, Chemiker und Geologen an Bord getragen wurde. Parallel dazu liefen ökologische und volkskundliche Untersuchungen auf Grönland, die durch „Polarstern“ unterstützt wurden.

Im Zentrum der Arbeiten standen Messungen zur biologischen Produktion und zum Partikelfluß in der Wassersäule. Die geringe Zooplanktonbiomasse und das fleckenhafte Auftreten hoher Konzentrationen von Eisalgen und Phytoplankton machen es wahrscheinlich, daß ein Großteil der Primärproduktion nicht von den Lebewesen im freien Wasser (Pelagial) genutzt wird, sondern den am Boden lebenden Organismen (Benthos) zur Verfügung steht. Das Zoobenthos war, wie die Plankter im Wasser, sehr fleckenhaft verteilt, im flachen Wasser mitunter durch die Wirkung gestrandeter Eisberge verstärkt. Erhöhte Stoffwechselaktivität, angeregt durch sedimentierte Algen, konnte an einer wöchentlich besuchten Benthos-Zeitreihenstation nachgewiesen werden.

Eine Kolonie von ca. 120 Walrossen, die ab Juli ihre Jungtiere aufzogen, und zahlreiche Narwale werden als Indiz für die Bedeutung der Polynya als Nahrungsquelle für höhere Stufen im Nahrungsnetz gewertet. Archäologische Befunde zeigen, daß auch die Eskimos die Polynya schon seit mindestens 4000 Jahren als Lebensgrundlage nutzen.

Über 3 Monate lang wurde das Brutverhalten des Eissturmvogels und der Dreizehenmöwe an einem Vogelfelsen beobachtet. Während der Expedition neu gefundene, größere Brutkolonien der Elfenbeinmöwe auf den Henrik-Krøyer-Inseln werden wohl zu einem erhöhten Schutz dieser Art im Grönland-Nationalpark beitragen. Indem Eisbären mit Sendern versehen wurden, konnten die Wanderungs-Gewohnheiten der Population in NO-Grönland über Satelliten verfolgt werden.

Durch ozeanographische Messungen wurden die physikalischen Bedingungen erforscht, die für das regelmäßige Auftreten der offenen Wasserfläche im Packeis verantwortlich sind. Die Chemiker wiesen u.a. Auftriebsphänomene an großen Barrieren aus Landfesteis nach. Der Vergleich von CO<sub>2</sub>-Messungen in der



Polynya und in der zentralen Grönlandsee soll Aussagen über die Bedeutung der erhöhten biologischen Produktion in der Polynya für den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre ermöglichen.

Eisbedeckung, Eisbeschaffenheit und Eisdrift wurden von den Fernerkundlern auf verschiedenen Skalen untersucht. Die Kombination von Satellitenbildern, Videoaufnahmen vom Hub-schrauber und von Bodenbeobachtungen soll Interpretationshilfen für die Auswertung von Satellitenbildern bringen.

Der US-Coast-Guard-Eisbrecher „Polar Sea“ kam Mitte Juli ins Arbeitsgebiet und setzte die von „Polarstern“ begonnenen Arbeiten fort, vor allem die Zeitreihenuntersuchungen.

### 3.2.4 Arktisexpedition ARK-IX/4, Tromsø – Murmansk – Bremerhaven

Dieser Fahrtabschnitt vom 6. August bis 5. Oktober 1993 führte „Polarstern“ zum eurasischen Kontinentalrand der östli-

chen Barentssee und der Laptevsee (Abb. 2). Zum ersten Mal hatte ein deutsches Forschungsschiff eine Genehmigung zu Forschungsarbeiten in der russischen Wirtschaftszone (EEZ) und im nördlichen Seeweg (NSR) erhalten. Nach langwierigen Vorgesprächen war es gelungen, eine gemeinsame deutsch-russische Expedition mit „Polarstern“ in der organisatorischen Zusammenarbeit mit dem „Arctic and Antarctic Research Institute“ (AARI) des Hydrometeorologischen Dienstes in St. Petersburg und der Beteiligung verschiedener Institute der Russischen Akademie der Wissenschaften aus Murmansk, St. Petersburg und Moskau mit einem abgestimmten wissenschaftlichen Programm durchzuführen. (Fahrtleitung Prof. D. Fütterer).

Die Eisverhältnisse, die im Arktischen Ozean von Jahr zu Jahr stark variieren, erwiesen sich in diesem Jahr zeitweise als schwierig. Zwischen Spitzbergen und Franz-Josef-Land verzögerte das dichte Packeis die Arbeiten sehr. Zwei geplante Beprobungsprofile nördlich Franz-Josef-Land mußten ausfallen. Der

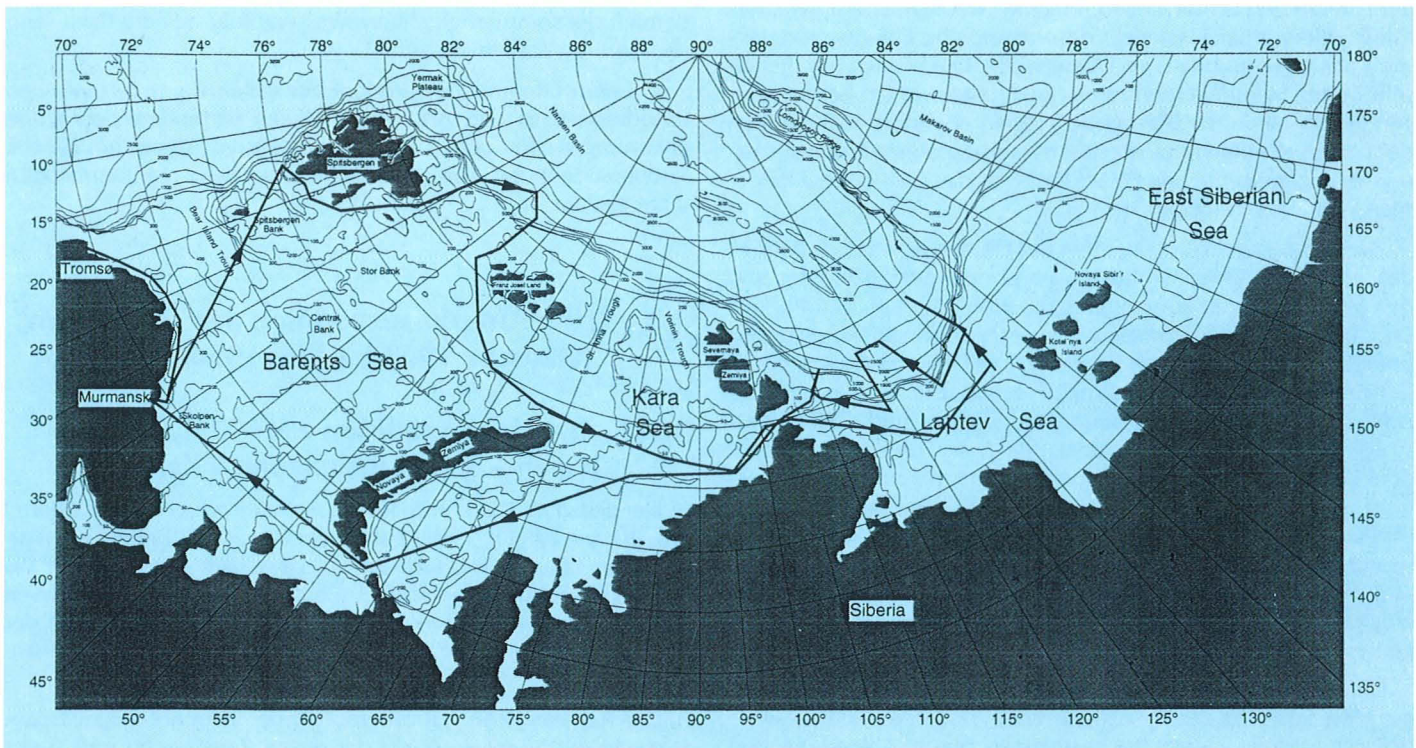


Abb. 2: Deutsch-russische Arktisexpedition 1993, der vierte Fahrtabschnitt der neunten „Polarstern“-Expedition in die Arktis.

Transit vom Arbeitsgebiet nördlich Franz-Joseph-Land durch die Karasee erfolgte zügig. In der Straße von Vilkitski – am Westausgang der Laptevsee – mußte „Polarstern“ mehrere Tage warten, bis sie die mächtige Packeisbarriere des Taymyr-Eismassivs in der westlichen Laptevsee in einem Konvoi zusammen mit drei russischen Nukleareisbrechern passieren konnte.

Das multidisziplinäre Forschungsprogramm umfaßte geologische und biologische Beprobungen des Meeresbodens, chemisch- und physikalisch-ozeanographische sowie biologische Messungen auf Profilschnitten vom Schelf in die Tiefsee und die Untersuchung des Meereises.

Das geologische Programm konzentrierte sich auf die Beprobung des Kontinentalrandes, besonders der Laptevsee, für Untersuchungen zum Paläoklima, zur Paläoozeanographie des Arktischen Ozeans und zur Meereisverteilung in der geologischen Vergangenheit. Erste Ergebnisse zeigen, daß der weite Schelf der Laptevsee – im Gegensatz zur Barentssee – während der letzten Eiszeit nicht von einem Eisschild bedeckt gewesen ist. Verschiedene tief in den Schelf eingeschnittene – heute mit Sediment verfüllte – Urstromtäler spiegeln das vorzeitliche Entwässerungssystem der großen sibirischen Flüsse wider. Die bislang ermittelten sehr hohen Sedimentationsraten – mehr als zwei Größenordnungen größer als in der Barentssee – lassen erwarten, daß das Ziel der Untersuchungen – eine zeitlich hochaufgelöste Rekonstruktion des nacheiszeitlichen Paläoklimas für das Gebiet der Laptevsee – wirklich erreichbar ist.

Die Meereisuntersuchungen in der Laptevsee – der „Eisfabrik“ des Arktischen Ozeans – galten besonders der Eisbildung und den Veränderungen vom einjährigen zum mehrjährigen Packeis im Übergang in die Transpolare Eisdrift. Die in situ-Messungen umfaßten die visuelle Beschreibung, die Dickenmessung durch Bohrungen und Radarmessungen sowie die stratigraphische Analyse mit Temperatur-, Salinitäts-, Dichte- und Gefügemessungen. Die Biologen untersuchten die Lebewesen im und unter dem Eis. Mit Methoden der Fernerkundung, die ein weites Spektrum von einer Hubschrauber-getragenen „line scan camera“ (Auflösung 1 m), über ein Flugzeug-getragenes Radarsystem (Auflösung 30–40 m) bis zu Radarbildern des ERS-1-Satelliten und AVHRR-Bildern des NOAA-Satelliten umfaßten, sollen langfristig die Meereistypen, ihre Konzentration und großräumige Bewegung verfolgt werden.

Die ozeanographischen Messungen konzentrierten sich auf die Untersuchung der Prozesse in der Barentssee und Laptevsee bei der Bildung dichter Wassermassen durch Abkühlung und Eisbildung und ihres Absinkens in das Arktische Becken. Zusam-

men mit ähnlichen Absinkvorgängen in der Groönlandsee tragen die eurasischen Flachmeere vermutlich wesentlich zur Erneuerung des Tiefenwassers der Ozeane bei. Über den Umfang und die Mechanismen der Tiefenwasserbildung existieren bislang jedoch nur ungenaue Vorstellungen. Über die Messung von Temperatur, Salinität und Spurenstoffen in einem dichten Stationsnetz läßt sich die Ausbreitung des Schelfwassers in der Tiefsee verfolgen. Die Spurenstoffe – natürlichen wie anthropogenen Ursprungs – gelangen über die sibirischen Flüsse oder die Atmosphäre ins Meer und „markieren“ so das Schelfwasser. Nach ersten Ergebnissen an Bord läßt sich von der östlichen Barentssee bis zur Laptevsee eine deutliche Zunahme des von den angrenzenden Schelfen abgesunkenen „jungen Tiefenwassers“ feststellen.

Die biologischen Untersuchungen am Kontinentalhang der Barents- und der Laptevsee ergaben im ersten Vergleich, daß auch in der hocharktischen östlichen Laptevsee sowohl im Wasser als auch am Boden eine sehr reiche Lebensgemeinschaft entwickelt ist. Ein wesentliches Steuerelement dürfte in diesem Bereich die sommerliche Warmwasserzufuhr aus der Lena sein, die eisfreie Verhältnisse zuläßt.

Mit dem erfolgreichen Verlauf der ersten deutsch-russischen Expeditionen in den Arktischen Ozean verbinden sich große Erwartungen für eine weitere, intensive deutsch/russische Kooperation in der sibirischen Arktis wie sie für die kommenden Jahre geplant ist.

### **3.3 Elfte Antarktisexpedition der „Polarstern“ (Oktober 1993 bis Juni 1994)**

#### **3.3.1. Antarktisexpedition ANT XI/1, Bremerhaven – Shaka Bruchzone – Kapstadt**

Der erste Fahrtabschnitt der 11. Antarktisreise der „Polarstern“ (18. 10. bis 27. 11. 1993, Fahrtleiter Prof. O. Schrems) beinhaltete eine atlantische Nord-Süd-Traversal von Bremerhaven bis zur Shaka Bruchzone (Abb. 3). Auf den regelmäßigen Reisen über beide Hemisphären zwischen dem Heimathafen und der Antarktis werden an Bord von „Polarstern“ großskalige Prozesse in Ozean und Atmosphäre untersucht.

Die Reise begann mit einem Test des neuen Navigationssystems in der Nordsee. Nach der ersten Reiseweche mußte das ursprüngliche Reiseziel, Ushuaia, aufgegeben werden, da vor

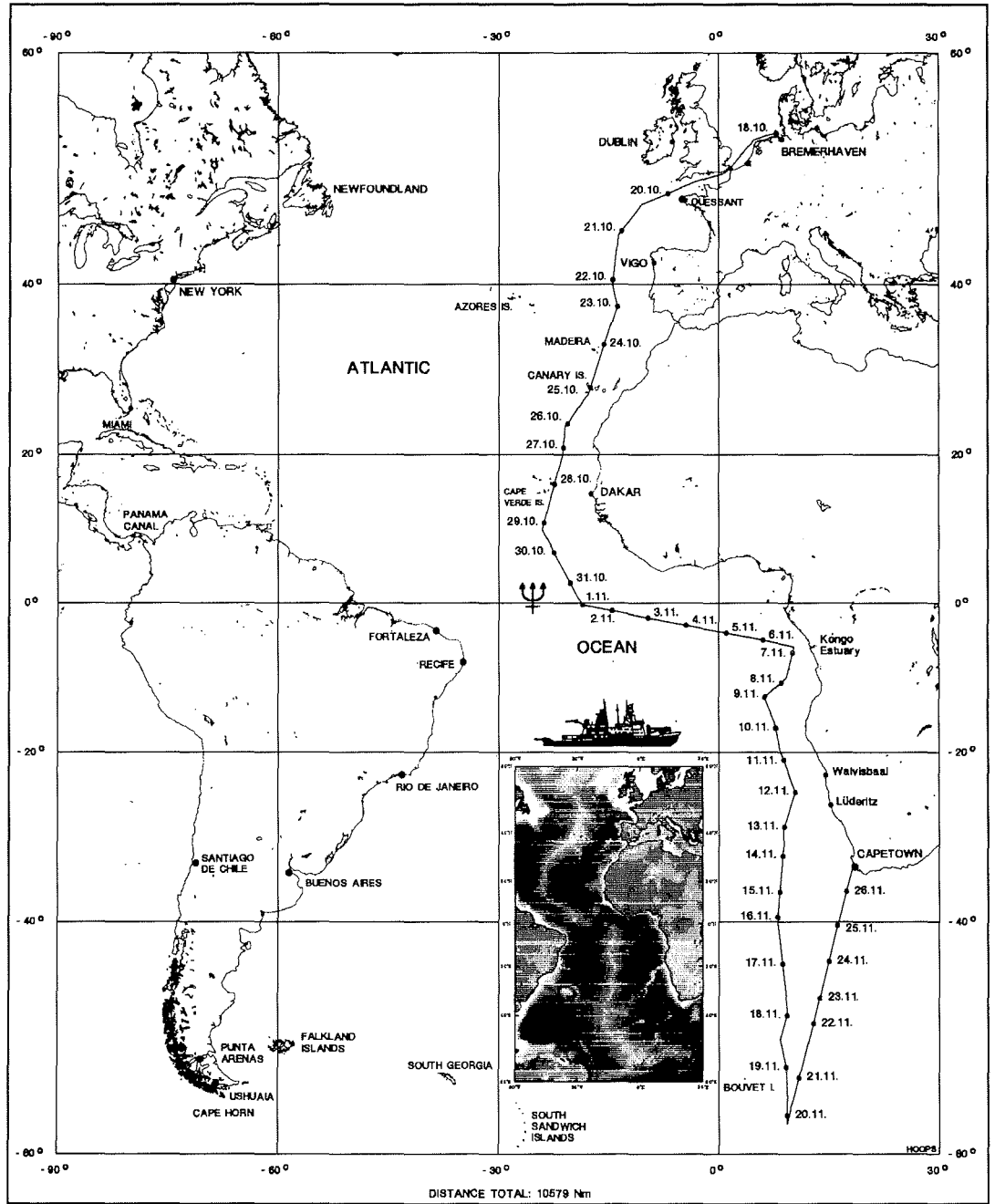


Abb.3:  
 Fahrtroute der „Polarstern“  
 während der Antarktisexpedition  
 ANT-XI/1

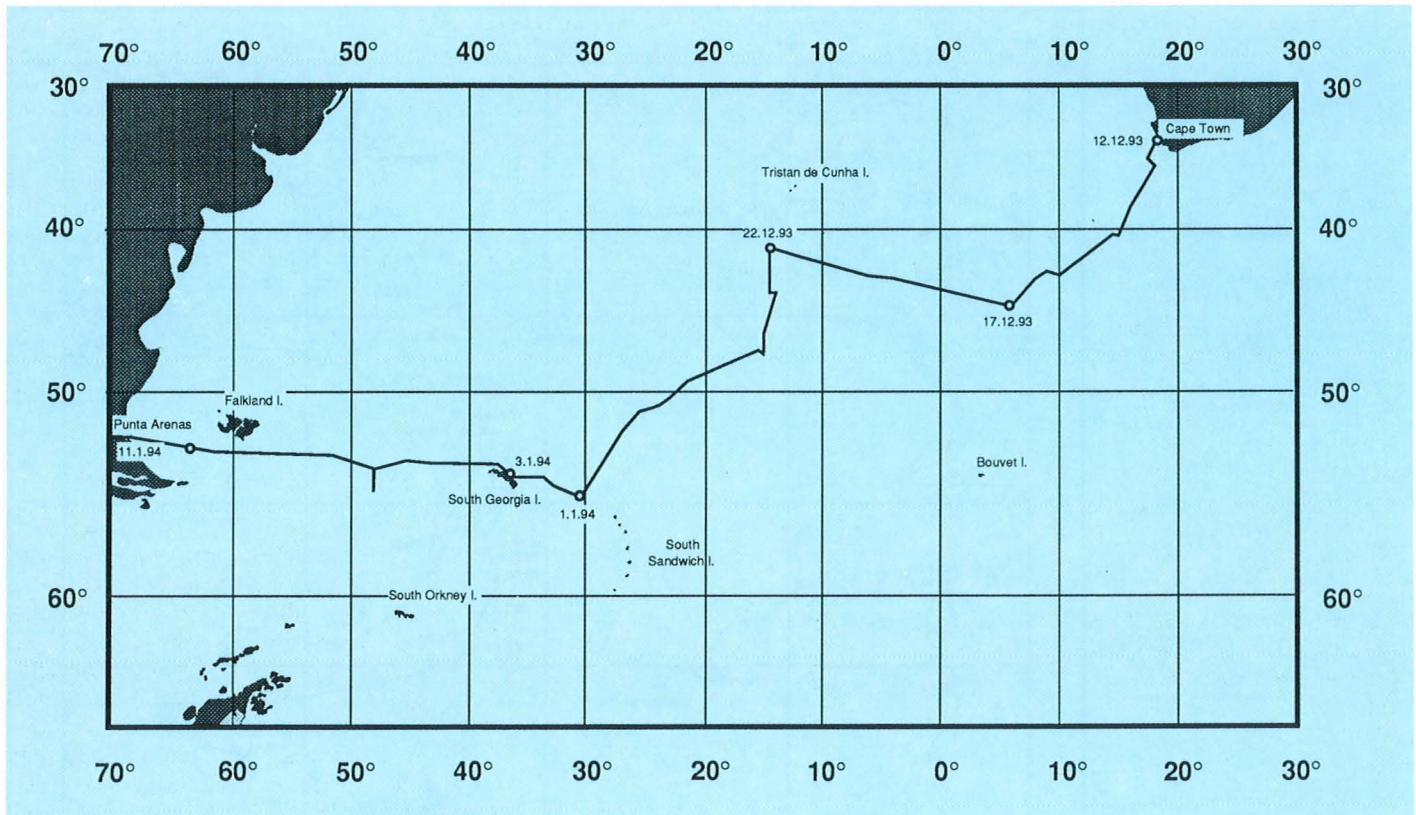


Abb.4: Fahrtroute der „Polarstern“ während der Antarktisexpedition ANT-XI/2.

dem nächsten Fahrtabschnitt die Reparatur einiger Sensoren im Trockendock erforderlich war. Das erforderte die Festlegung einer neuen Reiseroute mit Zielhafen Kapstadt und eine Umstellung des Forschungsprogrammes. Da die Reise gegenüber der ursprünglichen Planung um 10 Tage verlängert wurde, konnten die Fahrtteilnehmer ein umfangreicheres Arbeitsprogramm als ursprünglich geplant abwickeln.

Auf dem Schnitt im Atlantik wurden u. a. luftchemische, meteorologische, meereschemische sowie biologische und ozeanographische Untersuchungen durchgeführt und zwischen ca. 48°N bis ca. 58°S an 19 Stationen Proben genommen. Davon waren sieben Tiefseestationen, bei denen Wasserproben mit Hilfe von Gerard-Wasserschöpfern vom Meeresboden geholt wurden.

Die Spurenstoffuntersuchungen einiger Arbeitsgruppen knüpften an vorausgegangene Reisen an und werden Informationen über die von der geographischen Breite abhängigen Verteilung natürlicher und anthropogener Spurenstoffe, die Bildungsprozesse von natürlichen Spurenstoffen sowie Austauschvorgänge (Ozean/Atmosphäre) liefern. Dies ist ein wesentlicher Beitrag zur Ermittlung von Stoffflüssen und der Belastung des Nord- und Südatlantiks.

Schwerpunkte der Untersuchungen waren das troposphärische und stratosphärische Ozon, CO<sub>2</sub>, Aerosole, Dimethylsulfid (DMS), NO<sub>2</sub>, OCIO, organische Spurenstoffe (z.B. Anisole) und Methylschwermetallverbindungen. Ein Mikrobiologe untersuchte die regionale Verbreitung und Aktivität von Bakterien. Meeresphysiker setzten ein hydrographisches LIDAR (Light Detec-

tion and Ranging) ein, um die optischen Eigenschaften des Meerwassers zu messen. Radiosonden- und XBT-Sondierungen, mit denen eine Kopplung von atmosphärischen und ozeanischen Vorgängen versucht werden soll, waren Teil eines Klima-Langzeitprogrammes.

### 3.3.2 Antarktisexpedition ANT-XI/2, Kapstadt – Punta Arenas

Nach der ursprünglichen Planung standen für die Expedition ANT-XI/2 marin-geologische Untersuchungen im Bellingshausenmeer und im Frontensystem des SE-Pazifik auf dem Programm. Wegen der Umleitung des Schiffes zu einem Werftaufenthalt nach Kapstadt wurden kurzfristig Arbeitsprogramme, die sich mit dem Antarktischen Zirkumpolarstrom (ACC) und seinen Frontensystemen im atlantischen Sektor beschäftigen, zu einem Fahrtabschnitt zwischen Kapstadt und Punta Arenas (12. 12. 1993 – 11. 1. 1994) zusammengestellt. Auf diesem Abschnitt wurde das gesamte Stromsystem des ACC im Südatlantik überquert (Abb. 4). Fahrtleiter war Dr. R. Gersonde.

Bei den geologischen Arbeiten während dieses Abschnittes wurden Sedimentproben an Positionen genommen, die in dem seit 1989 während verschiedener Expeditionen aufgebauten „Sedimentprobennetz“ im atlantischen Sektor des ACC noch fehlten. Dieses Material wird im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 261 der Deutschen Forschungsgemeinschaft „Der Südatlantik im Spätquartär: Rekonstruktion von Stoffhaushalt und Stromsystemen“ ausgewertet.

Mit Netzen und Bodengreifern wurde Material gewonnen, um die Verbreitungsmuster planktischer und benthischer Mikroorganismen, deren kalkige oder kieselige Hartteile als Umwelt-signale im Sediment überliefert werden, mit den gemessenen hydrographischen Daten (Nährstoffe, Temperatur, Salzgehalt) in Verbindung zu setzen.

Im Rahmen von Untersuchungen der Atmosphäre, an der Grenzschicht Atmosphäre/Ozean und der Wassersäule wurden die Konzentration von Dimethylsulfid (DMS) in der Atmosphäre und im Meerwasser gemessen, um mögliche Kopplungen zwischen DMS-Emissionen und der Bildung von Wolkenkondensationskernen zu untersuchen. Daneben wurde der Austausch von CO<sub>2</sub> zwischen Antarktischem Ozean und Atmosphäre sowie seine räumlichen und zeitlichen Veränderungen quantifiziert und mit Messungen der Primärproduktion und Wassermassenverteilung verglichen. Die hydrographischen Arbeiten ergaben eine enge Kopplung der Lage der ozeanographischen Fronten des ACC an die Bodentopographie. Im Rahmen weiterer Programme

wurden mit Wasserschöpfern Proben zur Untersuchung stabiler Isotope, Nährstoff- und Chlorophyllgehalte, sowie verschiedener anderer Stoffe (u. a. Barium, neutrale und ionische Methylschwermetallverbindungen) genommen.

Biologische Programme beschäftigten sich mit der zoogeographischen Verbreitung von Copepoden bzw. der Wirkung von UV-Strahlung auf das Phytoplankton. Mikrobiologische Untersuchungen befaßten sich mit der Anpassung heterotropher Bakterien an Bedingungen mit niedrigen Temperaturen und niedrigem Nahrungsangebot in südlichen hohen Breiten.

Am 3. Januar 1994 lief „Polarstern“ die britische Station King-Edward-Point auf Südgeorgien an. In deren Umfeld wurde ein Vermessungspunkt zum Aufbau eines großräumigen geodätischen Kontrollnetzes für die Antarktis erkundet.

### 3.4 Geowissenschaftliche Landexpedition nach Sibirien

Vom 12. 7. 1993 bis zum 14. 9. 1993 führte die geowissenschaftliche Arbeitsgruppe der Forschungsstelle Potsdam zwei, sich teilweise überschneidende Expeditionen nach Mittelsibirien durch. Das langfristige Ziel dieser Arbeiten liegt in der Rekonstruktion der spätquartären Entwicklungsgeschichte Mittelsibiriens. In den Regionen Norilsk, Taymyr und Severnaja Zemlja (Abb. 5) sollen dazu Paläoumweltuntersuchungen in See- und Landablagerungen sowie hydrologische, glaziologische und geokryologische Untersuchungen in Seen, Eiskörpern und Permafrostböden durchgeführt werden. Die Ergebnisse sollen mit maringeologischen Ergebnissen von Expeditionen in die Laptevsee verglichen und verknüpft werden.

Ziel der Expedition 1993 war es:

- (1) geeignete Forschungsobjekte (Seen, Bodenprofile, Eiskörper) für zukünftige Feldarbeiten auszuwählen,
- (2) die logistischen Möglichkeiten der Kooperationspartner (Transport, Unterbringung, Verpflegung) zu erkunden,
- (3) Erfahrungen mit der eigenen Feldtechnik zu sammeln, und
- (4) erste Sediment-, Wasser- und Eisproben zu gewinnen.

#### 3.4.1 Norilsk (12. 7. – 26. 8. 1993)

An dem ersten Teil der Expedition (Leitung: Dr. U. Wand), in wissenschaftlicher und logistischer Kooperation mit dem Department of Geocryology der Lomonosov University Moscow (LUM), nahmen vier Mitarbeiter des AWI-Potsdam teil. Die Probennahmetechnik und Feldausrüstung wurde mit einem Charterflug von St. Petersburg eingeflogen und erreichte Norilsk zwei

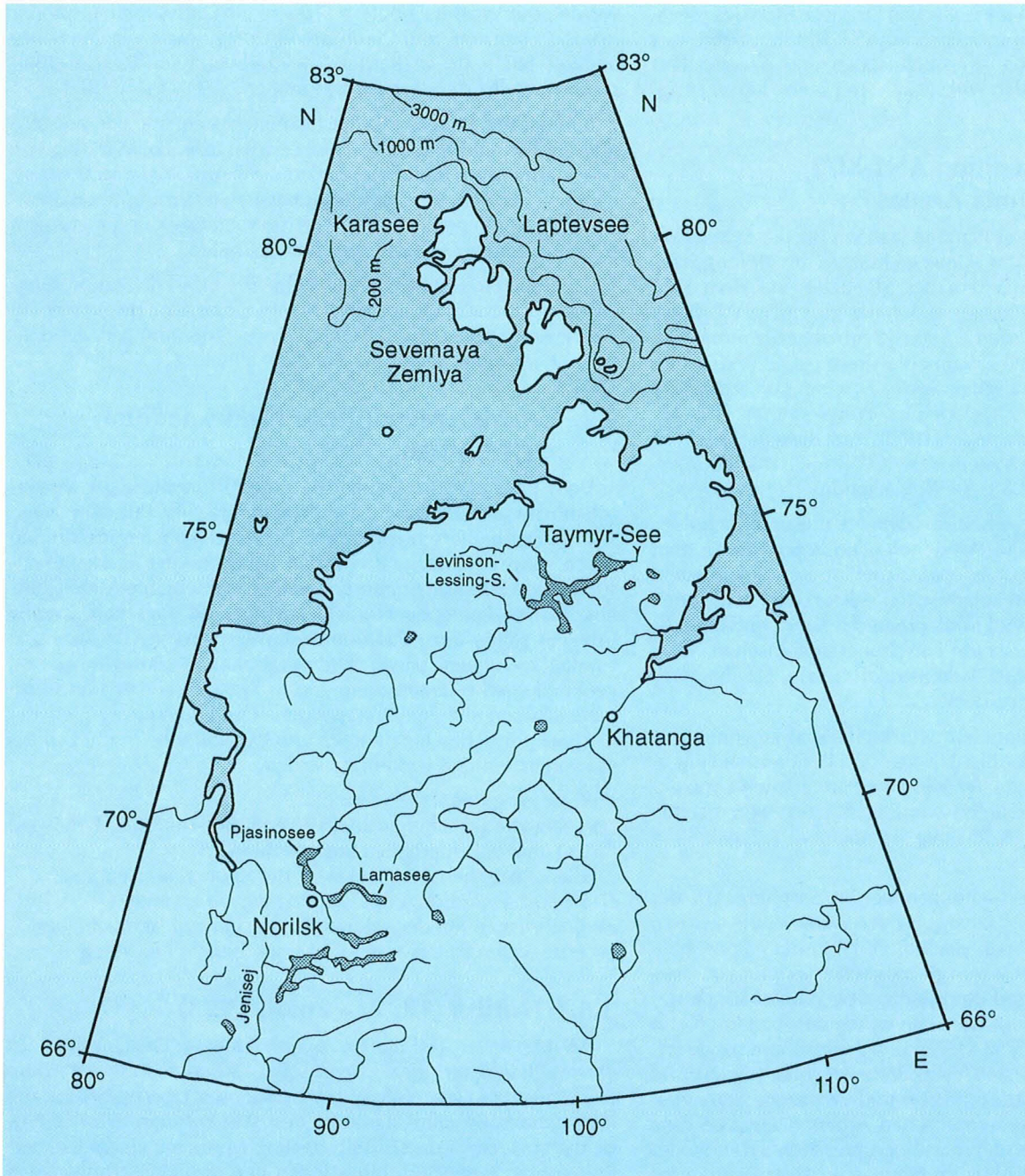


Abb. 5:  
Übersicht Mittelsibiriens  
mit den Arbeitsgebieten  
der Expedition (um  
Norilsk, auf der Taymyr-  
Halbinsel) sowie  
Severnaja Zemlja.

Tage nach Ankunft der Expeditionsteilnehmer. Der Transport zu den Arbeitsgebieten erfolgte überwiegend per Schiff, z. T. per Hubschrauber.

Nach Überwindung anfänglicher Schwierigkeiten lief die Probenahme von Sedimenten in einigen ausgewählten Seen weitgehend unproblematisch und war im Hinblick auf das gewonnene Material sehr erfolgreich. Auf den insgesamt 33 Stationen an den Seen Lama (E´ Norilsk), Pjasino (N´ Norilsk) und zwei kleineren Seen hat sich die neue Probennahmetechnik mit Arbeitsplattform, Kerngeräten und Wasserschöpfern außerordentlich gut bewährt. Neben einer Vielzahl von kürzeren Kernen betrug die längste gewonnene Sedimentsequenz 10,6 m. Ergänzend zu den Sedimenten wurden das Wasser der Seen sowie Pflanzen und Eiskörper in ihrer Umgebung beprobt.

Die Proben werden in Potsdam sedimentologisch, geochemisch und mineralogisch untersucht. Der russische Kooperationspartner, der schon vor dieser Saison ein mehrjähriges Forschungsprojekt im Umfeld von Norilsk durchgeführt hatte, wird geochemische Untersuchungen an Seewässern und oberflächennahen Seesedimenten, hydrologische Messungen am Wasserkörper und geokryologische Arbeiten im Umfeld der Seen durchführen. Dabei steht die Umweltbeeinträchtigung durch das Hüttenkombinat im Zentrum der Untersuchungen.

Die vorliegenden Ergebnisse haben gezeigt, daß die Region um Norilsk ein vielversprechendes Arbeitsgebiet für die Fragestellung des Projektes darstellt. Neben mächtigen, vermutlich ungestörten Seesedimenten finden sich insbesondere Eiskörper als paläoklimatische Datenarchive. Außerdem sind die Moskauer Kollegen Kooperationspartner, die über umfangreiche Geländeerfahrung in der Region Norilsk und in anderen Gebieten Sibiriens verfügen. Die geokryologischen und geomorphologischen Forschungsschwerpunkte der LUM lassen sich mit den paläoklimatischen Arbeiten dieses Projektes der Forschungsstelle Potsdam des AWI verknüpfen.

### 3.4.2 Taymyr (15. 8. – 14. 9. 1993)

Bei dem zweiten Teil der Expedition (Leitung: Dr. M. Melles) war der russische Partner das Arctic and Antarctic Research Institute (AARI), St. Petersburg, das sich mit sechs Teilnehmern beteiligte.

Von Norilsk erfolgte der Transport in das Expeditionsgebiet mit einem Hubschrauber über Khatanga zum Levinson-Lessing-See (W´ Taymyrsee). An diesem See wurden mit leichter Probennahmetechnik (Oberflächenkerngerät, Wasserschöpfer) an 4 Stationen Seesedimente gewonnen. Im Umfeld des Sees ebenso wie

im weiteren Verlauf der Expedition wurden verschiedene Aufschlüsse von Bodenprofilen, Grundeiskörpern und marinen Sedimenten aufgesucht und beprobt. Außerdem wurden verschiedene Sommerstationen russischer Forschungsinstitute im Hinblick auf eine Nutzung als Feldbasen besichtigt.

Vom Levinson-Lessing-See aus folgte eine mehrtägige Reise mit zwei Schlauchbooten. Anschließend wurden an Bord eines Kutters entlang des Khatanga-Flusses von Khatanga bis zur Khatanga-Bucht in der Laptevsee Sedimente gewonnen. Außerdem wurde die gesamte Region mit einem kleinen Doppeldecker-Flugzeug erkundet und fotografisch dokumentiert.

Die Pilotstudie hat gezeigt, daß auf der Taymyr-Halbinsel zahlreiche Untersuchungsobjekte für paläoklimatische Arbeiten vorhanden sind. Dazu zählen Seen unterschiedlicher Entstehung, Wassertiefe und Höhe über dem heutigen Meeresspiegel, marine Sedimente oberhalb des heutigen Meeresspiegels, mächtige Bodenprofile mit eingeschlossenen Torflagen sowie aufgeschlossene Grundeiskörper unterschiedlicher Genese. Da davon auszugehen ist, daß die Taymyr-Region während des letzten Glazials vermutlich nur in Hochlagen geringfügig vergletschert war, versprechen diese Datenarchive umfassende Erkenntnisse zur Entwicklungsgeschichte der Region zumindest während des letzten Klimazyklusses.

Mit dem AARI steht ein kompetenter Kooperationspartner zur Verfügung, dessen geo-morphologischen Forschungsinteressen sich mit den Aktivitäten der Forschungsstelle Potsdam ergänzen.

## 4. Wissenschaftliche Arbeiten der Sektionen

### 4.1 Biologie I (Zoologie, Ökophysiologie & Großalgen-Ökologie)

Die Arktisforschung wurde 1992/93 weiter ausgebaut. Bei den Arbeiten in der Arktis wurde eng mit russischen Wissenschaftlern kooperiert, insbesondere aus dem Zoologischen Institut St. Petersburg, dem Murmanskmeresbiologie-Institut und dem Moskauer Shirshov-Institut für Ozeanologie.

Ein zweiter neuer Arbeitsschwerpunkt sind die Flachwasserarbeiten auf der antarktischen King-George-Insel, die dem Ökosystem der Potter Cove gewidmet sind und in enger Kooperation mit Wissenschaftlern des argentinischen Antarktis-Instituts durchgeführt werden. Die neue Dallmann-Station, die an die argentinische Station Jubany angegliedert ist, wird zu einer regionalen Konzentration der biologischen Antarktisarbeiten auf dieses Gebiet führen. Die neue Arbeitsgruppe Ökophysiologie nahm unter der Leitung von Dr. habil. H.-O. Pörtner ihre Arbeiten auf. Die im Rahmen der Neueinrichtung der Forschungsstelle Potsdam dort zunächst angesiedelte erweiterte Warmblütergruppe arbeitet seit Ende 1993 in Bremerhaven, um die ökologischen Ansätze der Gruppe enger mit denen der anderen Biologen zu verzahnen.

Die Sektion organisierte im September 1993 einen SCAR-Workshop zur Ökologie der küstennahen antarktischen Meereiszone (EASIZ). Ein weiterer Workshop im Frühjahr 1993 diente der Vorbereitung der Nordostgrönland-Polynya-Expeditionen. Mehrere Gastforscher aus Rußland, Polen, Spanien, und Südamerika arbeiteten im Rahmen der weltweiten Kooperationen der Sektion am AWI.

Im folgenden werden einige Arbeitsschwerpunkte kurz beschrieben:

#### Biologie ausgewählter Wirbelloser

Untersuchungen zu Ernährung, Fortpflanzung, Wachstum und Lebensgeschichte wichtiger Arten und Gruppen wirbelloser Tiere wurden weiter schwerpunktmäßig in der Antarktis durchgeführt. Sie sind eine wichtige Voraussetzung für geplante vergleichende Betrachtungen der beiden Polargebiete.

Die erfolgreiche Aufzucht von Larven sowie populationsdynamische Untersuchungen der zwei häufigsten Garnelen im Weddellmeer, *Notocrangon antarcticus* und *Chorismus antarcticus*

haben unser Wissen über die Ökologie dieser benthischen Dekapoden erheblich erweitert. Die Larvalentwicklung von *N. antarcticus* verläuft über 3 Zoea-Stadien und endet nach durchschnittlich 107 Tagen mit der Metamorphose zum juvenilen Krebs, der erst dann von der rein pelagischen zur benthischen Lebensweise übergeht. *C. antarcticus* benötigt für die gleiche Entwicklung 4 Zoea-Stadien und 155 Tage. Hier siedelt bereits die dritte Larvenform auf dem Meeresboden. Während sich *N. antarcticus*-Larven vornehmlich von Phytoplankton ernähren, sind *C. antarcticus*-Larven omnivor. Das erste Larvenstadium beider Arten kann sich auch ohne Nahrung weiterentwickeln. Das ermöglicht es zumindest einem Teil der Nachkommenschaft selbst dann zu überleben, wenn zum Zeitpunkt des Larvenschlupfes die pelagische Primärproduktion noch nicht eingesetzt hat. *C. antarcticus* wird bis zu 12 cm groß und kann bis zu 10 Jahre alt werden. Das Verhältnis der jährlichen Biomasse-Produktion zur Biomasse beträgt 0,6 und liegt damit im oberen Bereich der für antarktische Evertebraten bekannten Werte. Im Vergleich zu verwandten Garnelenarten aus borealen Gebieten und auch zu der um Südgeorgien vorkommenden subpolaren *C. antarcticus*-Population ist die Produktivität von *C. antarcticus* im Weddellmeer jedoch gering.

Die geographische Verbreitung des karnivoren Amphipoden *Eusirus perdentatus* und seine Populationsdynamik wurden analysiert. Die Embryonalentwicklung dieser Art dauert etwa 12 Monate, die Lebensspanne der Tiere wird auf vier Jahre geschätzt.

Schlangensterne gehören nach Häufigkeit und Biomasse zu den wichtigsten Gruppen des antarktischen Zoobenthos. Auf der Basis des gesamten bisher im Weddellmeer gesammelten Materials wurde eine ökologische und populationsdynamische Studie der antarktischen Schlangensterne begonnen. Neben der taxonomischen Aufarbeitung liegen bisher Ergebnisse zu Abundanz und Biomasse auf dem östlichen Weddellmeerschelf vor. Die Häufigkeit dieser Tiere nimmt nach Süden hin immer weiter ab (Kapp Norvegia: 149 Ind. m<sup>-2</sup>, 54 g Feucht-Gewicht m<sup>-2</sup>, Vahsel Bucht: 20 Ind. m<sup>-2</sup>, 7 g FG m<sup>-2</sup>). Magenanalysen zeigen, daß die Ernährung saisonal unterschiedlich ist. Zur Wachstums- und Altersbestimmung wurde mit der Analyse von Zuwachsringen auf den Skelettelementen begonnen.

Vergleichende Untersuchungen an Seeigeln der Gattung *Stechinus* zeigten, daß die Flachwasser-Art *S. neumayeri* im



McMurdo-Sound schneller wächst und eine höhere Produktivität ( $P/B = 0,45$ ) hat als *S. antarcticus* auf dem Weddellmeerschelf ( $P/B = 0,15$ ).

Verbreitung und Lebensweise der zu den Ringelwürmern gehörenden Aphroditiden und Polynoiden im Weddellmeer wurden anhand der Fänge der „Polarstern“-Expeditionen der letzten zehn Jahre untersucht. 22 Arten wurden gefunden, davon 9 das erste Mal in diesem Gebiet. Abundanz und Biomasse dieser Tiere erreichten maximal 250 Individuen pro  $m^2$  und 5 g Frischgewicht pro  $m^2$ . Alle Arten leben räuberisch, der Grad der Spezialisierung ist jedoch unterschiedlich. Während sich Aphroditiden durchgehend mindestens von Frühjahr bis Herbst pflanzen, laichen Polynoiden nur einmal jährlich (Oktober).

### Ökophysiologie mariner Evertebraten

Im Dezember 1992 nahm die neugegründete Arbeitsgruppe „Ökophysiologie der Tiere“ ihre Arbeit auf. In den Polargebieten wird der Frage nachgegangen, inwieweit die Verbreitung von Arten durch die Umgebungstemperatur kontrolliert wird und welche physiologischen und biochemischen Reaktionen hierfür verantwortlich sind.

Die Empfindlichkeit gegenüber Temperaturschwankungen wurde an der kaltstenothermen Tiefwassergarnele *Pandalus borealis* untersucht. Erste Ergebnisse zeigen eine Abnahme der extrazellulären Kaliumkonzentration bei extrem niedrigen Temperaturen und einen linearen Zusammenhang zwischen intrazellulärem pH-Wert ( $pH_i$ ) und der Inkubationstemperatur. Der Anstieg des  $pH_i$  mit sinkender Temperatur erfolgt zunächst rein passiv, eine regulatorische Rückführung auf den Ausgangswert konnte im Versuchszeitraum nicht festgestellt werden. Untersuchungen an *Crangon crangon* aus der Nordsee wurden begonnen, um die besonderen Anpassungen von *Pandalus* an die arktischen Bedingungen besser zu verstehen. Für ähnliche Untersuchungen an antarktischen Tieren wurde zunächst die Napfschnecke *Nacella concinna* ausgewählt.

Arbeiten zum Einfluß jahreszeitlicher Temperaturänderungen und schwankender  $CO_2$ -Gehalte in marinen Sedimenten an Sipunculiden und Polychaeten der Bretagneküste und der Nordseewatten wurden als Grundlage für vergleichbare Arbeiten in Polargebieten begonnen bzw. im Anschluß an frühere Arbeiten fortgeführt. Die Endofauna der Gezeitenzonen wird während einer Ebbe über die Akkumulation des Stoffwechselproduktes  $CO_2$  regelmäßig mit erhöhten  $CO_2$ -Gehalten der Umgebung konfrontiert (Hyperkapnie). Für den Pierwurm *Arenicola marina* konnte gezeigt werden, daß der  $pH_i$  während einer Niedrigwas-

serperiode trotzdem weitgehend konstant bleibt. Bei *Sipunculus nudus* hat  $CO_2$  nicht nur einen hemmenden Einfluß auf die aerobe Stoffwechselrate, sondern es bewirkt auch Änderungen im Protein- bzw. Aminosäurestoffwechsel.

Ökophysiologische Arbeiten an pelagischen Kalmaren wurden fortgesetzt (Zusammenarbeit mit dem Marine Biomedical Institute, Galveston, U.S.A.). Kalmare sind die einzigen Wirbellosen, die mit Fischen und Meeressäugern auf Grund ihres extrem hohen Aktivitäts- und Leistungsvermögens in Konkurrenz treten; zudem sind sie ein wesentlicher Bestandteil der Nahrungsketten, vor allem auch in der Antarktis. Das Leistungsniveau und die Nutzung anaerober Prozesse bei einzelnen Arten variieren in Anpassung an den Lebensraum und die Lebensweise. Die mittel- und südamerikanische Flachwasserart *Lolliguncula brevis*, die gegenüber Schwankungen von Salinität, Temperatur und Sauerstoffgehalt des Meerwassers tolerant ist, zeigt bei gradueller Steigerung des Aktivitätsniveaus eine frühzeitige Beteiligung anaerober Prozesse an der Energiegewinnung (Octopinbildung und Phosphagenabbau). Wie bei anderen Kalmaren wird der Säure-Basen-Status des Blutes bevorzugt vor dem des Gewebes reguliert, wahrscheinlich, um den Sauerstofftransport mit Hilfe des Hämocyanins zu sichern. Wie bei der Toleranz dieser Kalmare gegenüber Schwankungen des Milieus der Sauerstofftransport im Blut aufrecht erhalten wird, ist jedoch noch weitgehend unverstanden.

### Ökologie von Fischen

Untersuchungen zur antarktischen Fischfauna mittels Unterwasser-Fotografie (von einem ferngesteuerten Fahrzeug aus) zeigten im Lazarevmeer relativ niedrige Abundanzen, aber eine hohe Arten-Diversität. Das Arteninventar ähnelt dem des östlichen Weddellmeerschelfs. Mit der Aufnahme antarktischer Fische in die weltweite biologische Datenbank „FishBase“ wurde begonnen.

Die Arbeiten im internationalen „Sardine/Anchovy Recruitment Project“ (EURO-SARP) zur Larvenökologie und Rekrutierung der Sprotte in der Deutschen Bucht und der Sardine (*S. pilchardus*) vor der spanischen Atlantikküste wurden fortgesetzt. Neben der Nahrung spielen physikalische Umwelteinflüsse wie Wasserschichtung und Verdriftung eine bedeutende Rolle für das Überleben der Larven. In Simulationsmodellen, die auf Felddaten basieren, konnte die Larvendrift für die Deutsche Bucht verdeutlicht werden. Eine Verdriftung der Larven in ungünstigere Gebiete wird demnach durch die täglichen vertikalen Wanderungen der Sprottenlarven verlangsamt.

Die Auswertung umfassender Datensätze zur Ernährung der peruanischen Sardelle bestätigen Hypothesen über das Nahrungsspektrum und die Tagesperiodik der Nahrungsaufnahme. Strittige Vorstellungen über einen Nord-Süd-Gradienten im Anteil des Zooplanktons an der Nahrung wurden geklärt. Die Zusammensetzung der Nahrung der Sardelle hat sich auch zu so unterschiedlichen Perioden wie vor und nach dem Zusammenbruch des Bestandes zu Beginn der 70er Jahre nicht wesentlich verändert. Bereits begonnene Arbeiten zur Bestimmung der Nahrungsgrößenpräferenz demersaler Fische wurden fortgeführt.

### Ökologie von Warmblütern

Im Berichtszeitraum wurde die Forschung an Meeresvögeln intensiviert. Auf Spitzbergen konnte in der Sommersaison 1993 durch Freilandbeobachtungen an markierten Thorswassertretern der Aufwand der Männchen für Bebrütung und Jungenbetreuung abgeschätzt werden. Zwischen Vater und Küken entwickelt sich eine enge Beziehung; bereits vor Beginn des Schlupfes gibt es nach Tonbandaufzeichnungen erste akustische Kontakte. Nach DNA-Analysen bei brutökologischen Untersuchungen läßt sich nicht ausschließen, daß auch die Thorswassertreter-Männchen mitunter Jungvögel versorgen, die von fremden Vätern abstammen.

Die Robbenforscher setzten im Südsommer 1992 ihre Freilandarbeiten im Drescher-Inlet an der Ostküste des Wedellmeeres fort. Sie befaßten sich vor allem mit Anpassungen der Wedellrobbe an die Lebensbedingungen in hochantarktischen Schelfgebieten. Ergebnisse über das Tauchverhalten und die Nahrungsaufnahme sind im Kapitel „Ausgewählte Forschungsthemen“ zusammengefaßt.

### Ökologie benthischer Makroalgen

Untersuchungen zum Lichtbedarf antarktischer Großalgen ergaben, daß schon geringe Lichtintensitäten für das Wachstum und das Durchlaufen des Lebenszyklus ausreichend sind. Die Photosyntheseaktivität ist bei sublitoralen Arten bereits bei Lichtintensitäten von nur wenigen  $\mu\text{mol Photonen m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  kompensiert und zwischen 20 und 50  $\mu\text{mol Photonen m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  gesättigt. Sie ist mit den jahreszeitlich stark schwankenden Lichtbedingungen in antarktischen Gewässern eng korreliert. Selbst nach mehrmonatiger Dunkelexposition, entsprechend der Meereisbedeckung im Winter, kann innerhalb kürzester Zeit nach der Wiederbelichtung der Photosyntheseapparat reaktiviert werden.

Der jahreszeitliche Gang der Tageslänge synchronisiert den circannualen Lebenszyklus, der erstmals für eine antarktische Rotalge nachgewiesen werden konnte. Dieser Rhythmus läßt sich in Kultur in Abhängigkeit von der Periode der Tag-/Nacht-Rhythmen auf drei, sechs oder zwölf Monate synchronisieren. Auch physiologische Prozesse folgen diesem freischwingenden Rhythmus.

Im Hinblick auf den Temperaturbedarf für das Wachstum sowie auf die obere Überlebenstemperatur konnten innerhalb der arktisch/kalttemperierten Makroalgen zwei Gruppen unterschieden werden: Eine mehr eurytherme Gruppe, deren Temperaturbedarf weitgehend dem von Arten aus der kaltgemäßigten Region entspricht, und eine stenotherme Gruppe mit einer starken Anpassung an tiefe Wassertemperaturen. Diese ist jedoch nicht so stark wie bei endemischen antarktischen Algen. Der Vergleich des Temperaturbedarfs von Makroalgen aus polaren und kaltgemäßigten Regionen ermöglicht auf Grund der unterschiedlich langen Kaltwasser-Geschichte beider Hemisphären eine Vorstellung über den zeitlichen Verlauf der evolutiven Anpassung an tiefe Temperaturen. Makroalgen bilden in ihren Verbreitungsgebieten Ökotypen aus, die sich nach den bisherigen Untersuchungen mit molekularbiologischen Methoden unterscheiden lassen und Aussagen über ihre Ursprungsgebiete und Ausbreitungswege, bei bipolaren Arten auch über den Äquator hinweg, ermöglichen. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen).

### Meereis-Lebensgemeinschaften

Während der Arktisexpedition ARK IX/2-3 wurden an zwei Stationen mit einem Unterwasser-Fahrzeug mit Videokamera unter dem einjährigen Meereis große Konzentrationen der Kieselalge *Melosira arctica* gefunden und in ihren zwei Wuchsformen beschrieben (bis 3 m lange Schnüre oder dünne Vorhänge mit Zwischenformen). An anderen Stationen gab es keine solchen Algenkonzentrationen.

Zur Untersuchung der Ökologie der arktischen Untereisfauna wurden 1993 Expeditionen mit FS „Polarstern“ in die Grönland- und Laptevsee genutzt. Im Mittelpunkt standen hierbei einige Flohkrebse (Amphipoda), die bisher nur vom Eis der Hocharktis bekannt waren und die Eisunterseite in teilweise erheblicher Anzahl besiedeln. Wie Unterwasseraufnahmen einer Spezialkamera zeigen, nutzen diese Kleinkrebse die reichlich unter dem Meereis wachsenden Kieselalgen; sie selbst werden z. B. von Polardorschen und Seevögeln gefressen.

Die extremen Milieubedingungen der Hohlraumssysteme im Eis wurden weiter analysiert und im Hinblick auf ihre sehr varia-

ble Besiedlung miteinander verglichen. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Polarökologie in Kiel wird die Besiedlungs-Sukzession im Gefolge der Transpolardrift vom Eisbildungsgebiet in der Laptevsee bis hin zur Grönlandsee verfolgt.

### Zooplankton und pelago-benthische Kopplung

Während der Expedition ANT X/3 waren erstmals Untersuchungen im Herbst möglich, die wichtige Aufschlüsse über die unterschiedlichen Lebensstrategien dominanter calanoider Copepodenarten des Weddellmeers gaben. Einige Arten überwintern im Ruhestadium in größeren Wassertiefen (z. B. *Calanoides acutus*), andere bleiben in den oberen Wasserschichten und fressen dort weiter (z. B. *Calanus propinquus*), und wiederum andere überwintern im und dicht unter dem Meereis (z. B. *Stephos longipes*).

Im Weddellmeer wurde in über 400 m Wassertiefe direkt über dem Meeresboden ein Krillschwarm hoher Dichte mit UW-Video beobachtet. Das weist auf bisher nicht bekannte pelago-benthische Beziehungen hin.

Bei der Auswertung einer Pilotstudie in der Nordost-Grönland-Polynya (ARK VIII/1) und der Expedition ARCTIC 91 stand die räumliche Verteilung von Zooplanktonarten und -biomasse im Mittelpunkt. Die Auswertung der Expedition ARK VIII/2 erbrachte neue Ergebnisse zur Reproduktion dominanter Copepoden und der Zooplankton-Biomasse um Spitzbergen.

Während der Expedition ARK IX/1 wurde der Zusammenhang zwischen der Vertikalwanderung der herbivoren Copepoden und der Frühjahrsblüte in der Grönlandsee untersucht. Einige Zooplankter befinden sich schon vor der Algenblüte in hohen Dichten nahe der Oberfläche und kontrollieren die Phytoplanktonentwicklung von Beginn an.

Anhand der Verbreitungsmuster und Siedlungsdichten des Zoobenthos werden entlang den Kontinentalhängen des arktischen Ozeans die unterschiedlich starken Partikelflüsse von den verschiedenartigen Schelfgebieten Eurasiens sowie der abnehmende Einfluß der atlantischen Wassermassen verfolgt (Arbeiten während ARK IX/4).

### Benthische Lebensgemeinschaften

In der Antarktis wurde das argentinisch-deutsche Flachwasserprojekt in der Potter Cove (Dallmann-Labor in Jubany, King George Island) begonnen. Langfristiges Ziel ist die Aufklärung und Modellierung von Struktur und Dynamik dieses Ökosystems. Auf deutscher Seite wurden neben ersten Bestandsauf-

nahmen mehrere Projekte begonnen, die zum Verständnis der Ökologie einzelner Gruppen der benthischen Flora und Fauna, der Interaktionen zwischen verschiedenen Kompartimenten des Systems und der physikalischen und biologischen Dynamik des gesamten Systems beitragen sollen.

Das bisher in der Literatur beschriebene Schema der Vertikalzonierung des oberen antarktischen Sublitorals gilt anscheinend nur für geschützte Standorte; an exponierten Stellen ist die Zonierung anders. Untersuchungen der Interaktionen zwischen verschiedenen Makroalgenarten und Algenfressern zeigten, daß Algen oft Fraßschutz-Mechanismen entwickeln und Herbivore unterschiedlich stark auf bestimmte Algenarten spezialisiert sind. In Schwämmen und Ascidien, die ihre Nahrung aus dem Wasser filtrieren, wurden überwiegend resuspendierte benthische Diatomeen gefunden.

Vergleichende Untersuchungen der Garnelenfauna der Lazarevsee und des Weddellmeeres mittels UW-Fotografie zeigten, daß alle drei in der Antarktis häufigen Garnelenarten in der Lazarevsee mit etwa gleichen, mittleren Abundanzen auftreten, während Teilgebiete des Weddellmeeres von einzelnen Arten dominiert werden, z. B. die Halley Bay von *Chorismus antarcticus* oder die Gould Bay von *Notocrangon antarcticus*.

Auf der Arktisexpedition ARK IX/2-3 wurde umfangreiches Video- und Foto-Material für Gemeinschaftsanalysen und Biodiversitätsstudien vom nordöstlichen grönländischen Schelf gewonnen, auch mit dem Ziel eines direkten Vergleichs zur Antarktis (Weddellmeer, Bellingshausenmeer: ANT XI).

Anhand des Materials von ARK VIII/3 konnten erstmal die regionalen Unterschiede in der Tiefseebenthos-Besiedlung der Hocharktis erfaßt werden, wobei sich das Makarov-Becken als reicher besiedelt erwies als das Nansen- und das Amundsen-Becken. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen). Im Gegensatz zum Barentsee-Kontinentalhang ist die Becken-Fauna insgesamt außerordentlich artenarm. Auf der Expedition ARK IX/4 konnten diese Daten durch Proben aus dem Bereich von Franz-Josef-Land und aus der nördlichen Laptevsee ergänzt werden. Die Fauna der Laptevsee scheint nach ersten Auswertungen ähnlich reich zu sein wie die des Barentssee-Kontinentalhangs. Dies deutet auf eine starke Nahrungsadvektion von den sibirischen Schelfgebieten zu den tiefen Becken hin. Inzwischen wurde damit begonnen, das bei ARK IX/4 gewonnene umfangreiche Benthosmaterial in Kooperation mit russischen Instituten auszuwerten.

Für die Barentssee erstellte die an EPOS II beteiligte internationale Benthologengruppe ein umfassendes Budget des benthischen

schen Sauerstoffverbrauchs. Eine reich entwickelte Epifauna (vor allem mit Ophiuriden) kann danach einen Anteil von 40-50% am gesamten Energieumsatz erreichen, während Endofauna und Mikroorganismen nur bei schwach entwickelter Epifauna, z.B. auf Schlickböden, wesentlich zum Gesamt-Stoffumsatz beitragen.

Eine Pilotstudie sollte die Eignung der Kandalakscha-Bucht am Weißen Meer als Vergleichsgebiet für Flachwasserforschungen im Wattenmeer und bei Jubany prüfen. In der Nähe der Weißmeer-Station des Zoologischen Instituts St. Petersburg wurde ein geeignetes Gebiet für populationsdynamische Arbeiten gefunden. Nun können die an der Nordseeküste laufenden Untersuchungen an charakteristischen Arten auf ihre Verwandten in der Arktis ausgeweitet werden.

In der Nordsee wurden nach Abschluß der Titan-Abfallverklappungen nordwestlich von Helgoland keine eindeutigen neuen Hinweise auf eine nachhaltige Bestandsschädigungen gefunden. Vielmehr konnte unter Hinzuziehung der Langzeitdaten (seit 1969) verdeutlicht werden, daß auch hier der allgemeine Eutrophietrend in der Deutschen Bucht bislang andere mögliche Langzeitentwicklungen überdeckt. Parallel zu diesen Arbeiten wurden in einem EG-Projekt Untersuchungen über nachhaltige Effekte der schweren Bodenfischerei auf das Benthos eingeleitet (Vergleiche normal befischter, zusätzlich gestörter und – in Nähe eines Wracks – wenig gestörter Flächen).

Untersuchungen im Emsästuar haben ergeben, daß sich durch die Fahrwasservertiefung die Makrofauna-Zonierung wahrscheinlich flußaufwärts verschoben hat; Schäden für die Fischerei wurden aufgezeigt.

#### **Die Ökologie des südamerikanischen Auftriebsgebietes**

Das 1989 begonnene Projekt zur Bedeutung des Klimaphänomens El Niño (EN) für die Lebensgemeinschaften des Auftriebsgebietes an der südamerikanischen Pazifikküste wurde weitergeführt. Die an zwei Küstenstationen in Peru genommenen Proben sind mittlerweile die Basis der längsten verfügbaren Zeitserien aus dem Gebiet des Humboldtstroms. Sie umfaßt nicht nur das Abklingen und den „Normalisierungsprozeß“ des Ökosystems nach dem stärksten EN dieses Jahrhunderts (1982/83) und dem schwachen EN von 1986/87, sondern auch den bisher nachhaltigsten EN, der 1991 begann und z.Zt. noch nicht abgeschlossen ist.

Eine vergleichende Untersuchung zum Einfluß eines schwachen EN auf die Reproduktion von zwei pelagischen Fischarten zeigte nur geringe Auswirkungen des EN-Phänomens.

Ergebnisse zur Nahrungsaufnahme, Populationsdynamik und Temperaturtoleranz der acht kommerziell wichtigsten Muschelarten Chiles deuten darauf hin, daß schwache und mittlere EN-Ereignisse in größerer Entfernung von der Haupt-Einflußzone langfristig wenig negative Folgen für die Muscheln haben.

#### **Modellierung von Ökosystemen**

Eine Serie von Biomassefluß-Modellen aus einer drei Dekaden umfassenden Zeitserie aus dem Pelagial des Auftriebsgebietes vor Peru wurde mit netzwerkanalytischen Methoden untersucht. Während einige der verwandten Statistiken das Auftriebsgebiet gut gegen anders strukturierte Systeme abgrenzen, müssen andere modifiziert werden, um Veränderungen im untersuchten System Rechnung zu tragen.

Im Rahmen einer Kooperation mit dem National Marine Fisheries Service (Monterey, Kalifornien) und dem International Center for Living Aquatic Resources Management (Manila) zum Einfluß von Klimaänderungen auf die Fischerei in Auftriebsgebieten wurden Biomasseflüsse in den vier großen marinen Auftriebsgebieten vergleichend modelliert (Humboldt-, Kalifornien-, Kanaren- und Benguelastrom). Die Arbeit an einem dynamischen Simulationsmodell der oberen trophischen Stufen des pelagischen Systems vor der Küste Perus wurde begonnen.

Mit den Vorarbeiten für die Erstellung statischer Modelle des Energieflusses in den Lebensgemeinschaften des Weddellmeeres und der Potter Cove (Jubany, Flachwasserökologie) wurde begonnen.

## **4.2 Biologie II (Botanik und Mikrobiologie)**

Die Arbeiten zur Ökologie und Biogeochemie des Pelagials und Meereises sowie taxonomische und ökophysiologische Studien an ausgewählten Organismengruppen wurden fortgesetzt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag im Südpolarmeer, obwohl die Aktivitäten der Sektion in arktischen Gewässern gegenüber den Vorjahren deutlich zunahmten. Bedingt durch die erfolgreiche Kultivierung polarer Phytoplankter am AWI konnten experimentelle Arbeiten verstärkt werden. Der Aufbau einer molekularbiologischen Arbeitsgruppe hat neue Perspektiven für die Meeresforschung eröffnet.

## 4.2.1 Forschungsarbeiten in der Antarktis

### Meereisökologie

Während der „Polarstern“-Expedition ANT X/3 (Herbst im Eis) wurde der Einfluß von saisonalen Veränderungen der physikochemischen Umwelt auf biologische Prozesse im Zuge der Eisbildung im Weddellmeer verfolgt. Zu Beginn der Untersuchungen (Ende April) war der Planktongehalt der Wassersäule bereits zurückgegangen, während das neue Meereis eine deutliche Anreicherung von Bakterien, Algen und Protozoen aufwies. Es konnte gezeigt werden, daß physikalische Einschlußmechanismen für die hohen Konzentrationen dieser Organismen im Eis verantwortlich sind. Erstmals wurde der Einschluß von Bakterien ins Eis gezielt verfolgt (s. Ausgewählte Forschungsthemen). Die Bakterienflora der Wassersäule veränderte sich vom Herbst zum Winter deutlich, während die Meereisflora zu beiden Jahreszeiten ein sehr ähnliches physiologisches Potential aufwies. Die Eisbakterien zeigten sehr häufig Schleimbildung und wiesen ein sehr eingeschränktes Substratverwertungsspektrum auf.

Im Hochsommer wurden im südlichen Weddellmeer in Spalten und Tümpeln inmitten schmelzenden Meereises sehr hohe Primärproduktionsraten verzeichnet, die über wenige Wochen zu völliger Nitrat- und Phosphaterschöpfung führten. Unter diesen Bedingungen wurde bei annähernd konstanter Photosyntheseaktivität eine starke Akkumulation von Lipiden im Zellplasma der Algen sowie Dauerstadienbildung beobachtet. Die Entwicklung von Algenblüten im zerbrechenden Meereis stellt in den ganzjährig eisbedeckten Gebieten der Antarktis eine wichtige Nahrungsquelle für pelagisches und eisassoziiertes Zooplankton dar.

In Laborexperimenten an Reinkulturen antarktischer Diatomeen wurde die physiologische Reaktion der Algen auf die herbstliche Eisbildung untersucht. Nach ihrem Einschluß in das Eis sind die Diatomeen in der Lage, ihren Photosyntheseapparat an die abnehmende Lichteinstrahlung anzupassen und photosynthetisch aktiv zu bleiben. Aus physiologischer Sicht ist somit Algenwachstum nach Besiedlung der Neueismatrix möglich. Die Zellen einer größeren Diatomeenart wurden jedoch im Verlauf der Eisbildung mechanisch stark geschädigt, so daß das den Algen zur Verfügung stehende Raumangebot in den Solekanälen des Meereises offenbar einen wesentlichen, die Besiedlung kontrollierenden Faktor darstellt.

Zusätzlich zu den Meereisuntersuchungen wurde zusammen mit den Sektionen Geophysik (Glaziologie), Chemie und der Universität Oldenburg das Projekt „Grüner Eisberg“ weiterge-

führt. Dabei ging es um die Prozesse, die zum Einschluß von Partikeln in dem marinen Eis unter dem Schelfeis führen und um die Ursache der grünen Färbung. Die grüne Färbung des Eisberges ist mit Sicherheit nicht auf Gelbstoffe zurückzuführen, wie dies von einer amerikanischen Arbeitsgruppe vertreten wird, sondern wahrscheinlich auf Veränderungen der optischen Eigenschaften durch die abgelagerten Schichten von Sedimentpartikeln. Allerdings sind die Einschlußmechanismen der Partikel noch nicht endgültig geklärt.

### Planktonökologie und Stoffflüsse

Die Wintersituation im Pelagial wurde während ANT X/4 (Winter Weddell Gyre Study '92) erneut untersucht. Auf zwei Schnittfahrten entlang des 0° Meridians sowie quer durch das Weddellmeer wurden Bestandsaufnahmen von Eisalgen, Phyto- und Zooplankton durchgeführt sowie das Überwinterungsverhalten der Organismen untersucht. Auf dem meridionalen Schnitt spiegelten Phyto- und Zooplanktonverteilung die verschiedenen Fronten deutlich wider. Die höchsten Chlorophyllwerte wurden im Frontenbereich Antarktischer Zirkumpolarstrom /Weddellwirbel angetroffen. Hier hielt sich das Zooplankton (junge Entwicklungsstadien von Copepoden und Krill) in den oberen chlorophyllreichen Wasserschichten auf, während im Weddellwirbel, wo sehr niedrige Algenbiomassen vorkamen, die Copepoden in tieferen Schichten überwinterten.

Die Expedition ANT X/6 (Frühling am Eisrand), die im Zeichen des internationalen Programms JGOFS stand, war dem Kohlenstoffkreislauf im Südpolarmeer gewidmet. Sämtliche JGOFS Standardparameter wurden durch die international zusammengesetzte Arbeitsgruppe erfaßt. Durch die Mitglieder der Sektion wurden darüber hinaus die Diatomeen- und Zooplanktonverteilung und der Fraßdruck, der Bakterienbestand und bakterielle Abbauraten sowie die mögliche Reaktion des natürlichen Planktons auf die Zufuhr von biologisch verfügbarem Eisen bearbeitet. Das Untersuchungsgebiet, das mehrfach beprobt wurde, erstreckte sich von der geschlossenen Eisdecke des Weddellwirbels bis in die Polarfrontzone und umfaßte das Eisrandgebiet sowie den südlichen Zirkumpolarstrom. Im Untersuchungszeitraum wuchsen große Diatomeenbestände in der Polarfrontzone heran, während die Biomasse im übrigen Gebiet recht niedrig blieb. Überraschend war das Ausbleiben einer Diatomeenblüte im Bereich des schmelzenden Meereisrands. Ein Massensedimentationsereignis, ausgelöst durch das Eintreten einer dominanten Diatomeenart in ihre sexuelle Phase, konnte erstmalig dokumentiert werden. Diese Beobachtung trägt zur

Klärung der monospezifischen Ablagerungen von Kieselschalen in den Meeresboden-Sedimenten dieser Region bei.

Eisenanreicherungsversuche mit antarktischen Planktonalgen und natürlichen Planktonpopulationen, die im Labor und auf „Polarstern“ durchgeführt wurden (Zusammenarbeit mit dem Netherlands Institute of Sea Research, Texel), ergaben eine Anregung des Wachstums vor allem im Wasser aus der Polarfrontzone, wo aus noch ungeklärten Gründen die Eisenkonzentrationen wesentlich höher als im südlichen Zirkumpolarstrom und im Weddellwirbel waren. Lokal erhöhte Konzentrationen der Biomasse sowie Verschiebungen der Artenzusammensetzung des Phytoplanktons im Eisrandgebiet deuteten auf einen Eiseneintrag aus schmelzendem Meereis hin, welches um zwei Größenordnungen mehr Eisen enthielt als die Wassersäule.

Das bakterielle Wachstum folgte generell der Verteilung der Phytoplanktonbiomasse und der Primärproduktion. Die höchsten Wachstumsraten und kürzesten Generationszeiten wurden in der Polarfrontzone gemessen, während im Zirkumpolarstrom und im Weddellmeer die Werte sehr niedrig lagen. In der Polarfrontzone und im Eisrandgebiet betrug der bakterielle Abbau organischer Substanz ca. 30% der Primärproduktion, während im Zirkumpolarstrom aufgrund der ausgesprochen niedrigen Primärproduktion sogar bis zu 60% abgebaut wurden. Diese prozentualen Anteile liegen im selben Bereich wie in anderen ozeanischen Regionen.

Die Wegfraßrate durch Zooplankton – vom Krill bis hin zu den herbivoren Protozoen – wurde durch Bestandsmessungen sowie in Fraßexperimenten mit den betreffenden Organismen ermittelt. Der Protozoenbestand sowie der Anteil von intakten, leeren Diatomeenschalen (eine Hinterlassenschaft von Protozoen) zeigen, daß der Fraßdruck zeitweilig groß genug war, um die Akkumulation von Diatomeenzellen zu verhindern. Die größten Metazooplanktonbestände (von Crustaceen dominiert) befanden sich an beiden Fronten, während im Zirkumpolarstrom wenig Zooplankton (vor allem Salpen) vorhanden war.

Die Rolle des Zooplanktons bei der Bildung und Modifikation von Stoffflüssen im Pelagial wurden im Rahmen einer Habilitationsschrift zusammengefaßt. Dabei wurden Szenarien entwickelt, wann und wie Zooplankter zur Erhöhung bzw. Verringerung der Sedimentationsraten beitragen, und wie sie das absinkende Material durch selektiven Fraß beeinflussen.

#### Marine Pilze

Im Wasser, Plankton und Meereis der Drake Passage und beiderseits der Halbinsel (ANT X/1 b) konnten nur wenige

Hyphomyceten, dagegen zahlreiche Hefen und niedere Pilze (pilzähnliche Protisten) nachgewiesen und z. T. isoliert werden. Unter den insgesamt z. Zt. 423 Stämmen befinden sich sowohl psychrophile und psychrophobe als auch mesophile Stämme; einige sind als neue Arten zu beschreiben. Darüber hinaus konnten rund 80, teils endophytische Pilze aus terrestrisch-antarktischem Probenmaterial (Vegetation und Boden) isoliert und bestimmt werden.

#### Bakterien

Nach der Ermittlung der RNS-Profile (5S rRNS und tRNS) von Bakterienisolaten aus den Regionen von Gunnerus- und Astridrücken wurde die taxonomische Untersuchung der Organismen begonnen. Die Isolate aus der Wassersäule erwiesen sich fast ausschließlich als gramnegativ, die Mehrzahl der Sedimentbakterien war dagegen grampositiv. Im allgemeinen liegt der optimale Salzgehalt für die meisten marinen Bakterien bei 23,4%; bei vielen Antarktiskakterien liegt er jedoch wesentlich höher. Alle Isolate zeigten gutes Wachstum bei 1 bis 4°C. Die meisten Bakterien aus der Wassersäule konnten sich aber noch bei Temperaturen von 30°C vermehren, mit einem Temperaturoptimum zwischen 8 und 24°C. Psychrophile Bakterien mit maximalen Wachstumstemperaturen unter 12°C fanden sich fast nur im Sediment.

### 4.2.2 Arbeiten in der Arktis

#### Planktonökologie und Stoffflüsse

Ein auf dem zentralen Barentssee-Schelf aufgenommener Jahresgang der Sedimentation (Zusammenarbeit Universität Izmir, Türkei) erbrachte sehr niedrige Werte. Faeces unterschiedlicher Herkunft bildeten den Hauptanteil des abgesunkenen Materials während der Wachstumsperiode. Da sehr viel Zooplankton in den Sammelgläsern gefunden wurde, ist anzunehmen, daß durch ein sehr effizientes Nahrungsgefüge in der Deckschicht der Partikelfluß stark verringert wurde. Die Rolle der sehr häufigen, kleinen zyklipoiden Copepoden (*Oithona spp.*) bei der Wiederverwertung von Kotballen größerer Zooplankter wurde experimentell untersucht (s. Ausgewählte Forschungsthemen).

Im Gegensatz zum Barentssee-Schelf zeigten sich im Bereich der Laptevsee (ARK IX/4) Anzeichen für eine direkte Zufuhr vom Phytoplankton zum Meeresboden. Die höchsten Phytoplanktonbiomassen wurden im östlichen, vom Ausfluß der Lena stark beeinflussten, eisfreien Teil der Laptevsee gefunden. Im Schelfbe-

reich waren die Nährsalze bereits aufgebraucht. Im vollständig mit Eis bedeckten, westlichen Teil wurden nur geringe Biomassen angetroffen. Pigmentmessungen am Meeresboden zeigten das gleiche horizontale Verteilungsmuster wie an der Wasseroberfläche; die Pigmentkonzentration im Sediment nahm stets vom Schelf bis in die Tiefsee stark ab. Die mikrobielle Aktivität, gemessen an der potentiellen hydrolytischen Enzymaktivität, spiegelte diesen Sedimentationseintrag von Phytodetritus wider. Das in größeren Wassertiefen veränderte Spektrum mikrobieller Enzyme weist auf schwer abbaubares organisches Material hin.

### Nematoden

Arktisches Meereis ist ein Habitat für Nematoden, die hier im Lückensystem nahe der Unterseite des Eises leben können. Bislang sind nur Vertreter der Monhysteroidea (eine Gruppe mit vielen Brackwasserbewohnern) aus diesem Lebensraum bekannt geworden, und es scheint, daß die hier gefundenen Nematodenarten auf den Eislebensraum beschränkt sind. In Sammlungen aus Eisbohrkernen von der Framstraße und von der Laptevsee wurden zwei Arten einer neuen Gattung entdeckt, deren nächste Verwandte in den Barten von Walen leben oder in den Kiemenhöhlen von Landkrabben vorkommen. Viele Eisnematoden zeigen einen leeren Darm; vermutlich ernähren sie sich von gelösten organischen Substanzen. Eine Art frißt als Räuber kleine Nematoden (Zusammenarbeit mit der Staatsuniversität Moskau).

## 4.2.3 Arbeiten im Labor, in der Nordsee und anderen Meeresgebieten

### Phytoplankton

Eine Abhängigkeit des Zellwachstums von der Kohlendioxidkonzentration konnte bei Diatomeen festgestellt werden. Dieses Ergebnis, das sich zunächst in theoretischen Berechnungen und Modellsimulationen andeutete, konnte in Laborexperimenten bestätigt werden. Weiterführende Untersuchungen mit Mikroalgen verschiedener Taxa haben gezeigt, daß das im Meerwasser reichlich vorhandene Bikarbonat von planktischen Algen kaum genutzt wird. Auch die Aktivität extrazellulärer Karboanhydrase, ein Enzym, das die Umwandlung von Bikarbonat zu  $\text{CO}_2$  katalysiert, war bei allen getesteten Mikroalgen zu niedrig, um die  $\text{CO}_2$  Zufuhr wesentlich zu erhöhen. Daraus ergibt sich, daß marines Phytoplankton weitgehend auf  $\text{CO}_2$  als Kohlenstoffquelle angewiesen ist. Veränderungen der globalen  $\text{CO}_2$  Konzentration könnten sich demzufolge unmittelbar auf die marine

Primärproduktion auswirken (s. Ausgewählte Forschungsthemen).

Die Mortalitätsraten von Algen unter ungünstigen Lebensbedingungen (Dunkelheit, Nährstoffmangel, Eis etc.) werden in Experimenten mit Diatomeen polarer und gemäßigter Breiten untersucht. Bei völliger Dunkelheit überlebten alle Zellen der getesteten Algenarten mehrere Monate, ohne ihre Wachstumskapazitäten einzubüßen, vorausgesetzt, daß reichlich Nährsalze vorhanden waren; sie nahmen unmittelbar nach erneuter Beleuchtung ihr exponentielles Wachstum wieder auf. Auch nach dem vollständigen Verbrauch von Nährsalzen blieb die Mortalitätsrate erstaunlich niedrig. Das Eintreten ungünstiger abiotischer Bedingungen führt demnach nicht zum Massenabsterben von Diatomeen, wie vielfach angenommen. Die Mortalität und somit Selektion der Individuen wird vermutlich überwiegend von biotischen Faktoren (Wegfraß, Viren- und Parasitenbefall) gesteuert.

Die neu eingerichtete molekularbiologische Arbeitsgruppe begann ihre Forschungsarbeit mit Untersuchungen zum Artstatus der weit verbreiteten Gattung *Phaeocystis* (s. Ausgewählte Forschungsthemen). Im Rahmen eines EG-Projekts konnte nachgewiesen werden, daß die verschiedenen Morphotypen der Kalkalge *Emiliania* zur selben Art gehören. Andererseits herrscht eine relativ hohe genetische Diversität auf Populationsniveau, ein Hinweis darauf, daß Blüten dieser Art von vielen verschiedenen Saatzellen abstammen müssen. Diese Befunde werfen neues Licht auf die Populationsdynamik von Phytoplankton.

### Planktonaggregate

Untersuchungen zur Bildungsrate und Größe von Diatomeenaggregaten in Abhängigkeit von Tonmineralien ergaben überraschende Ergebnisse. Lithogenes Material beschleunigt die Aggregation; es wird effektiv in Phytoplankton-Aggregate durch die Klebrigkeit der Algenzellen inkorporiert. Sinkgeschwindigkeit und Dichte der Aggregate werden mit zunehmendem Anteil lithogener Partikel erhöht, ihre Größe dagegen nimmt ab. Unterschiedliche Mineralien beeinflussen, abhängig von ihrer spezifischen Oberfläche und Konzentration, die Eigenschaften der Mischaggregate.

### Marine Pilze

In der Deutschen Bucht (Nordsee) ist das Phytoplankton regelmäßig, in allerdings stark wechselnder Häufigkeit durch pilzähnliche Protisten befallen. Laboruntersuchungen mit diesen Parasitoiden (Zusammenarbeit Biologische Anstalt Helgoland) zeigen

artspezifische Wirtselektion. Die Befunde weisen auf die Bedeutung dieser Parasitoiden für die Phytoplanktonentwicklung hin.

Die während ANT X/1a aufgenommene Dichte und Artensammensetzung der marinen Pilze im Atlantik (zwischen 50° N und 50° S) zeigt eine Korrelation mit der Planktondichte und der ATP-Konzentration. Zahlreiche Pilze, darunter verschiedene neue Formen, wurden isoliert und als Reinkulturstämme der KMPB (Kultursammlung Mariner Pilze in Bremerhaven) zugeführt. Biochemisches Screening zeigte ein breites Spektrum induktiver enzymatischer Aktivitäten bei marinen Pilzen. Die Kooperation mit einer pharmazeutischen Firma zum Zwecke der Nutzung ausgewählter mariner Pilzkulturen für biochemisches Screening wurde abgeschlossen.

#### Tiefseebakterien

In vier Tiefseebecken des Atlantiks sowie des Weddellmeers (ANTX/1a und X/3) konnten ab einer Tiefe von 4000 m barophil/psychrophile Bakterien nachgewiesen und isoliert werden. Diese druckangepaßten Formen sind in diesem Tiefenbereich funktionell dominant und an Standorten mit höheren Substratkonzentrationen auch numerisch überlegen. Die Wechselwirkung zwischen Barotoleranz und Substratkonzentration wurde an ausgewählten barophilen Stämmen untersucht. Bei den getesteten Stämmen wurden keine Unterschiede im Barotoleranzverhalten unter Einwirkung von hohen bzw. sehr niedrigen Substratkonzentrationen, welche den *in situ* Verhältnissen ähnlich waren, festgestellt.

Der bakterielle Abbau organischer Substanz in der Tiefsee wurde im Rahmen einer kumulativen Habilitationsarbeit dargestellt. Die hier zusammengefaßten Arbeiten fußen auf Untersuchungen im Nordatlantik, wo eine Kopplung zwischen Phytoplanktonfrühjahrsblüte und benthischem Eintrag mit einer Zeitverschiebung von 4-6 Wochen festgestellt wurde. Der benthische Abbau des saisonalen Sedimentationseintrags erfolgt vorwiegend durch Bakterien und auch Protozoen.

#### Wirkung der UV-B Strahlung auf das Phytoplankton

Im Rahmen des BMFT-Projektes „Auswirkung der UV-B Strahlung auf das Plankton des Südpolarmeeres“ wurde in Zusammenarbeit mit der Abteilung Meeresphysik und Meßwesen ein Spektralphotometer entwickelt, welches das gesamte UV-B Spektrum von 280 – 320 nm parallel erfaßt. Ein ebenfalls neuentwickelter Sonnenscheinsimulator, mit dem die in Abhängigkeit vorgegebener Ozonkonzentrationen an der Erdoberfläche

vorhandene UV-B Strahlung simuliert werden kann, soll in Laboruntersuchungen an ausgewählten Phytoplanktonarten in den kommenden Jahren eingesetzt werden. In den bisherigen Untersuchungen konnte bereits die Induzierbarkeit von UV-B Schutzpigmenten sowie die Existenz eines Enzymsystems zur Reparatur von Schäden an der DNS von Diatomeen nachgewiesen werden. (s. Ausgewählte Forschungsthemen)

#### Diatomeentaxonomie

Am Friedrich-Hustedt-Arbeitsplatz für Diatomeenkunde wurde ein Programm installiert, mit dem die auf Karteikarten gespeicherten taxonomischen, geographischen und ökologischen Informationen nun auf einen Computer übertragen werden. Die bedeutende Diatomeengattung *Attheya* wurde überarbeitet, indem mehrere neue Arten hinzugefügt und andere transferiert wurden. Diese Untersuchungen an Diatomeen der Sandgemeinschaft aus dem Sublitoral belegen die Bedeutung von ökologischer Information bei der taxonomischen Klassifizierung.

### 4.3. Chemie

#### 4.3.1. Forschungsarbeiten in der Arktis

##### Die stratosphärische Ozonschicht über Spitzbergen

Die seit 1988 in Zusammenarbeit mit dem Institut für Umweltphysik der Universität Bremen laufenden Sondierungen der arktischen Stratosphäre an der Koldewey-Station auf Spitzbergen wurden im Winter 1991/92 und 1992/93 fortgesetzt. Das Besondere des Standortes Ny-Ålesund ist, daß er im Winter fast ständig innerhalb des Polarwirbels liegt. Die Meßkampagnen an dieser Station werden sowohl im Rahmen des AGF-Forschungsverbundes „Chemie und Transport von Spurenstoffen in der Atmosphäre“ als auch des Ozonforschungsprogramms der Bundesregierung durchgeführt.

Mit den Messungen von November 1992 bis Ende März 1993 sollten unter anderem Vergleichsdaten gewonnen werden, um die Ergebnisse der ersten europäischen Ozonforschungskampagne EASOE (European Arctic Stratospheric Ozone Experiment) vom Vorwinter 1991/92 besser interpretieren zu können. Seit Oktober 1992 gehört die Forschungsstation auf Spitzbergen in das globale NDSC-Netzwerk zur Beobachtung stratosphärischer Veränderungen (Network for Detection of Stratospheric Chan-



ge). Das NDSC-Meßprogramm für Ny-Ålesund wird in deutsch-norwegischer Kooperation vom AWI, der Universität Bremen und dem norwegischen Luftforschungsinstitut NILU getragen. Ein neues Observatoriumsgebäude für die NDSC-Station wurde 1992/93 geplant, der Bau begann im Sommer 1993.

An instrumenteller Ausstattung setzt das AWI für das NDSC-Programm bislang eine Ozon- und Radiosonden-Station, ein Ozon-LIDAR, ein Aerosol-LIDAR und ein Fourier-Transform-Infrarot (FTIR) Spektrometer ein. Bei den Ozonmessungen mit der LIDAR-Technik, die sowohl bei Nacht als auch am Tag durchführbar sind, erhält man Ozonprofile bis in etwa 40 km Höhe. Ganzjährige Messungen des Ozonprofils bis in ca. 30 km Höhe mittels Ozonsonden erfolgen regelmäßig. Die Entwicklung der arktischen Ozonschicht verläuft wegen des unterschiedlichen Verhaltens des Polarwirbels jedes Jahr anders. Im Winter 1992/93 wurde der bislang stärkste Ozonabbau (ca. 10-15%) beobachtet.

Um die Prozesse, die für den Ozonabbau verantwortlich sind, besser zu verstehen, ist es notwendig, neben dem Ozon auch die Konzentration anderer Spurenstoffe in der Stratosphäre zu bestimmen. Seit März 1992 werden daher an der Koldewey-Station Messungen stratosphärischer Spurengase mit einem FTIR-Spektrometer vom Boden aus durchgeführt (Solare Absorptionsspektroskopie).

Stratosphärische Aerosole können die chemischen Prozesse, die am Ozonabbau in der Stratosphäre beteiligt sind, stark beeinflussen. Mit einem Mehrwellen-LIDAR wurden daher Messungen an Aerosolen vulkanischen Ursprungs und polaren stratosphärischen Wolken in den Wintern 1991/92 und 1992/93 durchgeführt (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen). Der Aerosolhaushalt der arktischen Stratosphäre war aufgrund des Ausbruchs des Vulkans Pinatubo im Juni 1991 während des angegebenen Zeitraums von Schwefelsäure-Aerosolen vulkanischen Ursprungs dominiert.

Wenn die Temperaturen der polaren Stratosphäre deutlich unter 200 K fallen, können sich polare stratosphärische Wolken (PSW) ausbilden. Diese bestehen aus Kristallen von gefrorenem Salpetersäuretrihydrat ( $\text{HNO}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ ; PSW Typ I) oder bei noch tieferen Temperaturen aus Eiskristallen (PSW Typ II). Da der Polarwirbel im Winter 1991/92 durch eine Erwärmung der Stratosphäre gestört wurde, wurden keine polaren stratosphärischen Wolken beobachtet. Der folgende Winter 1992/93 dagegen war durch einen stabilen Polarwirbel charakterisiert. Über einen längeren Zeitraum konnten daher PSW vom Typ I beobachtet werden.

### Lipide in benthischen Organismen

Neben intensiven Lipidanalysen in Phyto- und Zooplanktern wurden erstmalig entsprechende Untersuchungen in benthischen Organismen der Arktis durchgeführt. Für die unterschiedlichen Arten wurde ein breites Spektrum von Lipiden nachgewiesen. In der Regel bildeten Phospholipide - essentielle Membranbestandteile - die Hauptmenge. Eine Zunahme von Anteilen ungesättigter Fettsäuren, die durch Kälteanpassung in Membranlipiden erwartet werden konnte, ließ sich im arktischen Benthos nicht bestätigen. Als Speicherlipide wurden in den Tieren sowohl Triacylglyceride als auch Wachsester nachgewiesen. Ob diese Lipide aus der Nahrung stammen oder von den Benthosorganismen selbst synthetisiert werden, konnte bisher nicht festgestellt werden und soll Ziel weiterer Untersuchungen sein.

### Bildung und Abgabe von Halogenverbindungen durch Makroalgen

Während mehrerer Forschungsaufenthalte auf Spitzbergen wurde das Potential arktischer Grün-, Rot- und Braunalgen zur enzymatischen Halogenierung und zur Abgabe flüchtiger Halogenverbindungen untersucht. In den meisten Algenpräparationen konnte Bromierung und/oder Jodierung, nicht aber Chlorierung von organischem Substrat nachgewiesen werden. Die gemessenen Aktivitäten von unterschiedlichen Arten erstreckten sich dabei über mehr als drei Größenordnungen. Mit ansteigenden Temperaturen war stets eine Beschleunigung der Biohalogenierung meßbar.

Makroalgen, insbesondere Grün- und Braunalgen, gaben auch große Mengen leichtflüchtiger Brom- und Jodkohlenwasserstoffe an das umgebende Wasser ab, insbesondere Bromoform. Mit Ausnahme von Methylbromid waren die Abgaberraten aller anderen Komponenten miteinander korreliert, so daß auf eine gemeinsame Quelle geschlossen werden kann. Im Durchschnitt wurden von Braunalgen der Arktis 200 Nanogramm flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe pro Gramm Algenfeuchtgewicht und Tag produziert, weniger als in gemäßigten Zonen. Grünalgenarten, die sowohl in der Arktis als auch in der Antarktis vorkommen, zeigten keine nennenswerten Unterschiede in den Abgaberraten. Die Bromoformgehalte in Oberflächenwasser und Luft über natürlichen Makroalgenfeldern lagen durchschnittlich bei 50 ng/l und 0,25 pptv. Daraus läßt sich eine Flußrate von 26 mg Bromoform pro Quadratmeter und Jahr in die Atmosphäre berechnen. Dieser Eintrag ist zwanzigmal höher als derjenige des offenen Arktischen Ozean.

### Huminstoffe und assoziierte Komponenten in arktischen Gewässern

Eine bessere chemische Charakterisierung der im Meerwasser gelösten organischen Kohlenstoff- (DOC) und Stickstoffverbindungen (DON) wurde vor allem im Gebiet der Arktis versucht. Erste Ergebnisse zeigen, daß etwa die Hälfte des DOC und DON in arktischen Gewässern aus Huminstoffen besteht, die als schwer abbaubar gelten. Huminstoffbildung im Ozean ist von besonderer Bedeutung, da sie in den globalen Kreisläufen von Kohlenstoff und Stickstoff als Senke wirkt. Wesentliche Fortschritte konnten bei der Charakterisierung stickstoffhaltiger Huminstoffbestandteile erzielt werden. Ein erheblicher Anteil von Aminosäuren ist mit Huminstoffen assoziiert. In der neutralen Fraktion sind 35% des Stickstoffs in Aminosäuren gebunden, in der sauren Fraktion 7%. Weitaus häufigste Aminosäure ist in beiden Fällen Glycin. Partikuläre Substanzen enthalten wesentlich weniger Glycin; stattdessen kommt hier eine Vielzahl von Aminosäuren in vergleichbaren Mengen vor. Bisherige Untersuchungen aus der Antarktis haben zu ähnlichen Ergebnissen wie in der Arktis geführt. Zur Aufklärung der Bildungsprozesse von marinen Huminstoffen wurden Experimente mit radioaktiv markierten Algenkulturen begonnen.

### Nährsalzverteilung in der Nordostwasser-Polynya

Im Rahmen des 'Internationalen Arktischen Polynya Programms' wurden intensive Nährsalzuntersuchungen in der Nordostwasser-Polynya vor Grönland durchgeführt. In diesem Gebiet sind die Oberflächenkonzentrationen von Nitrat stets sehr niedrig; es wäre deshalb zu erwarten, daß es sehr schnell zu einem vollständigen Verbrauch dieses Nährsalzes und damit zu einer Begrenzung des Phytoplanktonwachstums kommt. Durch eine Eisbarriere im südlichen Teil der Polynya entstehen jedoch Auftriebsbereiche, wodurch Wasser aus tiefen Schichten an die Oberfläche gelangt. Zusätzlich fließt am Rand der Polynya Wasser des Arktischen Ozeans unter Vermischung nach Süden. Beide Prozesse transportieren Nährsalze in das Gebiet der Nordostwasser-Polynya und steigern damit ihre biologische Produktivität.

## 4.3.2. Forschungsarbeiten in der Antarktis

### Atmosphärische Spurenstoffe/Luftchemisches Observatorium

Mit dem Bezug des Neubaus der Neumayer-Station in der Antarktis im März 1992 wurde auch das Luftchemische Obser-

vatorium an einen neuen Standort verlegt (Entfernung zur Hauptstation ca. 1,5 km). Schwerpunkte der Langzeitbeobachtungen an diesem Observatorium sind Spurenstoffe der antarktischen Troposphäre. Routinemäßig werden u.a. die bodennahe Ozonkonzentration, Kondensationskerne, Methan, Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe, <sup>222</sup>Radon, <sup>85</sup>Krypton, <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> und <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> und das Langzeitverhalten ausgewählter Komponenten des Aerosols wie Sulfat, Seesalz und Spurenmetalle untersucht. An diesen Untersuchungen sind mehrere deutsche Institute beteiligt. Die Spurenstoffmessungen führen die Überwinterer des AWI durch.

Während der Überwinterung 1992/93 wurde auch der Jahresgang von atmosphärischem Dimethylsulfid (DMS) gemessen. Das DMS wird vom Ozean an die Atmosphäre abgegeben und korreliert mit dem Wachstum von marinem Phytoplankton. Dimethylsulfid wird bei der Zersetzung von Dimethylsulfoniumpropionat (DMSP) aus abgestorbenen Phytoplanktonzellen gebildet. In der Atmosphäre wird DMS hauptsächlich von OH-Radikalen zu Sulfat oxidiert. Von den Sulfataerosolen nimmt man an, daß sie als Wolkenkondensationskerne wirken. Aus einer ansteigenden DMS-Konzentration würde demnach eine erhöhte Wolkenbildung resultieren.

Die Messungen und die Luft- und Wasserproben der „Polarstern“-Fahrt ANT X/1a zur Antarktischen Halbinsel und ins Weddellmeer wurden analysiert und ausgewertet. Untersucht wurden dabei die Konzentrationen von troposphärischen Photooxidantien (O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) sowie leichtflüchtige Halogenverbindungen biogenen und anthropogenen Ursprungs.

### Biosynthese von Lipiden in Copepoden

Untersuchungen polarer Copepoden haben zur Aufklärung einer ungewöhnlichen Lipidspeicherung in einer herbivoren antarktischen Art geführt: *Calanus propinquus* speichert Triacylglyceride mit sehr langkettigen Fettsäuren. Dies wurde bisher noch bei keiner anderen Art der Antarktis oder Arktis gefunden und scheint unter herbivoren Copepoden eine Alternative zur Speicherung von energiereichen Wachsestern zu sein.

Copepoden zeigen artspezifische Unterschiede in ihren Nahrungsspektren. Je nach Art werden Lipide in verschiedener Menge und Zusammensetzung gespeichert, so daß in den Tieren charakteristische Lipidklassen bzw. Fettsäuremuster entstehen. Es konnten charakteristische Fettsäuremuster bei herbivorer, omnivorer und möglicherweise auch carnivorer Ernährung unterschieden werden.

### Struktur und Funktion von Sekundärmetaboliten in benthischen Wirbellosen

Mit der Untersuchung von 60 weiteren wirbellosen Tierarten aus der Bransfieldstraße liegen nun Naturstoffanalysen aus 130 benthischen Arten der Antarktis unterschiedlicher systematischer Stellung vor. Ziel dieser Arbeiten ist es, Tierinhaltsstoffe mit ökologischer Bedeutung und außergewöhnlicher chemischer Struktur nachzuweisen.

Auch bei den neuen Untersuchungen bestätigte sich, daß halogenhaltige Naturstoffe, die für viele Meeresorganismen der tropischen Zonen typisch sind, in Tieren des antarktischen Benthos nur eine untergeordnete Rolle spielen. Analysen von weiteren Nacktschnecken ergaben, daß Sesquiterpene, denen eine Bedeutung als Fraßschutz zugeschrieben wird, nicht in allen Arten nachweisbar waren. Das Vorkommen dieser Substanzen hängt anscheinend vom Biotop und von der Nahrungszusammensetzung der Nacktschnecken ab. Antarktische Seesterne enthielten nahezu ausschließlich  $\Delta$ -7-Sterole, die in dieser Tiergruppe auch in anderen Klimazonen vorkommen. Seegurken enthielten diese Substanzklasse nicht, obwohl sie in nichtantarktischen Vertretern vorhanden ist. In anderen antarktischen Echinodermen waren nur  $\Delta$ -5-Sterole nachweisbar. Das selektive und gleichzeitige Vorkommen von kurzkettigen Wachsestern und ihren biochemischen Vorläufern, den Fettalkoholen in der Polychaetenfamilie Maldanidae konnte durch Einbeziehung weiterer Tierstämme bestätigt werden. Das Ergebnis widerspricht der Lehrmeinung, daß diese Stoffklassen bei Benthostieren taxonomisch bedeutungslos sind.

### Gelöste und partikuläre Sterole im Weddellmeer

Großräumige Verteilungsstudien gelöster Sterole in charakteristischen Wassermassen des offenen Atlantik wurden durch Untersuchungen in der Antarktis fortgeführt. Es war das Ziel festzustellen, welche Sterole im Weddellmeer vorkommen und wie Einzelkomponenten in diesem Gebiet verteilt sind. Die Ergebnisse sollen aufzeigen, wie weit gelöste organische Substanzen mit absinkendem, kaltem Oberflächenwasser in das ozeanische Tiefen- und Bodenwasser eingetragen und bis zu welchen Restkonzentrationen einzelne Spurenstoffe abgebaut werden.

Im Wasser des Weddellmeeres konnten zehn verschiedene Sterole, in der Mehrzahl Produkte des Phytoplanktons, identifiziert werden. Die Verteilung der einzelnen Komponenten weist auf unterschiedliche Quellen. Die durchschnittlichen Sterolkonzentrationen im Oberflächenwasser lagen zwischen 10 und 100 ng/l. Die höchsten Werte um 1000 ng/l wurden für Brassicasterol

gefunden, das vorwiegend von Kieselalgen herrührt. In Tiefen größer als 250 m sank die Konzentration aller aus Phytoplankton freigesetzten Sterole unter 0,5 ng/l. Cholesterol, das auch aus tierischem Material gebildet wird, nahm mit der Wassertiefe nur langsam ab; selbst in Tiefen über 1000 m wurden noch Konzentrationen von etwa 5 ng/l gefunden. In den untersten 100 m über dem Boden zeigte sich wieder ein deutlicher Konzentrationsanstieg aller Sterole. Nach diesen Ergebnissen kann die Verteilung von gelösten Sterolen im Weddellmeer nicht alleine durch Vermischung und Transport von Wassermassen erklärt werden, der mikrobielle Abbau gelöster Anteile und die Auflösung von sterolhaltigen Sinkstoffen scheinen eine größere Rolle zu spielen.

### Anthropogene Stoffe in Meerestieren der Polargebiete

Nachdem signifikante Gehalte der persistenten chlororganischen Verbindungen HCB (*Hexachlorbenzol*), DDE (*Dichlordiphenylethylen*) und PCB (*Polychlorierte Biphenyle*) in Pinguinen der Atka-Bucht festgestellt worden waren, wurden Analysen in Tieren niedriger trophischer Ebenen der Bransfieldstraße durchgeführt. In antarktischen Wirbellosen, auch großwüchsigen Arten, konnten diese Substanzen jedoch nur ausnahmsweise und nahe der Nachweisgrenze gefunden werden. Antarktische Fische enthielten Organochlorverbindungen im Bereich von 10-20 ng/g Fett. Sie wiesen damit unabhängig von der Art um den Faktor 100 niedrigere Gehalte als Pinguine auf. Die Ergebnisse von Rückstandsanalysen in Fischen der Bransfieldstraße von 1986 und 1991 erbrachten Hinweise auf eine zunehmende Belastung der Antarktis mit persistenten chlorhaltigen Umweltchemikalien. Konzentrationsmuster dieser Substanzen in Bodenfischen der Antarktis und Fliegenden Fischen des Mittelatlantik unterschieden sich signifikant. Daraus kann auf substanzspezifische globale Transportprozesse geschlossen werden.

## 4.3.3 Forschungsarbeiten im Atlantik

### Spurenstoffe in der marinen Troposphäre

Atmosphärische Spurenstoffe wurden auf mehreren Meridionalschnitffahrten der „Polarstern“ von der Nord- in die Südhemisphäre (und *vice versa*) untersucht. Schwerpunkte dieser Messungen bildeten Photoxidantien ( $O_3$ ,  $H_2O_2$ ) und leichtflüchtige Halogenverbindungen. Die Verteilung des Ozons in der Grenzschicht der marinen Troposphäre zeigt in der Südhemisphäre Konzentrationen um 15 ppbv, in der Nordhemisphäre 35-40

ppbv. Die um 1-2 Größenordnungen höhere Belastung der Nordhemisphäre mit Stickoxiden sowie dynamische Prozesse scheinen die Hauptursachen für diese asymmetrische Verteilung zu sein. Die vertikalen Ozonprofile (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen) korrelieren häufig negativ mit dem Wasserdampfpartialdruck, was auf eine verstärkte photochemische Ozonzerstörung schließen läßt. Die Konzentration von  $\text{H}_2\text{O}_2$  hat ein breites Maximum zwischen den Wendekreisen mit sinkenden Werten in Richtung höherer Breitengrade.

Halogenhaltige, leichtflüchtige Verbindungen werden im Ozean von zahlreichen Organismen gebildet. Endprodukte der Metabolisierung sind u.a. das Bromoform und Methylbromid, die von den Organismen im Wasser freigesetzt werden und in die Troposphäre gelangen. Bei den leichtflüchtigen Bromverbindungen in der marinen Troposphäre dominieren jene mit biogenem Ursprung. Für anthropogene Stoffe, wie die Halone ( $\text{CF}_3\text{Br}$  und  $\text{CF}_2\text{BrCl}$ ) ist der Ozean eine Senke. Die Schiffsmessungen zeigen, daß beide Halone wegen ihrer langen Lebensdauer global weitgehend homogen verteilt sind, mit leicht erhöhten Anteilen in der Nordhemisphäre

#### Verteilung und Transport organischer Spurenstoffe im Ozean

Die Untersuchung von gelösten organischen Spurenstoffen im Meerwasser wurde mit einer Meridionalfahrt im Atlantik von der Nordhemisphäre bis in die Antarktis fortgesetzt. Proben wurden aus dem Oberflächen-, dem Zwischen-, Tiefen- und Bodenwasser des offenen Nord- und Südatlantik, der Drake Passage, des nordwestlichen Weddellmeers und der Bransfieldstraße gewonnen. Ziel der Untersuchung ist das Verständnis von globalen Stoffkreisläufen. Nach den bisherigen Ergebnissen zeigen Spurenstoffe Verteilungsmuster, die auf unterschiedliche Quellen und stoffspezifische Transportmechanismen hindeuten.

Die Konzentrationen des Insektizids  $\gamma$ -HCH (Lindan) und seines großtechnischen Nebenprodukts  $\alpha$ -HCH ( $\alpha$ -Hexachlorcyclohexan) im Oberflächenwasser des Nordostatlantik fielen auch 1992 mit zunehmender geographischer Breite drastisch ab; dabei kehrte sich das Mengenverhältnis der beiden Isomeren vom Küstenbereich zum offenen Ozean um. Konzentrationen der HCHs in der Nordsee und im Nordostatlantik sind von 1987 bis 1992 um eine Größenordnung gefallen. Instabile biogene Komponenten, wie all-cis-Heneicosahexaen und Phytol, Abbauprodukte von Phytoplanktonbestandteilen, waren meist nur bis 1000 m Tiefe deutlich nachweisbar. Fettsäuren und Wachsester, die auch aus Bakterien und pelagischen Organismen freigesetzt werden, gehörten zu den Hauptbestandteilen der analysierten

Spurenstoffe im Tiefen- und Bodenwasser. Unterschiedlich weit abgebaute Alkane, wichtige Indikatoren für biologische und geologische Prozesse, wurden in allen Tiefen gefunden. In Aerosolen über dem Oberflächenwasser konnte die selektive Anreicherung schwerflüchtiger, lipoider Komponenten um mehrere Größenordnungen nachgewiesen werden, was Bedeutung für die Verteilungsgeschwindigkeit und die Photolyse dieser Stoffe besitzt. In Regenwasser aus der innertropischen Konvergenzzone wurden bakterielle Hopane, terrestrische und marine Sterane sowie andere Bio- und Geomarker nachgewiesen.

### 4.3.5 Laboruntersuchungen

#### Chemische Reaktionen von Spurenstoffen in der Atmosphäre

Um den bromkatalysierten Ozonabbau aufzuklären, wurden Laborsimulationen von homogenen Gasphasenreaktionen sowie Modellrechnungen durchgeführt. Die wichtigsten Quellen für atmosphärisches Brom, das synergetisch mit Chlor einen sehr effektiven Ozonabbau in der mittleren und unteren Stratosphäre bewirkt, sind leichtflüchtige Bromverbindungen. Das biogene Methylbromid ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ) trägt etwa zu 54% zum stratosphärischen Brombudget bei und die anthropogenen Halone  $\text{CF}_3\text{Br}$ ,  $\text{CF}_2\text{BrCl}$  und  $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$  zu je 12–13%.

In der Stratosphäre wird die Freisetzung der Halogenatome und der photochemische Abbau der Halone entweder durch direkte Photolyse oder durch Sauerstoffatome initiiert. Die Produkte bzw. Geschwindigkeits-Koeffizienten der Reaktionen von Sauerstoffatomen mit den verschiedenen Halonen wurden in einem photochemischen Reaktor mit Hilfe der FTIR-Spektroskopie gemessen. In ergänzenden Experimenten mit Inertgasmatriizes wurden die Reaktionsmechanismen untersucht. Es zeigt sich, daß in der gesamten Stratosphäre die direkte Photolyse bei weitem der bevorzugte Primärschritt beim Abbau der Halone ist.

#### Reaktionen an Oberflächen von polaren stratosphärischen Wolken

Voraussetzung für das Entstehen des antarktischen Ozonlochs ist eine chemische Konditionierung der polaren Stratosphäre im Winter. Dabei werden relativ inaktive Chlorverbindungen, sogenannte Reservoirverbindungen, in für den Ozonabbau reaktive Verbindungen umgewandelt.

Derartige Reaktionen laufen in den polaren stratosphärischen Wolken (PSW) an den Oberflächen von Partikeln (Salpetersäure-

hydrate (PSW Typ I) bzw. Wassereis (PSW Typ II) ab. Für die Untersuchung solcher heterogener Reaktionen wurden in einer dafür entwickelten Apparatur zunächst "Eisfilme" bei den entsprechenden tiefen stratosphärischen Temperaturen präpariert und charakterisiert. Für die sehr genau untersuchten festen Salpetersäurehydrate konnten verschiedene Modifikationen identifiziert werden. Bei stratosphärischen Temperaturen sind PSW vom Typ I (Salpetersäuretrihydrat) in der  $\beta$ -Modifikation ( $\beta$ -NAT) am stabilsten. Bei den Untersuchungen der Reaktionen von HCl und HBr mit  $N_2O_5$  zeigte sich, daß die Reaktivität an den reinen Eisoberflächen (PSW Typ II) größer ist als an den Salpetersäuretrihydrat-Oberflächen (PSW Typ I).

## 4.4 Geologie

### 4.4.1 Forschungsarbeiten in der Antarktis

Bei den geowissenschaftlichen Projekten stand weiterhin die Antarktis im Vordergrund der Arbeiten. Dies spiegelte sich auch in der Expeditionsbeteiligung wider. Regionaler Schwerpunkt war dabei wieder der atlantische Sektor der Polarfrontzone und des Antarktischen Zirkumpolarstromes (ANT-X/5, ANT-XI/2).

Die Arbeiten im polaren Südatlantik sind integraler Teil des Sonderforschungsbereiches „Der Südatlantik im Spätquartär: Rekonstruktion von Stoffhaushalt und Stromsystemen“ (SFB 261). Diesen 1989 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) bewilligten und 1992 nach sehr positiver Begutachtung um weitere drei Jahre verlängerten SFB betreiben das AWI und die Universität Bremen gemeinsam. Die Geowissenschaftler des AWI sind an vier Teilprojekten mit paläoklimatischen und paläozeanographischen Fragestellungen wesentlich beteiligt.

#### Bathymetrie

Auf vier „Polarstern“-Expeditionen in das Weddellmeer wurde die allgemeine Erfassung bathymetrischer Basisdaten in den Hauptfahrtgebieten (ANT-X/2, ANT-X/5, ANT-XI/1, ANT-XI/2) und in diesem Rahmen auch die Erstellung der „Polarstern“ Plotting Sheets (PPS) im Maßstab 1:250.000 fortgesetzt. Dieses AWI-Fächersonardatenarchiv mit allen Fächersonarmessungen seit 1982 wird als Planungsunterlage für Expeditionen auch an Bord „Polarstern“ verwendet.

Die Arbeiten an der Bathymetrischen Karte Weddellmeer 1:1.000.000 wurden fortgeführt und stehen vor einem vorläufi-

gen Abschluß. In enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Geodäsie (IfAG Frankfurt) wurden die Topographische Karte des Filchner-Ronne-Schelfeises 1:2.000.000 sowie die digitale topographische Datenbank Antarktis fertiggestellt.

Von der Erweiterung des Abstrahlwinkels der Fächerecholotanlage Hydrosweep auf „Polarstern“ auf  $120^\circ$  und der damit verbundenen Erweiterung der Meßstreifenbreite auf das 3,4-fache der Wassertiefe unter dem Schiff wird eine weitere Effektivitätssteigerung im Meßbetrieb erwartet. Eine intensive Beratung und Mitarbeit erfolgte auch bei der Entwicklung des Signalmückstreu-Systems („backscatter“) für Hydrosweep. Mit Hilfe dieses Systems kann man qualitative Aussagen über die flächenmäßige Zusammensetzung (Struktur, Textur) des Sediments am Meeresboden machen.

#### Sedimentationsgeschichte

Zur Rekonstruktion der Transportprozesse auf dem antarktischen Kontinentalschelf wurden die groben Sedimentkomponenten zwischen  $25^\circ$  W und  $10^\circ$  E untersucht. Aus den Geröllformen ließen sich keine eindeutigen direkten Aussagen ableiten. Im Vergleich mit Geröllanalysen aus anderen Gletschergebieten weist dieser Bereich der Antarktis deutlich darauf hin, daß der Sedimenttransport an einer kalten, trockenen Gletscherbasis erfolgte.

Die Kartierung der regionalen Verteilung der feindetritischen mineralischen Sedimentkomponenten im Weddellmeer und polaren Südatlantik in Abhängigkeit von kontinentalen Liefergebieten und überregionaler Bodenwasserzirkulation wurde fortgesetzt und steht vor ihrem vorläufigen Abschluß. Die rezente Verteilung der sehr feinen Tonkorngrößen, ermittelt durch ein dichtes Netz ungestörter Oberflächenproben, erlaubt Rückschlüsse auf die Wassermassenverteilung sowie auf die Intensität und den Verlauf von Meeresströmungen, die dieses Material leicht verfrachten können. Dabei zeigen sich deutliche Beziehungen zu den verschiedenen Liefergebieten (Antarktische Halbinsel, Ostantarktis, in-situ von mittelozeanischen Rücken) sowie zu den Bodenwassermassen des Zirkumantarktischen Stroms und des Weddellwirbels. In weiterführenden Arbeiten an Sedimentkernen wird die Veränderung der Tonmineralverteilung in ihrer zeitlichen Abfolge für die Rekonstruktion vergangener Zustände der Bodenwassermassen genutzt werden.

Im Rahmen der Kartierung des Meeresbodens mit dem hochauflösenden Parasound-Sedimentecholot wurden im südwestlichen Weddellmeer langgestreckte Rinnen- und Rückenstrukturen erfaßt, die auf kräftige Sedimentumlagerungen am Boden

hindeuten, die entgegengesetzt zum Weddellwirbel, nach Nordosten gerichtet sind. Durch bodennah verankerte Strommesser konnten über ein Jahr hinweg Bodenströmungen ausreichender Intensität nachgewiesen werden.

An der quantitativen Differenzierung des biogenen Sedimentanteils (Karbonat und Opal), als einem der wesentlichen Grundparameter für die Rekonstruktion von Paläoklima und Paläozeanographie, wurde intensiv weitergearbeitet. Dazu wurde im Labor ein halbautomatisches chemisches Analysesystem für die Bestimmung des biogenen Opalgehalts aufgebaut.

Im Verlauf der Glazial/Interglazial-Zyklen hat der Ozean auf Änderungen im globalen  $\text{CO}_2$ -Gleichgewicht mit Änderungen in der Kalzitlösung reagiert. Diese stellt eine wichtige Senke für  $\text{CO}_2$  im Ozean dar. Bei einer weiteren anthropogen verursachten Zunahme des  $\text{CO}_2$  in der Atmosphäre ist in diesem Zusammenhang eine Veränderung der Kalzitlösungsrate zu erwarten. Es ist daher wichtig zu wissen, wie die Kalzitlösung gesteuert wird. Der Abbau von organischer Substanz spielt dabei wegen der Freisetzung von  $\text{CO}_2$  eine wichtige Rolle. Kalzitlösung und  $\text{CO}_2$ -Freisetzung können aus der hochaufgelösten Messung von  $\text{O}_2$ -, pH- und Alkalitäts-Profilen im Porenwasser berechnet werden. Durch *in-situ* Messung mittels Mikroelektroden in einem Freifallgerät wurden während der „Polarstern“-Expeditionen ANT-IX/3 und ANT-X/6 die Gradienten von pH und  $\text{O}_2$  an der Grenzfläche zwischen Bodenwasser und Sediment auf Schnitten vom Schelfrand bis in die Tiefsee gemessen. Erste Ergebnisse zeigen eine Übereinstimmung der Kalzitsättigung bzw. der Lösungsrate mit der Karbonatverteilung im Sediment. Dabei zeigt sich ein Minimum der Kalzitsättigung in Wassertiefen von ca. 3000 m.

#### Paläozeanographie des Zirkumpolarstromes

Ein wesentlicher Arbeitsschwerpunkt war die paläozeanographische Bearbeitung quartärer Sedimente aus dem östlichen atlantischen Sektor des Antarktischen Zirkumpolarstromes. Es wurden methodische Fragen zur Entwicklung kieseliger Mikrofossil-Indikatoren zur Rekonstruktion der Meereisverbreitung bearbeitet. Die Erstellung von Datensätzen der rezenten Diatomeen- und Radiolarienvergesellschaftungen mit den zugehörigen hydrographischen Daten ihres Lebensraumes (Referenzdatensätze) zur quantitativen Rekonstruktion von Paläoumweltdaten wurde weitergeführt. Sie sollen die Rekonstruktion der spätquartären Geschichte des Zirkumpolarstromes mit seinen Frontensystemen sowie der Verbreitung des antarktischen Meereises und der antarktischen Hochproduktionszone ermöglichen.

Mit Hilfe statistischer Methoden, besonders der Entwicklung von Transferfunktion und dem Test von „Ranking“-Verfahren an Diatomeenvergesellschaftungen sowie der Weiterentwicklung von Referenzdatensätzen, konnten wesentliche Fortschritte bei der quantitativen Rekonstruktion von Paläoumweltbedingungen erzielt werden. So beträgt z. B. der derzeitige Standardfehler bei der Rekonstruktion von Paläo-Oberflächenwassertemperaturen nur  $\pm 0,6^\circ \text{C}$ .

Bei der paläozeanographischen Rekonstruktion der Umweltbedingungen im spätquartären Südpolarmeer wurde besonderes Gewicht auf den Zeitraum des Überganges von der letzten Kaltzeit zur heutigen Warmzeit und auf die anschließende holozäne Entwicklung gelegt. Vielversprechende Ansätze bei der Rekonstruktion der Meereisverbreitung während der letzten 300.000 Jahre wurden in Verbindung mit der Meereismodellierung erzielt. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen).

#### Paläozeanographie des Tiefenwassers

Die paläozeanographischen Arbeiten zur Tiefen- und Bodenwasserzirkulation umfaßten die kontinuierliche Weiterentwicklung und Eichung geeigneter Ersatzmeßgrößen („proxies“) für Strömungsgeschwindigkeit und Ausbreitungswege sowie Nährsalz-, Sauerstoff-, und  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Tiefen- und Bodenwassermassen. Dabei wurde die im Weddellmeer begonnene Kartierung der rezenten benthischen Foraminiferenfaunen in Abhängigkeit von der sie umgebenden regionalen Ozeanographie und der lokalen Nahrungszufuhr und ihrer Abhängigkeit von der Exportproduktion aus der photischen Zone nach Norden in den westlichen und östlichen Südatlantik fortgesetzt. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen). Die entsprechenden Arbeiten im östlichen Südatlantik stehen im Rahmen einer Dissertation vor einem vorläufigen Abschluß.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt lag auf der Charakterisierung der rezenten Tiefen- und Bodenwasserzirkulation im Weddellmeer und Südatlantik durch das  $\delta^{13}\text{C}_{\Sigma\text{CO}_2}$  des Meerwassers. Die Messungen sehr schwerer  $\delta^{13}\text{C}$  Verhältnisse im  $\Sigma\text{CO}_2$  der Tiefen- und Bodenwassermassen des Weddellmeeres beweisen, daß rezent eine Entkopplung der linearen, sonst allgemein für Tiefen- und Bodenwassermassen gültigen, Beziehung Phosphat und  $\delta^{13}\text{C}$  stattfindet. Dies erfolgt vermutlich über den  $\text{CO}_2$ -Austausch zwischen Atmosphäre und Oberflächenwasser bei sehr niedrigen Temperaturen während der Bodenwasserbildung.

Die Messungen zur direkten Eichung des  $\delta^{13}\text{C}$ -Signals benthischer Foraminiferen am  $\delta^{13}\text{C}_{\Sigma\text{CO}_2}$  des unmittelbar an der Grenzfläche Sediment/Meeresboden anstehenden Wassers wurden

intensiv weitergeführt. Die Ergebnisse zeigen, daß bei starker episodischer Primärproduktion mit Bildung von Phytodetrituslagen am Meeresboden auch epibenthisch lebende Foraminiferen das  $\delta^{13}\text{C}$ -Signal der Bodenwassermasse nicht im Gleichgewicht aufzeichnen sondern leichtere Isotopenverhältnisse, die an sich nährsalzreicheren Bedingungen entsprechen und zu alte Wassermassen andeuten.

Parallel zu den genannten Arbeiten wurden aber auch schon definierte Ersatzmeßgrößen zur Rekonstruktion der glazialen Zirkulation im Weddellmeer und Südatlantik angewendet. So konnte die Arbeitshypothese bestätigt und weiterentwickelt werden, daß während der letzten Glazialzeiten das heutige Nordatlantische Tiefenwasser als Zwischenwasser in wesentlich geringerer Tiefe und vermutlich mit geringeren Nährstoffgehalten als heute im östlichen Atlantik nur bis maximal  $20^\circ \text{S}$  vordringen konnte. Dagegen läßt sich zeigen, daß eine südliche nährstoffreiche Boden- und Tiefenwassermasse aus der Antarktis sich weit nach Norden bis über den Äquator hinaus ausbreiten konnte.

#### Antarktische Vereisungsgeschichte

Die Arbeiten zur känozoischen Vereisungsgeschichte der Antarktis an Bohrkernmaterial des Ocean Drilling Program (ODP) konzentrierten sich vor allem auf den Zeitraum zwischen 52 und 25 Millionen Jahren. Die Untersuchungen zur Sedimentologie, Isotopengeologie und an kalkigen Mikrofossilien wurden in einer Synthese zusammengefaßt und zu einem vorläufigen Abschluß gebracht.

Die Arbeiten zeigen, daß vor etwa 52 Millionen Jahren eine langanhaltende Abkühlung der Antarktis einsetzte. Erste Anzeichen dafür, daß Eis an verschiedenen Orten bis an die Küste vorgestoßen ist, finden sich in mitteleozänen marinen Sedimenten. Der größte Teil des ostantarktischen Kontinents war damals aber sicher eisfrei und das Klima war gemäßigt und humid.

Eine starke Zunahme des antarktischen Eisvolumens führte vor 35,9 Millionen Jahren zur Entstehung eines kontinentalen Eisschildes in der Ostantarktis während in der Westantarktis nur die höchsten Regionen vergletschert waren. Das Eisvolumen in der Ostantarktis zu jener Zeit entsprach etwa dem heutigen. Die Bildung des kontinentalen Eisschildes ging mit einer entsprechenden Abkühlung des Südpolarmeeres einher.

Der ostantarktische Eisschild war jedoch kein stabiles Gebilde. So rückte die Grundlinie mehrfach an die Schelfkante vor und zog sich zwischen den einzelnen Vorstößen auf die inneren Schelfbereiche zurück. Der Eisschild war temperiert, und in eis-

freien und geschützten Gebieten war eine karge Vegetation vorhanden.

#### 4.4.2 Forschungsarbeiten in der Arktis

Die geowissenschaftlichen Untersuchungen in der Arktis wurden weiter intensiviert. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Auswertung des Probenmaterials der internationalen „Polarstern“-Expedition ARK-VIII/3 (ARCTIC '91) in den zentralen Arktischen Ozean.

Erstmals konnten die oberflächennahen Sedimente des zentralen Arktischen Ozeans über einen Zeitraum von 30.000 Jahren mittels der Sauerstoffisotopen-Stratigraphie und absoluten Beschleuniger- (AMS)- $^{14}\text{C}$ -Datierungen zeitlich genau eingestuft werden. Somit steht erstmals ein zuverlässiges zeitliches Gerüst der Ablagerungsgeschichte zur Verfügung, in welches die Prozeßabläufe eingefügt werden können. Aus der zeitlichen Variation von Menge und Zusammensetzung der organischen Substanz in den Sedimentkernen lassen sich entsprechende Änderungen der Primärproduktion im Arktischen Ozean, vermutlich verursacht durch Änderungen in der Meereisbedeckung sowie des Eintrages der terrigenen organischen Substanz durch Flüsse erklären (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen). Eine einfache Korrelation dieser Variationen mit den Glazial-Interglazialzyklen ist dabei nicht festzustellen. Dagegen lassen sich die Schwankungen der mineralischen Sedimentzusammensetzung, insbesondere im Smektit- und Dolomitanteil, wie auch die geochemischen Haupt- und Spurenelemente (z. B. Mn, Mg und Ba) sehr gut mit den Glazial-Interglazialzyklen korrelieren. Sie gehen vermutlich auf Änderungen der ozeanischen Zirkulation, Bioproduktivität und/oder Abschmelzereignisse zurück.

Die natürlichen Radionuklide in der Wassersäule des Arktischen Ozeans wurden während ARK-VIII/3 mit *in-situ*-Pumpen beprobt. Sie dienen sowohl als hydrographischer Tracer für Wassermassen ( $^{228}\text{Ra}$ ) als auch als Tracer für den Partikelfluß in der Wassersäule ( $^{230}\text{Th}$ ,  $^{231}\text{Pa}$ ). Im zentralen Arktischen Ozean wurde eine hohe Anreicherung von  $^{228}\text{Ra}$  gemessen. Dieses Signal, als Tracer für Herkunft und Verweilzeit von Oberflächenwasser verwendbar, wird von den ausgedehnten russischen Schelfgebieten hergeleitet. Im Gegensatz zu  $^{228}\text{Ra}$  werden  $^{230}\text{Th}$  und  $^{231}\text{Pa}$  durch Adsorption an Sinkstoffen in der Regel rasch aus der Wassersäule entfernt. Die im Makarov-Becken gemessenen sehr hohen Konzentrationen entsprechen daher einer sehr langen Verweilzeit, die im wesentlichen wohl durch einen sehr geringen Partikelfluß verursacht wird.

Die sedimentologischen Untersuchungen am ostgrönländischen Kontinentalhang im Rahmen des Projekts Polar North Atlantic Margins (PONAM) der European Science Foundation (ESF) wurden weitergeführt und stehen vor einem vorläufigen Abschluß. Im Rahmen einer Dissertation konnten für das Gebiet vor dem Scoresby Sund detaillierte Kurven für den Klimaverlauf in den letzten 250.000 Jahren erarbeitet werden. Hier lassen sich deutliche Variationen der klimaabhängigen Produktivität im Oberflächenwasser sowie Ereignisse erhöhter Zufuhr grobkörniger Sedimente vom Land erkennen. Die bislang vorliegenden Daten lassen zum Teil eine deutliche Korrelation mit der maximalen Verbreitung glazialer Verhältnisse erkennen.

Die Auswertung der Fächersonarmessungen in der Framstraße wurde weitgehend abgeschlossen und für die Vorbereitung des bathymetrischen Kartenwerks Framstraße 1:100.000 bereitgestellt. Zur Überprüfung, Verbesserung und Einarbeitung älterer Fächersonarmessungen (Seabeam) sind Nachmessungen und Ergänzungen während zukünftiger „Polarstern“-Expeditionen erforderlich. Die bathymetrische Detailkarte vom Vesteris-Seamount wurde in einer Grundversion fertiggestellt; sie soll mit Seitensicht-Sonarmessungen („side scan sonar“) weiter verfeinert werden.

## 4.5 Geophysik und Glaziologie

Die Arbeiten der Sektion sind durch eine rege Expeditionstätigkeit mit „Polarstern“ und auf den Inland- bzw. Schelfeisen beider Polargebiete gekennzeichnet. Regionale Schwerpunkte für Expeditionen in der Antarktis lagen dabei im südlichen Weddellmeer und dem angrenzenden Hinterland sowie auf dem Ronne- und Ekstöm-Schelfeis. In der Arktis war das grönländische Inlandeis Ziel mehrerer Feldkampagnen. Neben den Auswertarbeiten zu den aktuellen Messungen wurden die Daten früherer Expeditionen weiter bearbeitet und publiziert.

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

Aufbauend auf früher gewonnenen Ergebnissen wurde während der „Polarstern“-Expedition ANT X/2 im Gebiet der „Polarsternbank“ ein relativ dichtes seismisches Profilnetz vermessen. Dieses Gebiet ist eines der Schlüsselgebiete für ein besseres Verständnis der geodynamischen Vorgänge während der

ersten Öffnungsphase des Großkontinents Gondwanaland. Es konnten eine Reihe von alten submarinen vulkanischen Eruptivzentren kartiert werden, die zwei Großlineamente, das Explora- und das Andenes-Escarpment trennen und damit frühere Hypothesen zum Ablauf der Öffnung widerlegen. Während der Datenaquisition erwies es sich als sehr förderlich, daß die seismische Datenbearbeitung mit den an Bord vorhandenen Rechnern sofort beginnen konnte. Gleichermaßen bewährte sich hier die sofortige Verfügbarkeit der detaillierten, mit dem Fächerecholot gewonnenen bathymetrischen Information. Die tiefenseismischen Arbeiten vor dem Ronne Schelfeis führten inzwischen zu der Vorstellung einer Krustendehnung um etwa 200 bis 300 km im südlichen Weddellmeer während der Kreidezeit, ebenso gibt es Hinweise auf mögliche ozeanische Krustenanteile. Diese Ergebnisse wurden durch eine Kombination von reflexions- und refraktionsseismischen Verfahren erzielt, die Beobachtungen auf dem Eis einschlossen und unterschiedliche Tiefenbereiche erfaßten. Die reflexionsseismischen Linien im Weddellmeer vervollständigten auch unser Bild der zirkumantarktischen Seismostratigraphie und damit das Verständnis der Sedimentationsgeschichte.

Im Norden fanden keine seismischen Experimente statt, da wir für die russischen Gewässer der Kara- und Laptevsee keine Forschungsgenehmigungen erhielten. Die „Polarstern“-Reisen konnten lediglich dazu genutzt werden, Schweremessungen durchzuführen. Aus den Daten der Reise ARK VIII/3 konnte die Öffnungsgeschichte des eurasischen Teils des arktischen Beckens rekonstruiert werden. Danach hat sich der Lomonossov-Rücken vor etwa 60 Mio Jahren vom Kontinent getrennt. Die Öffnungsgeschwindigkeit hat sich vor etwa 34 Mio Jahren von 1,3 cm/Jahr auf 0,5 cm/Jahr verlangsamt. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen).

Der ostgrönländische Kontinentalrand im Bereich des Scoresby Sunds war ebenfalls Gegenstand einer intensiven Bearbeitung. So konnte der Verlauf der Moho, der Grenze zwischen Erdkruste und Erdmantel, vom ozeanischen Bereich bis tief in den kontinentalen Bereich kartiert werden. Die Krustenmächtigkeit nimmt hier über eine Entfernung von etwa 200 km von etwa 20 km auf 45 km zu und es gibt Hinweise, daß die Mächtigkeit im zentralen Teil auf mindestens 60 km anwächst. Das Gebiet des Scoresby Sunds wurde auch aeromagnetisch vermessen. Dabei wurde vom Flughafen Constable Pynt aus eine Fläche von etwa 25.000 km<sup>2</sup> mit einem Linienabstand von 5 km befliegen und vermessen und das in das Polarflugzeug Polar 2 neu installierte dreiachsige magnetische Gradiometer zum erstenmal erfolgreich eingesetzt. Die gewonnenen Daten waren von sehr



guter Qualität und zeigen, daß der Einsatz eines Gradiometer Systems gerade in den Polargebieten von hohem Wert ist. Die Meßkampagne schloß mit der Erstellung eines vorläufigen Isanomalienplans, in dem sich die Grenzen der geologischen Einheiten, die zum Teil unter dem Eis liegen, abzeichnen.

Neben den Feldarbeiten und deren Auswertung wurden eine Reihe von Werkzeugen für die Datenbearbeitung erstellt. So konnte beispielsweise eine Datenbank für die im Weddellmeer gewonnenen Datensätze der Gravimetrie und Magnetik in Angriff genommen und ein interaktives Programmsystem zur Interpretation refraktionsseismischer Profile erstellt werden.

#### 4.5.2 Massenhaushalt und Dynamik von Schelf- und Inlandeisen

Die Eismassen der Antarktis und Grönlands sind wesentliche Faktoren im globalen Klimageschehen. Sie stehen in Wechselwirkung mit der Atmosphäre und dem Ozean. Für das globale System der Meeresströmungen ist vor allem die Bildung kalter salzreicher Wassermassen an der Unterseite der Schelfeise von Bedeutung. Die Arbeiten der Sektion beleuchten wichtige Teilaspekte dieser Gesamtproblematik.

Während der Filchner IV Kampagne (1991/92) konzentrierten sich die Arbeiten auf drei verschiedene Aspekte:

(1) Neben einem Flachbohrprogramm zur Bestimmung der Akkumulationsverteilung wurde eine 350 m tiefe Kernbohrung niedergebracht. Sie lag stromaufwärts auf einer Fließlinie mit einer Kernbohrung, die bereits während der Filchner IIIa Kampagne in der Nähe der Schelfeiskante gebohrt worden war. Auch die neue Bohrung erbrachte ab 150 m Tiefe marines Eis, das aus Meerwasser unter dem Schelfeis ausfriert und sich in großer Mächtigkeit anlagert. Die Bestimmung der physikalischen und textuellen Eigenschaften, sowie der chemischen und Isotopen-Analysen am Kernmaterial, die teilweise in Zusammenarbeit mit dem Institut für Umwelphysik in Heidelberg und der Bayerischen Akademie der Wissenschaften durchgeführt werden, ergeben zusammen mit den Ergebnissen gleichartiger Untersuchungen am älteren Kern erste quantitative Hinweise auf die Energie-Umsatzraten an der Unterseite des Schelfeises. Sie sind eine gute Grundlage zur Überprüfung numerischer Modelle der Schelfeis-dynamik und der ozeanischen Zirkulation.

(2) In einem 40 x 40 km<sup>2</sup> großen Testfeld wurde mit Hilfe einer hochgenauen und engmaschigen GPS-Vermessung die kleinskalige Topographie in ellipsoidischen Koordinaten aufgenommen. Über dem Zentrum dieses Testfeldes lag ein Bahn-

kreuzungspunkt des ERS-1 Satelliten, dessen Radaraltimeter in der Lage ist, die Höhen des Inlandeises mit relativ hoher, aber bislang nicht bekannter Genauigkeit zu bestimmen. Die Messungen am Boden erlauben nunmehr die quantitative Abschätzung der erzielbaren Meßgenauigkeit, die von der Neigung und der Rauigkeit der Oberfläche, aber auch von den physikalischen und textuellen Eigenschaften der Schneedecke abhängt. Deshalb wurden zusätzlich Messungen zum elektromagnetischen Rückstreuverhalten der Schneedecke in Abhängigkeit von den genannten Einflußgrößen nicht nur im Testfeld sondern auch über ein sehr viel ausgedehnteres Areal durchgeführt.

(3) Mit einer großkalibrigen Heißwasserbohrung wurde versucht, das Schelfeis mit einem am AWI entwickelten Gerät zu durchbohren, um Meßgeräte in den Ozean unter dem Schelfeis einzubringen. Zwar konnte das Schelfeis mehrfach durchteuft werden, doch gelang es nicht, die Geräte einzubringen, da das Bohrloch nicht hinreichend geradlinig verlief. Aufbauend auf diesen Erfahrungen wurden die Bohrlanzen modifiziert, so daß der Einsatz der Bohrtechnik 1992/93 auf dem Ekström-Schelfeis erfolgreich war. Dort wird inzwischen die Abschmelzrate des Schelfeises kontinuierlich gemessen.

Die Arbeiten auf dem grönländischen Inlandeis waren ebenfalls auf drei Schwerpunkte verteilt. 1992 durchteufte die europäische Tiefbohrung (GRIP) im dritten Bohrabschnitt das Inlandeis an seinem höchsten Punkt. Die erreichte Bohrtiefe betrug 3029 m. Das AWI ist an diesem Programm mit Arbeiten zur Stratigraphie, Eistextur und zu physikalischen Eigenschaften beteiligt. Ein erstes herausragendes Ergebnis dieser Tiefbohrung war die Erkenntnis, daß die letzte Warmzeit, das Eem-Interglazial, klimatische Charakteristika aufweist, die sich deutlich von denen der gegenwärtigen Warmzeit unterscheiden. In einem insgesamt etwas wärmeren Klima kam es zu wiederholten Malen in sehr raschem Wechsel zu extremen Kälteperioden. Ähnlich rasche Temperatursprünge waren bislang nur aus der letzten Glazialzeit bekannt. Es bestand die Auffassung, daß auch frühere Warmzeiten ähnlich gleichförmig verlaufen waren wie das Holozän. Erste Ergebnisse einer benachbarten amerikanischen Tiefbohrung konnten die Ergebnisse der GRIP Bohrung für das Eem-Interglazial allerdings nicht bestätigen. Es zeigen sich dort in den entsprechenden Eislagen Deformationen ab, die durch das Fließen des Eises in der Nähe des Felsbettes hervorgerufen sein könnten. Unsere Arbeiten zur Stratigraphie des GRIP Eiskernes geben nur für die noch älteren Schichten Hinweise auf mögliche Verfaltungen, die das Klimasignal in seiner zeitlichen Abfolge gestört wiedergeben könnten.

Das Feldprogramm zur Untersuchung der Massenbilanz und der rezenten Klimageschichte in Nordostgrönland wurde fortge-

setzt und zunächst auf den Storstrømmen Gletscher konzentriert (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen).

Die Arbeiten werden in enger Kooperation mit dem Grönländischen Geologischen Dienst und dem Dänischen Polarinstitut durchgeführt. Neben der Bestimmung der aktuellen Massenbilanz und ihrer Beziehung zu klimatischen Parametern kann dort auch Eis aus dem letzten Glazial und möglicherweise dem Eem-Interglazial untersucht werden. Dies stellt an sich eine wertvolle Ergänzung zu den Arbeiten der Tiefbohrung dar.

1993 wurde ausgehend vom höchsten Punkt des grönländischen Inlandeises eine Traverse nach Norden begonnen. Kern der Arbeiten ist ein Bohrprogramm, das mit einer Reihe von Flach- und mitteltiefen Bohrungen die räumliche Verteilung der Eisakkumulation und der Klimageschichte während des letzten Jahrtausends erfassen soll. In der ersten Saison wurde eine Strecke von 600 km zurückgelegt und insgesamt 700 m Firn- und Eiskerne erbohrt. Nach Norden zu zeigt sich eine deutliche Abnahme der Akkumulationsraten und des Verhältnisses der stabilen Sauerstoffisotope  $O^{18}/O^{16}$  im Oberflächenschnee. Da mit dieser Traverse auch das Einzugsgebiet des Storstrømmen Gletschers erfaßt wird, erhält man wertvolle Daten für die oben genannten Massenbilanzstudien. Darüber hinaus lassen sich so die Ergebnisse der GRIP-Bohrung über die unmittelbare Umgebung des Bohrpunktes hinaus ausdehnen.

Abgerundet und ergänzt wurden die Feldarbeiten neben Laboruntersuchungen an den gewonnenen Eisproben insbesondere durch Arbeiten zur Modellierung der Dynamik und der klimaabhängigen Veränderungen der kontinentalen Eisschilde und der Schelfeise. Diese Studien dienen auch der Planung der Feld-einsätze, weil die numerischen Experimente die Schlüsselexperimente definieren helfen.

Begonnen wurden ferner systematische Untersuchungen zum Einsatz geophysikalischer Methoden zur Bestimmung der Dicke von Meereis. Dieser für die Modellierung der Wechselwirkung Ozean-Atmosphäre in den polaren Ozeanen wichtige Parameter wird bislang vorwiegend durch Bohrungen auf Eisschollen bestimmt. Eine kontinuierliche Messungen auch vom fahrenden Schiff aus würde eine erhebliche Verbesserung bedeuten.

#### 4.5.3 Langzeitprogramme

Das geophysikalische Observatorium an der Georg-von-Neu-mayer-Station, das seit 1982 in Betrieb war, mußte mit dem Neubau der Station ebenfalls neu errichtet und an den neuen Standort umgesetzt werden. Die Bau- und Installationsarbeiten

wurden im wesentlichen von Mitarbeitern der Sektion selbst ausgeführt und erfolgten neben dem eigentlichen Stationsbau, da die wissenschaftlichen Einrichtungen in etwa 1 km Entfernung errichtet wurden, um den Stationseinfluß weitgehend zu mindern. Der Beobachtungsdienst mußte beim Umzug lediglich für wenige Tage unterbrochen werden. Im Zuge der Neueinrichtung wurde die Datenerfassung auf moderne Rechnersysteme umgestellt, die Sensoren konnten weiterverwendet werden. Zwei seismische Außenstationen spannen ein gleichschenkeliges Dreieck mit 80 km Seitenlänge auf und übermitteln ihre Daten mit digitaler Telemetrie zur zentralen Erfassung an der Station.

#### 4.6 Physik des Ozeans und der Atmosphäre I

Während der Jahre 1992 und 1993 wurden die Meßprogramme zur Untersuchung ozeanischer, atmosphärischer und kryosphärischer Prozesse in den südpolaren und nordpolaren Ozeanregionen fortgesetzt. Insbesondere wurden

- die Feldarbeiten zur Weddellwirbel-Studie durch zwei „Polarstern“-Expeditionen im Südwinter 1992 und im Sommer 1992/93 abgeschlossen,
- die empirische Erforschung der Wassermassenmodifikation in den nordpolaren Schelfmeeren fortgesetzt und 1993 auf die Laptevsee ausgedehnt,
- die Verankerungen mit Strommessern und Eisecholoten in der Framstraße und im Ostgrönlandstrom (bei  $75^{\circ}N$ ) zur langzeitlichen Erfassung der Wärme-, Salz- und Eistransporte durch die Framstraße und der Wassermassenumwandlungen in der Grönlandsee weitergeführt,
- die Untersuchungen zur Dynamik, Thermodynamik und kristallinen Struktur des Meereises in der Arktis und Antarktis durch in-situ-Messungen bei „Polarstern“-Expeditionen, mit Hilfe automatischer Driftstationen und durch die Nutzung der Satellitenfernerkundung (neuerdings auch der SAR-Daten des ERS-1) intensiviert,
- Flugzeugmessungen zum Energie- und Impulsaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre erstmals auch unter Winterbedingungen von Spitzbergen aus vorgenommen,
- ein dreidimensionales nicht hydrostatisches regionales Modell auf die Behandlung der atmosphärischen Strömung im Eisrandbereich angepaßt und anhand von Meßdaten erprobt,
- die Strahlungsmeßstationen im Rahmen des internationa-

len „Baseline Surface Radiation Network“ (BSRN) in der Arktis und Antarktis für den Routinebetrieb eingerichtet,

- die Meßwerte laufender und vorangegangener Arktis- und Antarktis-Kampagnen sowie der Observatorien an den Stationen „Neumayer“ und „Koldewey“ aufbereitet, teilweise auf Datenbanken übertragen und wissenschaftlich ausgewertet.

Folgende Themen wurden während der Berichtsperiode vorrangig bearbeitet:

#### 4.6.1 Die Weddellwirbel-Studie

Die Messungen zur Weddellwirbel-Studie wurden im Januar 1993 mit der Aufnahme von 16 Geräteverankerungen auf einer Schnittlinie durch das Zentrum des Wirbels abgeschlossen. Vorangegangen war im Südwinter 1992 ein umfangreiches meteorologisch-ozeanographisches Meßprogramm verbunden mit intensiven Meereisstudien. Die bisherigen Bearbeitungen des ozeanographischen Materials ergeben:

- einen Massentransport von 160 Sv ( $\text{Sv} = 10^6 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) für den Antarktischen Zirkumpolarstrom und 30 Sv für den Weddellwirbel,
- einen Wärmeverlust des nördlichen Weddellmeeres von  $20 \text{ Wm}^{-2}$  im Jahresmittel, der teils von der Atmosphäre aufgenommen und teils zum Schmelzen von Schelfeis verbraucht wird,
- einen ausgeglichenen Salzgehaltshaushalt des inneren Weddellmeeres durch Meereisbildung und Schelfeisschmelzen, so daß der Wirbel im Mittel kein Salz transportiert,
- eine Bodenwasserproduktion von ca. 4 Sv im inneren Weddellbecken.

#### 4.6.2 Wassermassentransformation im Ostgrönlandstrom

Die im Rahmen des internationalen Grönlandsee-Projektes mit FS „Polarstern“ durchgeführten hydrographischen Messungen und die mehrjährigen, mit Strömungsmesser-Verankerungen gewonnenen Zeitreihen haben neue detaillierte Erkenntnisse über das Entstehen relativ dichten Wassers geliefert, das über die Dänemarkstraße in den Nordatlantik ausströmt. Im Tiefenbereich von wenigen hundert Metern werden entlang von Dichteflächen Arktisches Zwischenwasser und Atlantisches Wasser

miteinander vermischt. Angetrieben wird dieser Prozeß durch mesoskalige Wirbel mit einer horizontalen Ausdehnung von einigen zehn Kilometern, die im Ostgrönlandstrom entstehen. Die Wirbelaktivität und damit auch die Wassermassenvermischung sind starken mehrjährigen Schwankungen unterworfen.

Aus dem Entstehungsprozeß der neuen Wassermasse ergibt sich ein Alter (Zeitspanne seit dem letzten Oberflächenkontakt) des Ausstromwassers von nur wenigen Jahren. Dieser Befund wird durch die hohen Konzentrationen von Sauerstoff und anthropogenen Spurenstoffen weiter gestützt. Unsere Messungen deuten darauf hin, daß etwa die Hälfte des durch die Dänemarkstraße ausströmenden dichten Wassers durch Vermischung in der Grönlandsee entsteht.

#### 4.6.3 Hydrographie im Nordpolarmeer

Die hydrographischen Messungen seit 1991 im Nordpolarmeer haben bisher ergeben, daß in den Storfjord (Spitzbergen) einströmendes Oberflächenwasser mit einem Salzgehalt von 34,3 bis 34,8 psu durch die Bildung von  $6 \cdot 10^{10} \text{m}^3$  Meereis im Laufe des Winters zu Schelfbodenwasser mit einem Salzgehalt bis zu 35,1 psu modifiziert wird. Dieses Wasser verläßt den Fjord nach Südwesten und sinkt am Kontinentalabhang ab. Dort trifft es auf salzärmeres Grönlandsee-Tiefenwasser, dessen Salzgehalt es erhöht. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen).

Auch hat sich gezeigt, daß kalte und relativ salzarme mesoskalige Intrusionen abfließenden Schelfwassers sich bis in die Laptevsee in einer Tiefe zwischen 200 und 700 m erstrecken. In der Laptevsee wird der warme und salzreiche Kern des Atlantikwassers durch kälteres Atlantikwasser vom Kontinentalabhang verdrängt. Es ist anzunehmen, daß der Dichteunterschied zwischen den beiden Wassermassen das großräumige Druckfeld beeinflusst und so die Zirkulation des Atlantikwassers im Nordpolarmeer steuert.

#### 4.6.4 Kohlendioxid in der Wassersäule

Messungen von Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) auf zwei „Polarstern“-Reisen ergeben, daß im frühen Winter das Wasser unter dem Treibeis im ganzen Weddellmeer etwa um 10% gegenüber der Atmosphäre untersättigt ist. Demnach erfolgt die Einstellung des  $\text{CO}_2$ -Gleichgewichts am Ende des Sommers so langsam, daß es bei der Eisbildung im Herbst noch nicht erreicht ist. Allerdings wurde auch im eisfreien westlichen Weddellmeer während des Sommers eine starke  $\text{CO}_2$ -Untersättigung gefunden, die biologisch bedingt war (Planktonblüte).

Normalerweise nimmt die  $\text{CO}_2$ -Konzentration von warmem Tiefenwasser zum Meeresboden hin ab. In Teilen des Weddellmeeres wurde jedoch eine 200 – 500 m dicke Bodenschicht mit erhöhten  $\text{CO}_2$ -Werten gefunden. Da die erhöhte  $\text{CO}_2$ -Konzentration mit hohen Nährstoffwerten einhergeht, ist anzunehmen, daß beides vom Meeresboden aus angereichert wird.

#### 4.6.5 Ozeanographische Datenbank

Nach längerer Vorbereitung steht seit Ende 1993 eine Datenbank zur Verfügung, die alle am AWI verfügbaren hydrographischen und aus Verankerungen gewonnenen Messungen enthält; in Kürze sollen auch die ozeanischen Spurenstoffwerte in die Datenbank aufgenommen werden. Zur Zeit sind mehr als 1100 vertikale Salzgehalts- und Temperaturprofile sowie 120 Verankerungszeitreihen gespeichert. Damit kann jeder Nutzer sich auf einfache Weise dieser Informationen bedienen und sie mit den Inhalten anderer Datenbanken verknüpfen. Die übersichtliche Benutzeroberfläche erlaubt sowohl eine graphische, als auch eine tabellarische Dateneinsicht und sieht verschiedene Verfahren für den Datenexport vor.

#### 4.6.6 Dynamik und Struktur des Meereises

Die sommerlichen Schmelzprozesse in der Arktis bewirken, daß der gesamte während des Winters abgelagerte Schnee sowie rund ein halber Meter Eis abgetaut werden und die Schmelzwässer durch die darunterliegenden Eisschichten hindurchsickern. Als Folge davon variiert die Mikrostruktur des Eises auffällig, während sich die vertikalen Salzgehaltsprofile der beprobten Eisschollen im gesamten Nordpolarmeer weitgehend ähneln. Beides hat Auswirkungen auf die Fernerkundung der arktischen Eisedecke mit Hilfe von Forschungssatelliten. Auch die Besiedelung des Eises durch Organismen wird dadurch nachhaltig beeinflusst.

Aus Salzgehalts- und Isotopenprofilen konnte erstmals nachgewiesen werden, daß molekular-diffusiver Transport während des Sommers für die Entsalzung des mehrjährigen Eises ausreicht.

Die 1991 begonnenen Arbeiten im arktischen Meereis wurden 1993 in der Laptevsee fortgesetzt. Dabei wurden erste Erfolge mit einem elektromagnetischen Induktionsverfahren erzielt, welches die Eisdicke indirekt mißt, so daß ein verbessertes Gerät zukünftig entweder vom Schiff oder von einem Hubschrauber aus regelmäßig eingesetzt werden kann.

Numerische Modellexperimente zur Einschätzung der erforderlichen Randwertgenauigkeit für eine realistische Simulation

der Meereisentwicklung im Weddellmeer erbrachten vor allem hohe Anforderungen an die Daten der Lufttemperatur mit  $\pm 0,5$  K und der Wolkenbedeckung ( $\pm 20\%$ ).

Die Unterscheidung zwischen plattenförmigem und gepreßtem Eis in der Modellsimulation erlaubt nicht nur eine wirklichkeitsnahe Darstellung der Eisverteilung, sondern auch eine gute Bewertung des Alters der Eisfelder in verschiedenen Meeresregionen.

Besonders wertvoll sind die Zeitserien der automatischen Driftbojenmessungen im Nordpolarmeer und im antarktischen Meereisgürtel. Die Daten belegen, daß in der Antarktis die freie Driftbewegung des Eises mehr als 80% des Bewegungsspektrums ausmacht und selbst die Randströme nur sekundär wirken. In Skalen über 100 km kompensieren sich Divergenz- und Deformationseffekte, so daß sie aus den Bojenbewegungen nicht mehr erfaßt werden können. Die Rotation des bodennahen Windfeldes wirkt über das Eisfeld sofort auf die Wassersäule, so daß dort entsprechende Vertikalbewegungen erzeugt werden. Letztere bewirken primär die beobachteten Vertikalverlagerungen der ozeanischen Sprungschicht. Aus der Abschätzung der Wärmeflüsse durch das Meereis, die über gemessene Temperaturprofile berechnet werden, ergibt sich im Zentrum des Weddellwirbels im Winter ein aufwärts gerichteter ozeanischer Wärmefluß von ca.  $20 \text{ Wm}^{-2}$ .

#### 4.6.7 Energie- und Impulsaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre im Framstraßenbereich

Im März 1993 wurden die Polarflugzeuge erstmals am Ende des Winters bei maximaler Meereisausdehnung und extrem niedrigen Lufttemperaturen von Spitzbergen aus eingesetzt. Sie nahmen Messungen der Strahlungsflüsse sowie der turbulenten Wärme-, Wasserdampf- und Impulstransporte nahe der Meeresoberfläche bei unterschiedlichen unteren Randbedingungen vor. Ergänzt wurde die Flugzeugkampagne durch Beobachtungen auf dem Eis (von „Polarstern“ und automatischen Bojen aus) und durch Satellitendaten. Vorläufige Ergebnisse weisen darauf hin, daß

- die Präsenz von niedrigen Stratuswolken die Oberflächenenergiebilanz um bis zu  $80 \text{ Wm}^{-2}$  erhöhen und eine Erwärmung der Eisoberfläche von mehreren Grad Celsius nach sich ziehen kann,
- der turbulente Energieaustausch zwischen Atmosphäre und Ozean bei geschlossener Eisedecke auch im Winter im Vergleich zu den Strahlungstransporten gering ist,

- erhebliche Wärmemengen selbst durch schmale offene Rinnen vom Ozean an die Atmosphäre abgegeben werden und die atmosphärische Grenzschicht markant erwärmen,
- sich in abeisigen Kaltluftausbrüchen über dem Wasser eine intensive Rollenkonvektion entwickelt, wobei an der Meeresoberfläche Wärmeflüsse bis zu  $600 \text{ Wm}^{-2}$  vom Ozean an die Atmosphäre stattfinden, (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen)
- der Impulstransport von der Atmosphäre zum Meereis linear von dem Produkt Freibordhöhe mal Schollenrandlänge pro Einheitsfläche abhängt.

#### 4.6.8 Numerische Simulation der atmosphärischen Strömung über dem Ozean und im Eisrandbereich

Das nichthydrostatische und anelastische 3-D-Modell METRAS der Universität Hamburg wurde übernommen, weiterentwickelt und für erste Simulationsexperimente genutzt. Es wurden u.a. Rechnungen für zwei Meßfälle über der Grönlandsee durchgeführt (Kaltluftabflüsse). Die numerischen Darstellungen reproduzieren sowohl markante Phänomene (Grenzschichtrollen), als auch die Entwicklung der Grenzschichtdicke in guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen. Auch das berechnete Windfeld spiegelt einige der gemessenen Zustände gut wider. Es ließ sich klären, daß eine starke Beschleunigung des Windes im Eisrandbereich nur in geringem Maße auf den Rauigkeitsprung zurückzuführen ist. Hauptursache für diese Erscheinung ist vielmehr der horizontale Temperaturgradient am Eisrand. Die von diesen ausgelöste Vertikalbewegung wird durch eine verstärkte horizontale Strömung ausgeglichen.

#### 4.6.9 Strahlungsbilanzmessungen an den Stationen „Koldewey“ und „Neumayer“

Seit 1992 gehören die Polarstationen „Koldewey“ in der Arktis und „Neumayer“ in der Antarktis zum „Baseline Surface Radiation Network“ des Weltklimaforschungsprogramms. Die Messungen der Strahlungskomponenten und der ergänzenden Beobachtungsanlagen werden ausgewertet, fachlich überprüft, auf einer Datenbank im Institut gespeichert und an das internationale Datenzentrum in Zürich übermittelt.

Versuche zur Parameterisierung der Gegenstrahlung mit Hilfe der Stefan-Boltzmann-Strahlungsformel haben zu einem einfachen Ansatz der effektiven atmosphärischen Emissivität geführt.

Dieses Konzept, das sich besonders zur Anwendung in Meereismodellen eignet, erlaubt die Reproduktion der gemessenen Werte bei vorliegenden Bewölkungs- und Temperaturangaben mit einer Standardabweichung kleiner  $16 \text{ Wm}^{-2}$ .

## 4.7 Physik des Ozeans und der Atmosphäre II

### 4.7.1 Gekoppelte Zirkulationsmodelle für Ozean-Eis

Das Hauptziel dieser Projekte ist das bessere Verständnis der Wassermassenbildung in hohen Breiten und ihr Einfluß auf die mittlere ozeanische Zirkulation und deren langfristige Variabilität. Die Kopplung von Ozean und Meereis sowie von Ozean und Schelfeis in realistischen Modellen ist eine wesentliche Voraussetzung für Studien dieser Vorgänge. Es besteht eine enge Verzahnung mit den Feldarbeiten der Sektion Physik I.

#### Weddellmeermodell

In einem Modell des atlantischen Sektors des Südlichen Ozeans sind die Techniken der Ozean-Meereis-Kopplung entwickelt und erprobt worden. Erste Experimente mit dem gekoppelten Modell zeigen deutliche Verbesserungen des Jahresgangs von Eis- und Schneevolumen sowie der Eisausdehnung im Vergleich zum ungekoppelten Meereismodell. Insbesondere werden der Beginn und die Intensität der Schmelzphase im Frühjahr und Sommer realistischer beschrieben. Zudem zeigt sich eine Verbesserung der vorhergesagten regionalen Eisverteilung im östlichen Weddellmeer sowie an den Küsten des antarktischen Kontinents. Ursache dafür ist der ozeanische Wärmefluß, der erheblich höher ausfällt als bisher angenommen.

#### Wassermassenbildung unter dem antarktischen Schelfeis

Zur Erklärung der Eigenschaften des Antarktischen Bodenwassers ist ein Eintrag von kaltem und salzreichem Eisschelfwasser (ISW) notwendig. ISW wird unter den Schelfeisen gebildet, ob tief unter dem Schelfeis oder im Randbereich – das ist bisher unklar. Ein in der Sektion entwickeltes dreidimensionales Modell der ozeanischen Zirkulation unter einem idealisierten antarktischen Schelfeis zeigt: Der Einfluß von einströmendem Wasser ist gering, und die Zirkulation unter dem Schelfeis kann – im Gegensatz zu klassischen Vorstellungen – als weitgehend abgeschlossen betrachtet werden. Die vom Modell prognosti-

zierten Verteilungen von Schmelz- und Anfriergebietern unterstützen die Planung künftiger Meßprogramme.

#### **4.7.2 Klimaschwankungen der nordatlantischen Zirkulation**

Für die thermohaline Zirkulation im Nordatlantik spielt die Überströmung des Grönland-Schottland-Rückens durch schwere Wassermassen eine herausragende Rolle. Die Bildung dieser Wassermassen wird durch Meereis und Tiefenkonvektion im Europäischen Nordmeer gesteuert.

##### **Kopplung der Nordatlantischen Zirkulation an die thermohalinen Prozesse in Nordpolarmeer**

Hierzu sind zahlreiche Experimente mit einem numerischen Modell der Zirkulation des Nordatlantik und Nordpolarmeers durchgeführt worden. Insbesondere wurde die Sensitivität bezüglich thermohaliner Oberflächenrandbedingungen und verschiedener Modellparameter untersucht. Eine Variation der Oberflächentemperatur und des Oberflächensalzgehalts im Europäischen Nordmeer, wie sie durch unterschiedliche Eistransporte aus dem Nordpolarmeer verursacht werden können, hat eine großräumige Umstellung der Westatlantischen Zirkulation zur Folge. Die Differenzen in den horizontalen Transporten sind beträchtlich, sie betragen bis zu 40 Sv (1 Sv = 1 Mio. m<sup>3</sup>/sec). Auch ist der Zeitraum der Anpassung mit weniger als 10 Jahren überraschend kurz. Diese Ergebnisse unterstreichen die potentielle Bedeutung der Vorgänge in hohen Breiten für dekadische Klimaschwankungen. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen)

Der Salzeintrag in den Nordatlantik durch das Mittelmeerwasser und dessen großskalige Ausbreitung ist ebenfalls wichtig für die Entstehung von Tiefenwasser und die Zirkulation im Atlantik. Allerdings wird dieser Aspekt der Salzgebiltsbilanz in Modellen der Nordatlantischen Zirkulation bisher kaum befriedigend behandelt. Es wurde ein Konzept entwickelt, um verschiedene denkbare Ausbreitungsprozesse des Mittelmeerwassers in Modellexperimenten quantitativ vergleichen zu können. Erste Experimente sind bereits durchgeführt worden.

##### **Ankopplung an den hydrologischen Kreislauf**

Der hydrologische Zyklus ist für langfristige Klimaschwankungen von entscheidender Bedeutung. Nur ein atmosphärisches Modell kann Änderungen im Frischwasserfluß konsistent vorher sagen. Eine weitgehende Vereinfachung der atmosphärischen

Dynamik durch zonale und vertikale Mittelung enthält aber wahrscheinlich die wichtigen Rückkopplungsprozesse. Daher wurde ein atmosphärisches Energiebilanzmodell (EBM) entwickelt, das den Transport latenter Wärme und damit den Netto-Frischwasserfluß an der Grenzfläche Ozean-Atmosphäre berechnet. Das EBM ist mit einem Ozeanmodell mit idealisierter Atlantikkonfiguration gekoppelt worden. Experimente zur Variabilität der thermohalinen Zirkulation haben begonnen.

#### **4.7.3 Modellierung der ozeanischen Tiefenkonvektion**

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, d.h. durch großräumige Feldvariablen zu parametrisieren. Es wurde in den vergangenen Jahren ein dreidimensionales, nicht-hydrostatisches Konvektionsmodell entwickelt. Zahlreiche Experimente wurden durchgeführt, um die Sensitivität der Konvektionsvorgänge von Systemparametern zu untersuchen. Für dieses Modell ist ein aufwendiges Analysepaket für die Energetik der konvektiven Turbulenzelemente erstellt worden. Gegenwärtig wird daran gearbeitet, die Skalen und die Intensität der Konvektionselemente mit großräumigen externen Variablen zu korrelieren.

Das nichthydrostatische Ozeanmodell wurde um ein Turbulenzmodul erweitert. Damit sind jetzt sogenannte 'large eddy simulations' (LES) möglich. Parallel wurde die Entwicklung und Erprobung eines zweidimensionalen Konvektionsmodells (axialsymmetrisch) in einer Diplomarbeit abgeschlossen.

#### **4.7.4 Einfluß der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration auf marine Organismen**

In Kooperation mit Ulf Riebesell (früher AWI, derzeit Uni Santa Barbara) wird der Einfluß von unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf das Wachstum von Kieselalgen und Coccolithophoriden (Kalkflagellaten) untersucht, insbesondere die Rolle des Enzyms Karbonanhydrase bei der Kohlenstoffaufnahme. Für die Berechnung der Komponenten des Karbonatsystems in der Umgebung von Algenzellen wurde ein numerisches Modell entwickelt, das neben Diffusion die relevanten chemischen Reaktionen beinhaltet.

Jelle Bijma und Howard Spero (Davis, USA) führen am AWI Experimente über den Einfluß der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf die Isotopenfraktionierung bei Foraminiferen (Kammerlinge) durch.

Das oben angeführte numerische Modell wird mit veränderten Parametern auf die Modellierung des Foraminiferen-Symbionten-Systems angewandt.

In der physiologischen Mikroumgebung von Kieselalgen und Foraminiferen finden im Zusammenhang mit der Aufnahme von Nährstoffen Diffusions- und Reaktionsprozesse statt. Diese Vorgänge werden mit einem numerischen Modell unter Einbeziehung des Karbonatsystems simuliert.

#### 4.7.5 Einfluß von Algen auf den Strahlungshaushalt von Meereis

Im Meereis eingeschlossene Algen können durch die Absorption von Strahlung und deren Umwandlung in Wärme die Entwicklung des Eises vor allem während der Schmelzphase beeinflussen. Um diese Prozesse genauer zu untersuchen, wurde ein thermodynamisches Eismodell (Maykut and Untersteiner 1968, mit Modifikationen) mit einem detaillierten Strahlungsmodell gekoppelt. Damit lassen sich Lichtspektren in verschiedenen Tiefen als Funktion der Einstrahlungsbedingungen und der Eiszusammensetzung berechnen. Mit gemessenen Werten von Algenkonzentrationen ergibt sich ein deutlicher Einfluß auf die saisonale Änderung der Eisdicke. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen)

#### 4.7.6 Projekte der inversen Modellierung

Ziel dieser Projekte ist es, gemessene Daten der ozeanischen Zirkulation in vereinheitlichter Form mit numerischen Modellen zu verbinden, um unbekannte oder nur schwer meßbare Parameter der ozeanischen Bewegung zu bestimmen (wie die Tiefenzirkulation oder die thermohalinen Komponenten – Wärme- und Süßwasseraustausch mit der Atmosphäre – des ozeanischen Antriebs). Wir nutzen gegenwärtig Satellitenaltimetrie und verschiedene Sammlungen hydrographischer Daten, um diese in regional hochaufgelöste Modelle oder in globale Wassermassenmodelle zu assimilieren.

##### Assimilation von hydrographischen Daten in ein globales Zirkulationsmodell

Gemessene Verteilungen von Temperatur und Salzgehalt werden in das sogenannte großskalig-geostrophische Zirkulationsmodell des MPI-Hamburg (LSG, Maier-Reimer et al.) assimiliert. Um die Bildung von Tiefenwasser zu ermöglichen, wird dabei der Jahresgang berücksichtigt. Es geht darum einen Modellzustand zu finden, der im klimatologischen Gleichgewicht ist und nahe an den Meßdaten liegt. Da das Modell für lange Zeiträume

nur von den Randbedingungen und nicht von den Anfangsbedingungen abhängt, werden die atmosphärischen Antriebe für das Modell invers durch die sogenannte adjungierte Methode bestimmt. Diese Antriebe sind die Windschubspannung an der Ozeanoberfläche, die Lufttemperaturen sowie die Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung. In Unterschied zu den Arbeiten am MPI in Hamburg (Maier-Reimer und Giering), bei denen nur Anomalien der Messungen verwendet werden, versuchen wir eine Verbesserung der gesamten Modellklimatologie zu erreichen. Verbesserungsmöglichkeiten bestehen dabei vor allem im Indischen Ozean, der im Modell an der Oberfläche zu kalt ist, sowie unterhalb von 1000 m Tiefe, wo das Modell generell zu warm ist. Das Projekt ist ein Beitrag zu dem WHP-SAC (WOCE Hydrographic Project/Scientific Analysis Center) (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen).

##### Assimilation von Satelliten-Altimerdaten

Von GEOSAT gemessene Anomalien der Meeresoberflächenauslenkung wurden im Bereich des Südlichen Ozeans durch objektive Interpolation analysiert. Die so gewonnenen synoptischen Karten der Oberflächentopographie wurden in das am AWI entwickelte, wirbelaflösende quasigeostrophische Modell des Zirkumpolarstroms assimiliert. Das Modell paßt sich in wenigen Wochen an die Daten an. Es bleiben jedoch systematische Höhendifferenzen von typischerweise 15 cm bestehen. Die Assimilation hat einen entscheidenden Einfluß auf die mittleren Größen, wie z. B. den Transport des Zirkumpolarstroms. Dies unterstreicht die Bedeutung der zeitlich variablen mesoskaligen Strömungskomponenten auf die mittlere Zirkulation.

Der Erfolg der Assimilation von GEOSAT Altimeterdaten sowie von Oberflächenströmungen in ein einfaches Modell der Golfstromverlängerung wird durch die Berechnung von statistischen Gütefaktoren (wie der Hessischen Matrix und der Jacobi-matrix) untersucht. Die Analyse der Kovarianzmatrix ergibt für die optimierte Modelloberflächentopographie eine Standardabweichung von 1,5 cm. Dies ist erheblich genauer als die Einzelmessungen von GEOSAT (5 bis 10 cm).

#### 4.8 Meeresphysik/Meßwesen

Im Berichtszeitraum hat die Sektion mehrere neuentwickelte Gerätesysteme fertiggestellt und diese auf Expeditionen mit Erfolg einsetzen können. Sie erzielte damit insbesondere neue Ergebnisse bei der Erforschung des Partikelflusses im Meer und

bei der Fernerkundung der Eisverteilung und der Eistypen in den polaren Gebieten.

Der Einsatz eines neuen Schmelzsondentyps soll dazu dienen, abzuschätzen, welchen Beitrag die riesigen Kältereserven des Schelfeises zur Abkühlung des darunter liegenden Meerwassers leisten. Das kalte Boden- und Zwischenwasser füllt den größten Teil der Meeresbecken aus und bestimmt damit das globale Klima mit.

Die Ersteinsätze eines im Schiffsboden der „Polarstern“ eingebauten Lidar-Systems für die Fernerkundung optischer Eigenschaften des Meerwassers (Trübung, Chlorophyll, Gelbstoff, Pigmente) verliefen vielversprechend. Nach dem Vorbild des hierfür entwickelten Einbausystems wurde später ein profilierender Strömungsmesser (ADCP) eisgeschützt im Schiff eingebaut und 1993 erfolgreich erstmals in der Grönlandsee eingesetzt. Die Arbeiten in der Grönlandsee wurden fortgesetzt und konzentrierten sich unter Mitberücksichtigung neuer Meßgrößen auf das Gebiet der North-East-Water Polynya. Diese Arbeiten führten zu einer Erklärung des regelmäßigen Zustandekommens und der biologischen Bedeutung der Polynya. Schließlich wurde die Küstenwasserfront des Antarktischen Küstenstroms zwischen der Atka Bucht und Kapp Norvegia erstmals während der Abkühlungsphase im Herbst hochauflösend vermessen.

Die Entwicklung von Meßinstrumenten, die die Auswirkung des Ozonabbaus in der Stratosphäre durch Messung der Intensität und Dosis der ultravioletten Strahlung erfassen sollen, wurde begonnen. Wie in den vergangenen Jahren oblagen der Sektion umfangreiche Arbeiten zur Aufrechterhaltung des Betriebs wissenschaftlicher Gerätesysteme auf FS „Polarstern“ und der „Neumayer-Station“.

### 4.8.1 Meeresphysikalische Arbeiten

#### Untersuchungen in der Grönlandsee

Die Untersuchung des konvektiven Status der Grönlandsee wurde auf der „Polarstern“-Expedition ARK IX/1 fortgesetzt. Im vorhergehenden Winter 1992/93 fand keine tiefe Konvektion statt. Daher setzte sich die in den vergangenen Jahren beobachtete Erwärmung des Bodenwassers fort. Im Sommer 1993 wurden Feldmessungen in der größten Polynya der Grönlandsee, der Northeast Water Polynya südlich von Nordostrundingen, durchgeführt und im Hinblick auf den Entstehungsprozeß und die Aufrechterhaltung der Polynya sowie auf die Möglichkeit der Bildung von Tiefenwasser auf dem Schelf Nordostgrönlands ausgewertet. Dabei wurden auch optische Sensoren auf ihre Eignung zur Wassermassenidentifikation untersucht.

Parallel hierzu wurde die Wechselwirkung der mesoskaligen Verteilung von Biomasse mit hydrophysikalischen Prozessen in der Marginal Ice Zone der Framstraße untersucht. Dabei zeigte sich zusätzlich zu den eisrandbedingten physikalischen Prozessen, daß großskalige Vorgänge die Primärproduktion stark beeinflussen. Speziell konnte gezeigt werden, daß das Maximum des Biomasse-Vorkommens nicht nur in Beziehung zum Eisrand oder zu einzelnen Wassermassen steht, sondern an mesoskalige isopyknische potentielle Vorticity-Gradienten gekoppelt ist. Die Beobachtung wurde in einer Region gemacht, in welcher Return-Atlantik und Ostgrönlandstrom zusammen treffen.

#### Hochfrequente Partikelflußzyklen in der Wassersäule

Als Komponente des globalen Kohlenstoffkreislaufs spielt der Partikelfluß im Meer eine wichtige Rolle. Er ist meßtechnisch schwierig zu erfassen. Dies gilt besonders für Sedimentationsergebnisse in Zeitskalen zwischen Stunden und einigen Tagen. Der hierfür entwickelte INFLUX-Strommesser mit optischen Sensoren für Trübung und Chlorophyll-Fluoreszenz hat in Kombination mit einer Sedimentfalle seit November 1991 eine 16 Monate umfassende Zeitserie bei stündlichem Abtastintervall geliefert. Die Gerätekombination wurde als Teil des Meßprogramms des SFB 261 in Bremen in der „European Station for Time Series in the Ocean“ (ESTOC) bei den Kanarischen Inseln in 900 m Wassertiefe eingesetzt. Als bemerkenswertes Ergebnis ist zu nennen, daß während der gesamten Beobachtungszeit nur 5 Tage lang starke Wassertrübung mit hoher Chlorophyll-Fluoreszenz registriert wurde. Das in der Sedimentfalle gesammelte Material bestätigte die Vermutung, daß es sich um eine absinkende Planktonblüte handelte. Zur Zeit sind mehrere INFLUX-Geräte zusammen mit Sedimentfallen auf weiteren Positionen im Atlantik verankert, um den Ereignischarakter des Partikelflusses weiter zu erforschen.

#### Die Küstenwasserfront im Weddellmeer

Während der Antarktisfahrt X/3 „Herbst im Eis“ wurden von März bis Mai 1992 umfangreiche hydrographische Messungen bei Kapp Norvegia durchgeführt. Ziele waren die mesoskalige Vermessung der Küstenwasserfront einschließlich des Antarktischen Küstenstroms und die Erfassung der herbstlichen Abkühlung der Ozeanoberflächenschicht. Die CTD-Daten sind aufbereitet, die Auswertung der Daten, die gemeinsam mit Ozeanographen der University of Cape Town vorgenommen wird, ist noch nicht abgeschlossen.



### Langfristige Wasserstands- und Strömungsmessungen im Weddellmeer

Die seit 1988 laufenden Beobachtungen mit einem Pegel und 2 Strommessern bei Kapp Norvegia wurden weitergeführt. Die Auswertung der langen Meßreihen ist zu einem späteren Zeitpunkt geplant.

## 4.8.2 Technische Entwicklungen

### LIDAR-System

Gemeinsam mit der Universität Oldenburg wurde ein LIDAR-Gerät für den Einsatz auf FS „Polarstern“ entwickelt. Mit dem Gerät werden Streuung und Fluoreszenz in der Wassersäule ausgenutzt, um vom fahrenden Schiff aus Stoffkonzentrationen von vornehmlich Chlorophyll und Gelbstoffen zu erfassen. Auf zwei Atlantiküberfahrten konnte das Gerät erfolgreich erprobt und zu ersten Messungen eingesetzt werden. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen)

### Infrarot-Line-Scanner (IRLS)

Um die Fernerkundung von Meereis zu verbessern, wurde ein Infrarot-Line-Scanner entwickelt, der Temperaturbilder der Eisoberfläche aufnehmen kann. Der Infrarot-Line-Scanner wurde mit einer neuen Line-Scan-Kamera (schwarz-weiß) für den sichtbaren Spektralbereich kombiniert, die bezüglich der Empfindlichkeit verbessert und deren Aufnahmegeometrie an die des Infrarot-Line-Scanners angepaßt wurde. Die ersten Routineeinsätze dieser Kombination fanden während REFLEX II und ARK IX statt. Mit Hilfe der aufgenommenen Daten werden Karten der Eiskonzentration erstellt, die bezüglich REFLEX II mit Turbulenzmessungen korreliert wurden und den Einfluß der Eisstruktur auf die Luftströmung liefern. Ferner bilden die Eiskarten beim Vergleich mit Satellitenbildern die Grundlage zum besseren Verständnis der Satellitendaten. Durch Berechnung der Flächenverteilungen von unterschiedlichen Eistypen, Wasserbereichen und Schmelztümpeln auf Meereis werden Aussagen über die Größenverteilung der Schollen und die zeitliche Entwicklung von Schmelztümpeln gewonnen. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen)

### Eissonde SUSI

Durch das erfolgreiche Durchschmelzen des Ekström-Schelfeises mit einer neuen elektrisch geheizten Schmelzsonde (SUSI

= Sonde Under Shelf Ice) konnte gezeigt werden, daß es möglich ist, Sensoren mit relativ geringem Aufwand unter dem Schelfeis einzusetzen. Die Sonde schmilzt sich mit Hilfe eines elektrisch beheizten Kopfes rechnergesteuert durch das Eis, wobei das stromführende Kabel, das gleichzeitig der Datenübertragung dient, während des Durchschmelzens aus der Sonde heraus abgewickelt wird. Ein Prototyp mit einer Heizleistung von 3.5 kW wurde im Winter 92/93 in unmittelbarer Nähe der Neumayer-Station unter dem dort 220 m mächtigen Schelfeis plaziert. Das Durchschmelzen dauerte 75 Stunden. Der logistische Aufwand ist bei dieser Methode gegenüber der Heißwasserbohrung relativ gering. Die Sonde selbst kann mit Sensoren ausgestattet werden, sie soll aber überwiegend als Träger für kleine kommerzielle Sonden eingesetzt werden.

### UV-B Spektralphotometer

Zur Messung des durch den Ozonabbau bedingten Anstiegs ultravioletter Sonneneinstrahlung wurde ein Spektralphotometer für den UV-B-Bereich (280 -320 nm) entwickelt. Der wesentliche Unterschied zu den bisher für derartige Messungen eingesetzten Geräten besteht in der Detektoreinheit (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen). Aufgrund der hohen Empfindlichkeit ist das Gerät auch für den Unterwassereinsatz geeignet. Zunächst soll damit die Auswirkungen der UV-B-Belastung auf Phytoplankton in den Polargebieten untersucht werden.

### Eisgeschützter ADCP

Um die Einsatzmöglichkeiten des institutseigenen, schiffsgestützten 150 kHz ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) denen von „Polarstern“ anzupassen, wurde ein eisgeschützter Einbau des Instruments konzipiert und in der „Polarstern“-Werftzeit 1993 vorgenommen. Weil das ADCP durch ein akustisch transparentes Fenster geschützt wird, muß es bei Eisfahrten nicht mehr entfernt werden. Der Einbau ist so konzipiert, daß ein Fensterwechsel und Geräteservice ohne Trockendocking des Schiffs möglich ist.

### Betrieb wissenschaftlicher Gerätesysteme auf FS „Polarstern“

Die umfangreiche Ausrüstung von „Polarstern“ mit wissenschaftlichen Geräten erfordert einen Koordinator, der ihren Einsatz und die Unterhaltung überwacht sowie für die Einteilung und Weiterbildung der Bordelektroniker sorgt. Diese Aufgabe nimmt Dr. El Naggar wahr.

## 4.9 Forschungsstelle Potsdam

Die Forschungsprojekte der Potsdamer Arbeitsgruppen konzentrieren sich auf Fragen im Zusammenhang mit Klima- und Paläoklimaänderungen und leisten somit einen Beitrag zur Erforschung des globalen Wandels.

Neben den Expeditionen in die Antarktis, die auf die Erfahrungen und Ergebnisse der DDR Antarktisforschung aufbauen, werden verstärkt Messungen in der Arktis durchgeführt. Dabei wird die Koldewey-Station auf Spitzbergen vor allem von der Atmosphärengruppe genutzt. In Kooperation mit russischen Wissenschaftlern sind die Permafrostgebiete Sibiriens Ziel der Geowissenschaftler.

### 4.9.1 Arbeitsgruppe Atmosphärenforschung

Mit der personellen und inhaltlichen Zusammenführung der Aktivitäten des Instituts, die sich mit den klimarelevanten Prozessen in der polaren Stratosphäre und Troposphäre beschäftigen, in Potsdam, fand der Aufbau der Arbeitsgruppe einen vorläufigen Abschluß. Gleichzeitig ging die Verantwortung für den Betrieb der Koldewey-Station auf Spitzbergen in die Zuständigkeit der Arbeitsgruppe über. Sie kooperiert besonders eng mit den Sektionen Physik I und Chemie. Die Arbeiten in den vergangenen beiden Jahren umfaßten

- die Installation des regionalen Klimamodells HIRHAM zur Simulation der arktischen Atmosphäre,
- die Untersuchungen zur Bestimmung verbesserter Randwerte für regionale Klimamodelle und Experimente mit einfachen Low-Order-Modellen zur atmosphärischen Zirkulation,
- die Messung von Spurengasen mit einem hochauflösendem FTIR-Spektrometer mit Sonnen- und Mondlicht an der Koldewey-Station und deren Auswertung,
- die Auswertung der Sonnenphotometermessungen aus Arktis und Antarktis, deren Vergleich mit Satellitenmessungen, und Untersuchungen zum Einfluß troposphärischer Aerosole auf den Strahlungshaushalt,
- die Untersuchung langzeitiger Ozonvariationen in der Antarktis aus Beobachtungen an den Stationen Syowa, Georg Forster und Neumayer und deren Beeinflussung durch die globale atmosphärische Zirkulation,
- die Auswertung der Ozonmessungen an der Neumayer-Station zur Validierung der Satelliten-Ozonmessungen mit dem HALOE-Instrument,

– die wissenschaftliche Begleitung und Durchführung der Langzeitmessungen zum Ozon und der atmosphärischen Trübung an den Stationen Koldewey und Neumayer sowie der meteorologischen, aerologischen und Strahlungsbilanz-Messungen an der Station Koldewey.

### Simulation der arktischen Atmosphäre mit dem regionalen Klimamodell HIRHAM

Das von Danish Meteorological Institute und Max Planck Institut für Meteorologie in Hamburg für mittlere Breiten entwickelte regionale Klimamodell wurde im Februar 1993 übernommen, um es nach Festlegung des arktischen Integrationsgebietes in polaren Breiten anzuwenden.

Das Modell HIRHAM verwendet das physikalische Parametrisierungspaket des globalen Klimamodells ECHAM3 und das dynamische Gerüst des Limited Area Model HIRLAM. HIRHAM soll die monatsgemittelten atmosphärischen Strukturen der Tropo- und Stratosphäre polarer Breiten in einem arktischen Integrationsgebiet in Abhängigkeit von seitlichem Antrieb und Anregung am unteren Rand durch die Meereisbedeckung und Ozeanoberflächentemperaturen beschreiben.

Das Modell besitzt eine horizontale Auflösung von 50 km x 50 km und besteht in der Vertikalen aus 19 Schichten zwischen Erdboden und dem 10 hPa Niveau. Der seitliche Antrieb wird alle 6 Stunden aus ECMWF Daten vorgegeben. Nach dem Einbau notwendiger Modifikationen wurde mit dem Modell der erste erfolgreiche Lauf über 5 Tage bei Start am 1. Januar 1991 in dem neuen arktischen Integrationsgebiet durchgeführt. Dabei wurden ein Zeitschritt von 300 Sekunden, Aufruf der physikalischen Parametrisierungen in jedem 3. Zeitschritt, ein horizontaler Diffusionsoperator 4. Ordnung und klimatologische Ozeanoberflächentemperaturen verwendet.

Durch eine stärkere Dämpfung der Schwerwellen in der Stratosphäre konnte der Integrationszeitraum deutlich verlängert werden, so daß nun Integrationen über einen Monat möglich sind. Der erste vorläufige Vergleich der Modellresultate mit Datenanalysen ist ermutigend und zeigt qualitative Übereinstimmung in Geopotential-, Temperatur- und Windstrukturen.

### Bestimmung von Koeffizienten für die Davies' Rand-Relaxationsmethode

Die Versorgung von regionalen Wettervorhersage- bzw. Klimamodellen mit Randwerten geschieht häufig so, daß man zu viele Randwerte vorgibt und in einer Zone nahe dem Rand die

Modellvariablen an diese Randwerte anpaßt. Dies kann zu unrealistischen Reflexionen von Wellen am Rand führen. Koeffizienten für Davies' Verfahren wurden nun mittels theoretischer Überlegungen so bestimmt, daß diese Reflexionen minimiert werden.

### **Ergebnisse aus einem einfachen Low-Order Modell der atmosphärischen Zirkulation**

Die Ursachen langzeitiger atmosphärischer Variationen in Zeiträumen von Tagen bis Jahren sind weitestgehend unverstanden. Erste Modellexperimente wurden durchgeführt, um den Einfluß intern erzeugter atmosphärischer Variabilität zu untersuchen.

Es konnte gezeigt werden, daß das Auftreten einer Schwingungslösung mit einer Periode von 10 Tagen in einem einfachen Klimamodell mit zwei vertikalen Schichten beschrieben werden kann. Es wurden eine spezielle meridionale Form der breitenabhängigen Wärmequelle, stationäre orographische längenabhängige Anregung und Energieaustausch zwischen dem breitenabhängigen Zustand und der langen Welle durch barotrope und barokline Komponenten zugelassen. Unter diesen Bedingungen entwickeln sich auch bei „abgeschalteter“ synoptischer Wellenaktivität freie Rossby-Wellen durch einen nichtlinearen Instabilitätsmechanismus. Derartige nichtlineare Wechselwirkungen in der Atmosphäre können einen wichtigen Beitrag zur natürlichen Variabilität in der Atmosphäre liefern.

### **FTIR-Messungen von Spurengasen in der polaren Stratosphäre**

Im März 1992 wurde das hochauflösende FTIR (Fourier Transformed Infrared) Spektrometer an der Koldewey-Station installiert.

Mit der Sonne als Infrarotquelle können mit dem Spektrometer hochaufgelöste Absorptionsspektren in diesem Spektralbereich aufgenommen werden. Dadurch lassen sich viele verschiedene Spurengase (z. B. HCl, ClONO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>, verschiedene FCKWs) in der Stratosphäre und Troposphäre nachweisen. Die Messungen sind für Vergleiche mit Modellrechnungen und zum Verständnis der in der Atmosphäre stattfindenden Prozesse, z. B. der Ozonchemie, von Interesse, da für eine Vielzahl von Spurengasen keine ausreichenden Meßdaten vorhanden sind. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen)

Während der EASOE (European Arctic Stratospheric Ozone Experiment) Kampagne wurde das Spektrometer im März 1992 erstmals erfolgreich eingesetzt. Die Konzentrationen einiger Substanzen, z. B. HCl, HNO<sub>3</sub> und NO<sub>2</sub> zeigten innerhalb des

Polarwirbels deutlich niedrigere Säulendichten als gegen Ende März nach Auflösung des Polarwirbels.

Im Oktober 1992 wurde das FTIR Spektrometer zusammen mit anderen Instrumenten zur Sondierung der Stratosphäre als Teil der arktischen Basisstation des internationalen NDSC (Network for the Detection of Stratospheric Change) anerkannt. Mit dem FTIR Spektrometer sollen die langfristigen Spurengasänderungen, z. B. auch der Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKWs), erfaßt werden.

Nach einer Erweiterung des Spektrometers konnten im Dezember 1992 erstmals während der 4 Monate andauernden Polarnacht Messungen mit Hilfe des Mondes als Infrarotquelle durchgeführt werden. Diese Messungen sind u.a. deswegen von Bedeutung, da während der Polarnacht die chemischen Umwandlungsprozesse stattfinden, welche die Atmosphäre für den stratosphärischen Ozonabbau im Frühjahr vorbereiten.

Die Mondmessungen im Winter 1992/93 zeigten, daß offenbar im Gegensatz zur Antarktis keine Denitrifizierung durch Sedimentation der Salpetersäure-Trihydrat-Partikel stattfindet. Die Abnahme von ClONO<sub>2</sub> und HCl in der dunklen arktischen Stratosphäre konnte gemessen werden. Aus den Variationen der Säulendichten von FCKW und anderen Spurenstoffen ließen sich Absinkbewegungen innerhalb des Vortex abschätzen.

### **Bipolare Beobachtungen des Pinatubo-Aerosols und Fallstudien zum Einfluß des troposphärischen Aerosols auf den Strahlungstransport**

Der Vergleich der SAM II und SAGE II-Satellitenmessungen des stratosphärischen Aerosols mit Sonnenphotometermessungen ermöglichte eine Trennung der troposphärischen und stratosphärischen Beiträge zur totalen optischen Dicke des Aerosols in der südpolaren Atmosphäre. Der stratosphärische Anteil beträgt während ungestörter Phasen ungefähr 25%.

Die Eruptionen des Pinatubo und Cerro Hudson im Jahr 1991 veränderten nachhaltig die Aerosolbelastung in der polaren Stratosphäre. Der Rückgang dieser Einflüsse konnte mit Sonnenphotometerbeobachtungen an beiden Polarstationen verfolgt werden. Der Vergleich beider Meßreihen zeigt einen nahezu identischen zeitlichen Verlauf in Nord und Süd, was außerdem die gute Qualität der Kalibrierung dieser Instrumente demonstriert.

Die abgeleiteten Aerosolgrößenverteilung zeigen deutlich den Alterungsprozeß des vulkanisch geprägten Aerosols, bei dem die Masse der kleineren Aerosolpartikel mit Radien  $r < 0,1 \mu\text{m}$  deutlich abnahm.

Im Frühling und Sommer 1993 wurden erste Messungen an der Koldewey-Station durchgeführt, um den Einfluß der hohen troposphärischen Aerosolkonzentrationen in dieser Jahreszeit auf den Strahlungstransport besser zu verstehen. Erste Fallstudien mit dem eindimensionalen, spektral hochaufgelösten Strahlungstransportmodell LOWTRAN deuten darauf hin, daß diese hohe troposphärische Aerosolbelastung ein Strahlungsdefizit von etwa  $2,0 \text{ W/m}^2$  im Vergleich zu den Werten im Sommer an der Erdoberfläche bewirkt.

#### **Langzeitvariationen des stratosphärischen Ozons in der Antarktis**

Bisher gibt es keine Langzeitbeobachtungen der stratosphärischen vertikalen Ozonverteilung für alle Jahreszeiten über der Antarktis. Daher ist die Höhenabhängigkeit der Wirkungen der globalen Zirkulation auf das stratosphärische Ozon über längere Zeiträume, d. h. über mehrere Sonnenfleckenzyklen, nahezu unbekannt.

Die bisher beste Meßreihe lieferte die Station Syowa, die seit 1966 für fast alle Jahre über Vertikalverteilungen des Ozons für die Monate September und Oktober verfügt. Erste Auswertungen zusammen mit den Messungen der Stationen Georg Forster (1985–1991) und Neumayer (1992) zeigen, daß in Höhen oberhalb dem 20 hPa Niveau der Einfluß globaler Zirkulationsmuster dominiert und vermutlich die Ozonreduktion in den niedrigeren Niveaus um 70 hPa durch die Variabilität der meridionalen Restzirkulation moduliert wird. Diese bisherigen Ergebnisse zeigen, daß die niederfrequenten Oszillationen der globalen Zirkulation bei der Bewertung der Ozontrends in polaren wie auch mittleren Breiten berücksichtigt werden müssen. Dafür reicht der bisherige Kenntnisstand bei weitem nicht aus. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen)

#### **Bipolare vertikale Ozonverteilungen**

Die seit 1988 regelmäßig durchgeführten Ozonsondierungen an der Koldewey-Station sind zusammen mit der Georg Forster Meßreihe in dieser hohen zeitlichen Auflösung für polare Breiten nahezu einmalig. Die mit diesen Daten dargestellten mittleren Jahresgänge der vertikalen Ozonverteilung zeigen ein stabiles Sommerminimum des Ozongehaltes in der arktischen Stratosphäre zwischen der Tropopause und etwa 16 km Höhe und entgegengesetzt verlaufende Jahresgänge für das Ozon in der arktischen und antarktischen Troposphäre. Dabei tritt in der Arktis

der zum Sonnenstand korrelierte Jahresgang der Ozonkonzentration deutlich hervor.

#### **Validierung von Satellitenmessungen des stratosphärischen Ozons über der Antarktis**

Die Ozonmessungen an der Neumayer-Station vom Oktober 1992 sind in die Validierung der Ozondaten des UAR-Satelliten (HALOE-Instrument) einbezogen worden. Die Profilvergleiche ergaben eine gute Übereinstimmung im Höhenbereich zwischen 60 hPa und 30 hPa. Abweichungen in größeren Höhen sind wahrscheinlich auf Mängel im Auswertalgorithmus für die Satellitendaten zurückzuführen.

#### **Atmosphärische Langzeitmessungen in der Arktis und Antarktis**

An der Neumayer-Station wurde im März 1992 mit regelmäßigen ballongetragenen Ozonsondierungen begonnen. Die regelmäßigen Messungen mit Sonnenphotometern wurden fortgesetzt.

Während des Polarfrühlings 1992 und 1993 sind die Neumayerdaten in die operationelle Bewertung der Ozonschicht über der Antarktis einbezogen worden, die von der World Meteorological Organisation (WMO) organisiert und in Bulletins veröffentlicht worden ist.

An der Koldewey-Station wurde im Sommer 1993 eine automatische meteorologische Station aufgebaut und in Betrieb genommen. Damit hat zusammen mit den Radiosondenmessungen und den Ozonsondierungen der vollständige Betrieb der Strahlungsbasisstation im Rahmen des BSRN begonnen. Die Daten werden nach entsprechender Qualitätskontrolle an die WMO gemeldet. Die Station ist weiterhin Bestandteil des Global Ozone Observing System (GO3OS) der WMO und meldet regelmäßig aerologische Daten in das Global Telecommunication System der WMO.

Die bisher erzielten Forschungsergebnisse und die moderne Ausrüstung der Station mit leistungsfähigen Instrumenten (Ozon- und Aerosollidar, Infrarot-Spektrometer (FTIR)) haben dazu geführt, daß die Koldewey-Station als eine der drei arktischen Stationen ausgewählt wurde, die für das globale und international betriebene Netzwerk zur Beobachtung stratosphärischer Veränderungen (NDSC) langjährige Meßreihen durchführen soll.

Die Koldewey-Station beteiligte sich an der EASOE-Kampagne während des Winters 1991/1992 und war in das Beobachtungsprogramm bei REFLEX II im Frühjahr 1993 einbezogen.

#### 4.9.2 Geowissenschaftliche Studien in Eisrandgebieten

Die Forschungsarbeiten der Potsdamer Geowissenschaftler konzentrieren sich auf die Eisrandgebiete der Antarktis, die Permafrostlandschaften Sibiriens sowie auf die angrenzenden Küsten- und Schelfbereiche.

Seit Bestehen der Forschungsstelle wurden die wissenschaftlichen Zielsetzungen der Arbeitsgruppen erarbeitet und verschiedene Projekte geplant und durchgeführt.

##### Rekonstruktion der jüngsten Vereisungsgeschichte an Sedimenten periglazialer Seen

In kontinentalen Ablagerungen der Polargebiete, vor allem in den Sedimenten periglazialer Seen, sind Informationen über Prozesse im Zusammenhang mit den Umweltveränderungen der jüngsten Erdgeschichte gespeichert. Auf Grund der hohen Sedimentationsraten in diesen Seen ist eine zeitlich hochaufgelöste Rekonstruktion der letzten 10.000 bis 15.000 Jahre möglich.

Die in den Seen gewonnenen Erkenntnisse werden durch glaziologische und geomorphologische Studien im Umfeld sowie durch Untersuchungen an marinen Sedimenten im küstennahen Bereich und auf dem Schelf ergänzt.

##### Antarktis

Von einer Expedition, die im Südsommer 1991/92 in Kooperation mit der Russischen Antarktis Expedition durchgeführt wurde, stehen aus Seen der Schirmacher-Oase und der Gruberberge viele Sedimentkerne zur Verfügung, die unterschiedliche Sedimentabfolgen aufweisen. Neben laminierten Algenablagerungen, Wechsellagerungen von sandig-siltigem Material sowie grobkörnigeres Material treten an der Basis häufig kompaktierte Sedimente auf. Radiokarbondatierungen an den Sedimenten zeigen für die meisten Seen der Schirmacheroase ein Basisalter von 3.000 bis 7.000 Jahren und weisen auf einen Eisrückzug um diese Zeit hin. Überraschend höhere Alter bis 35.000 Jahre in den kompaktierten Sedimenten lassen auf reliktsche Sedimente schließen, die beim letzten Gletschervorstoß zwar überfahren, aber nicht ausgeräumt wurden. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen)

Starke Schwankungen der  $C_{org}$ - und  $C_{carb}$ -Gehalte in den Sedimentprofilen, mit Höchstwerten von 16%  $C_{org}$ , weisen auf signifikante Variationen der Paläoumweltbedingungen hin, die durch die zukünftigen Laboruntersuchungen (Geochemie, Stabile Isotope, Mineralogie) genauer erfaßt werden sollen.

In Kooperation mit dem AARI in St. Petersburg wurden Seesedimentproben der weiter östlich gelegenen Bungeer Oase untersucht. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die Sedimentbe-  
probung, die bei einer Expedition 1993/94 durchgeführt wurde.

##### Arktis

Weitere Seesedimentproben wurden von der geowissenschaftlichen Arbeitsgruppe der Forschungsstelle Potsdam bei zwei, sich teilweise überlappenden Expeditionen vom 12. 7. 1993 bis zum 14. 9. 1993 nach Mittelsibirien gewonnen, die gemeinsam mit Wissenschaftlern aus St. Petersburg und der Universität Moskau durchgeführt wurden. (s. a. 3.4 Landexpedition Sibirien)

##### Klimabedingte Veränderungen in Permafrostböden

Große Flächen polarer und subpolarer Gebiete werden von Permafrost eingenommen. Der Permafrostboden als systembestimmende Landschaftskomponente reagiert sehr sensibel auf Umweltänderungen. Dabei sind die Prozesse, die in dem System ablaufen, noch weitgehend ungeklärt. Dies gilt besonders für das Verhalten des Kohlenstoffs in diesen Böden, der dort in großen Mengen als Kohlendioxid und Methan vorliegt. Dabei spielt auch die Untersuchung der hydrologischen Gegebenheiten der Untersuchungsgebiete sowie die isopenchemische und geophysikalische Untersuchung von Paläowässern bzw. fossilen Eiskörpern eine wichtige Rolle. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen)

Im Zeitraum seit Bestehen der Forschungsstelle wurden vor allem Gespräche mit potentiellen russischen Partnern über gemeinsame Expeditionen geführt und geeignete Studienobjekte erkundet.

Während der Expedition auf die Taymyr-Halbinsel im Sommer 1993 wurden Permafrostaufschlüsse besucht und dokumentiert und für eine Expedition im Sommer 1994 das Gebiet des Lbaz-Sees ausgewählt.

An Bodenproben, die von Expeditionen des Instituts für Bodenkunde in Puschschino stammen, wurden durch mineralogische und geochemische Untersuchungen der Mineral- und Elementbestand ermittelt. In Zusammenarbeit mit Puschschino liegt ein Schwergewicht der Untersuchungen auf geochemischen und biologischen Reaktionen die zu Umbildungen der anorganischen und organischen Komponenten von Permafrostböden führen.

### **Marine bzw. küstennahe Geologie**

Die paläoklimatologischen und paläozeanographischen Informationen, die in marinen Sedimenten gespeichert sind, werden vor allem im küstennahen Bereich durch Erosions- bzw. Transportvorgänge vom Land beeinflusst. Die Verknüpfung der an Land stattfindenden Prozesse mit denen im Meer ist deshalb von entscheidender Bedeutung für das Verständnis des Gesamtsystems.

Mitarbeiter des AWI-Potsdam haben im Sommer 1993 auf der „Polarstern“-Expedition im Schelf- und Hangbereich der Laptevsee sowie an der „Ivan Kireyev“-Expedition in den Küsten- und flachen Schelfbereich der Laptevsee teilgenommen. Die geochemischen Untersuchungen an Sedimenten und Porenwasser der oberen Schichten sollen vor allem klären, inwieweit Material, das vom Land in den Schelf eingebracht wird, dort fixiert wird oder über den Schelf hinaus in den arktische Ozean gelangt.

Massenbilanz eines 4.000 km<sup>2</sup> großen zwischen der Schirmacheroase und dem Wolthatmassiv gelegenen Gletschergebiets möglich.

### **Wechselwirkung zwischen Inlandeis und Antarktischen Oasen**

Oasen nehmen im Randbereich des antarktischen Eisschildes eine Sonderstellung ein. Das in ihrem Bereich stark verringerte Reflexionsvermögen der Sonnenstrahlung bewirkt eine oasentypische lokale Erwärmung, die zu erhöhter Ablation im glazialen Umfeld und damit zu einer Vergrößerung des eisfreien Gebietes führt. Kenntnisse über die glaziale Umgebung sind für die Entstehung solcher Oasen erforderlich und sollen letztendlich in einem Bewegungsmodell dargestellt werden. (s. a. Ausgewählte Forschungsthemen)

1988 wurde mit der Vermessung eines Geodätischen Festpunktnetzes begonnen, das als Grundlage für die Bestimmung von Signalkoordinaten auf dem Gletscher diente. Während der deutsch-russischen Expedition 1991/92 wurden Wiederholungsmessungen der Signallagen durchgeführt und daraus die Bewegungsvektoren der Gletscher in der Umgebung der Schirmacher Oase an markierten Trassen gemessen. Diese Geländemessungen konnten im März 1993 wiederholt werden, so daß jetzt ein genaues Bild über die Eisbewegungen vorliegt. Zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten werden darüber hinaus Satellitenaufnahmen interpretiert.

Ebenfalls 1991/92 entlang der geodätisch beobachteten Trassen durchgeführte Radareisdickenmessungen vermittelten Kenntnisse über Querschnittsprofile des Gletschers. In Verbindung mit dem an entsprechenden Pegelstangen bestimmten Zubzw. Abtrag der Eisoberfläche sind erste Abschätzungen der

## 5. Ausgewählte Forschungsthemen

Die Entwicklung von Kaltwasser-Makroalgen

Die Biodiversität des antarktischen Benthos

Weddellrobben - Tieftaucher in der Hochantarktis

Die weltweit verbreitete Planktonalge *Phaeocystis*:  
Untersuchungen zu physiologischen und molekularen  
Unterschieden

Die Entwicklung von Algen- und Bakteriengemeinschaften  
im Meereis

Zooplanktonkot in der Arktis: Nahrungsgrundlage im Pelagial  
oder Transportvehikel bei der Sedimentation?

Stimuliert ein globaler Anstieg des Kohlendioxids die  
marine Primärproduktion?

Die Beziehung zwischen Huminstoffen und Aminosäuren  
in polaren Gewässern

Die Ozonverteilung in der Atmosphäre über dem Atlantik

Pinatubo-Aerosole und polare stratosphärische Wolken

Spurengas-Messungen in der arktischen Stratosphäre  
während der Polarnacht

Die mittleren vertikalen Ozonverteilungen über Arktis  
und Antarktis

Eisbewegung und Subglazialtopographie im Umfeld  
der Schirmacheroase, Ostantarktis

Umweltgeschichte der kontinentalen Ostantarktis –  
aufgezeichnet in Seesedimenten

Das antarktische Meereis und seine Verbreitung  
in geologischer Vorzeit – Rekonstruktion und Modellierung

Kalt- und Warmzeiten im Südatlantik anhand  
benthischer Foraminiferen

Terrigener Sedimenteintrag im östlichen Arktischen Ozean

Mineralbildung in Sedimenten und Böden der Permafrostzone

Seismische Untersuchungen im eurasischen Becken  
(Arktischer Ozean)

Untersuchungen zum Massenhaushalt des Inlandeises  
in Nordostgrönland

Wassermassenbildung im Storfjord –  
ein Modell arktischer Schelfgebiete

Atmosphärische Rollenkonvektion in der Framstraße

ERS-1 Radaraufnahmen des antarktischen Meereises

Der Einfluß von Algen auf die physikalischen Prozesse  
im Meereis: ein Modell

Die Bestimmung der Zirkulation im Weltmeer  
aus hydrographischen Daten

Auswirkungen der Tiefenwasserproduktion  
auf die Zirkulation des Nordatlantik

Infrarot-Zeilenkamera zur verbesserten Meereisfernerkundung

LIDAR-Gerät zur Beobachtung  
fluoreszierender Stoffe im Meer

Untersuchung der durch das Ozonloch verursachten  
UV-B Belastung auf Produktion und Artenzusammensetzung  
des Phytoplanktons

---

## Die Entwicklung von Kaltwasser-Makroalgen

Marine Makroalgen, auch als Meerestange bekannt, sind bis zu 50 m große, grün, rot oder braun pigmentierte, auf Felsen oder anderen Hartsubstraten festgewachsene Pflanzen. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen Arten aus der Antarktis, die in der Nähe des neu eingerichteten Dallmann-Laboratoriums auf der King George Insel verbreitet sind. Obwohl Makroalgen aus-

schließlich in Küstengewässern vorkommen, die nur 0,6% der Fläche der Weltmeere ausmachen, ist ihr Anteil an der globalen ozeanischen Produktion zusammen mit den zu den höheren Pflanzen gehörenden Seegräsern mit 5% unerwartet hoch. Während bereits zahlreiche Erkenntnisse zur Biologie von Makroalgen und zu ihrer ökologischen Bedeutung in den



Abb. 1: Die Rotalge *Phycodrys quercifolia*.



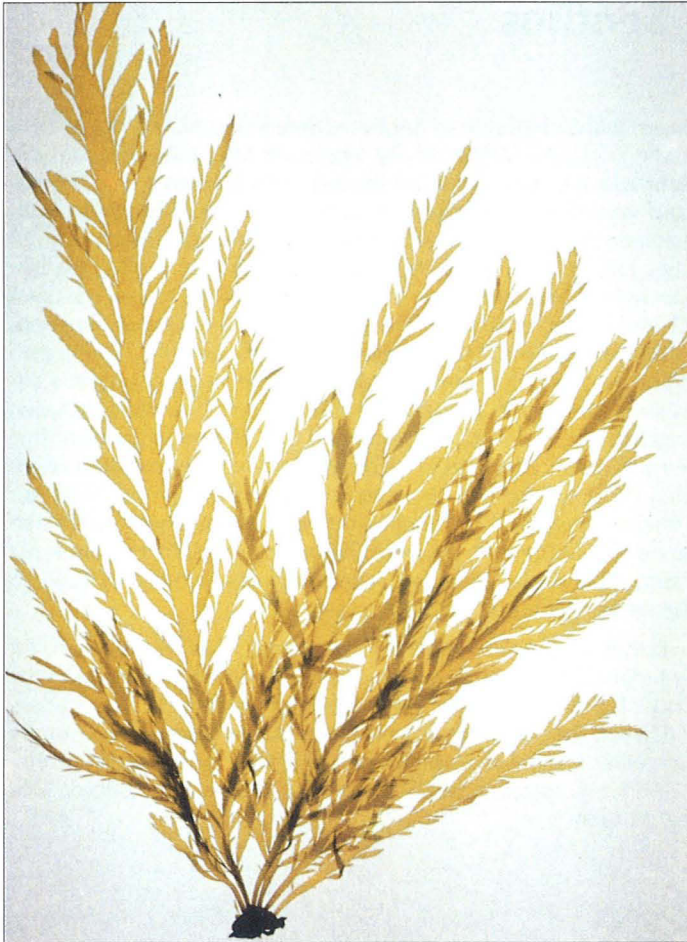


Abb. 2: Die Braunalge *Desmarestia antarctica*

gemäßigten Breiten vorliegen, ist unser Wissen über polare Makroalgen immer noch lückenhaft.

In den letzten Jahren haben wir daher zusammen mit Wissenschaftlern der Biologischen Anstalt Helgoland, der Universitäten Groningen und Kiel schwerpunktmäßig Forschungen zur Evolution von Kaltwasseralgen durchgeführt. Wir haben ermittelt, welche Temperaturen Makroalgen verschiedener geographischer Regionen benötigen und dies in Beziehung zur Klimageschichte der betreffenden Regionen gesetzt. Tropische Arten wachsen nur bei Temperaturen zwischen 20 und 30 °C und sterben unter 14 und über 35 °C ab. Arten aus den polaren und kalt-

gemäßigten Regionen haben ihre Toleranz gegenüber tiefen Temperaturen erweitert und zeigen oft sogar bei Temperaturen um 0 °C optimale Wachstums- und Reproduktionsraten. Bei Arten aus der Arktis ging die Fähigkeit, bei Temperaturen über 15 bis 20 °C zu wachsen und sich fortzupflanzen, verloren. Auch die obere Überlebenstemperatur senkte sich auf ca. 20 °C. Eine noch stärkere Anpassung an tiefe Temperaturen zeigt sich bei antarktischen Arten. Braunalgen aus der Antarktis beispielsweise wachsen und pflanzen sich nur bei Temperaturen unter 5 °C fort. Sie sterben bereits oberhalb von 11 bis 13 °C ab. Diese Unterschiede in den Temperaturansprüchen arktischer und antarktischer Algen werden auf die unterschiedlich lange Kaltwassergeschichte von Arktis ( $\leq 3$  Mio. Jahre) und Antarktis ( $\geq 14$  Mio. Jahre) zurückgeführt. Insgesamt läßt sich aus diesen Untersuchungen durch Vergleich von Arten aus verschiedenen Regionen mit unterschiedlicher Klimageschichte ein äußerst differenziertes Bild über den Grad der Anpassung an tiefe Temperaturen und über den Zeitbedarf für die Evolution von Kaltwasseralgen gewinnen.

Neben ausschließlich in einer der beiden Hemisphären verbreiteten Arten gibt es eine kleine Anzahl von Arten, die in beiden Polargebieten vorkommen. Bereits vor mehr als zehn Jahren wurde die Hypothese aufgestellt, daß sich diese Arten in einer der beiden Hemisphären entwickelt und die Tropen im Pleistozän überquert haben, als die Temperaturen der äquatorialen Meere niedriger waren. Diese Annahme konnte jetzt in allen Fällen auf unterschiedlichen Wegen bestätigt werden. So ergaben molekularbiologische Untersuchungen, daß bestimmte Abschnitte des Genoms in nord- und südhemisphärischen Populationen einer Art nahezu identisch sind, ein Hinweis auf eine zeitlich nicht weit zurückliegende Entstehung dieser Disjunktion. Darüber hinaus liegen die oberen Überlebenstemperaturen aller untersuchten Arten mit 23 bis 28,5 °C so niedrig, daß eine Überquerung des Tropengürtels während des Maximums der letzten Eiszeit an den Ostküsten der Ozeane möglich war. Nach paläoklimatologischen Untersuchungen herrschten dort zu dieser Zeit Wassertemperaturen von 23 bis 25 °C.

Diese Ergebnisse sind nicht nur für die Grundlagenforschung von Interesse, sie erlauben auch eine Vorhersage von Veränderungen in der Verbreitung bestimmter Arten aufgrund möglicher globaler Temperaturveränderungen. Sie ermöglichen darüber hinaus, Szenarien zu entwerfen, die die Veränderungen in den ökologischen Verflechtungen der Küstenökosysteme darstellen.

## Die Biodiversität des antarktischen Benthos

Die hohe Anzahl von Arten in der Bodenfauna des antarktischen Ozeans war eine der größten Überraschungen in der Erforschung des Südpolarmeeres. Bisher sind z. B. 300 verschiedene Arten von Schwämmen (Porifera), 600 Schnecken (Gastropoda), 200 Muscheln (Bivalvia), 650 Borstenwürmer (Polychaeta), 600 Flohkrebse (Amphipoda) und 300 Asseln (Isopoda) bekannt, von denen ein großer Teil endemisch ist, d.h. nur in der Antarktis vorkommt. Auch heute noch werden jedes Jahr neue Arten beschrieben.

Für den Ökologen ist weniger die absolute Anzahl von Arten in einer Lebensgemeinschaft von Interesse, sondern vor allem die Biodiversität der Gemeinschaft. Die Biodiversität ist niedrig, wenn eine Gemeinschaft von relativ wenigen Arten, die aber in hohen Anzahlen vorkommen, dominiert wird. Die Biodiversität ist hoch, wenn sich die Gemeinschaft aus vielen Arten, die alle etwa gleich häufig sind, zusammensetzt.

Die Diversität ist ein Indiz für die Komplexität der Interaktionen und Nahrungsbeziehungen innerhalb einer Gemeinschaft und gibt damit auch Hinweise auf deren Entwicklungsgeschichte. Hochdiverse Gemeinschaften können sich nur über lange Zeiträume mit stabilen Umweltbedingungen, d.h. ohne nicht vorhersagbare extreme Veränderungen, entwickeln.

Großräumige Vergleiche der Biodiversität von Isopoden, Gastropoden und Bivalven des Kontinentalhangs und der Tiefsee ergaben, daß auf der Nordhalbkugel die Diversität von den Tropen aus in Richtung Nordpolarmeer stark abnimmt, während auf der Südhalbkugel kein klarer Trend zu erkennen ist (Abb.1).

Die geringe Diversität in hohen nördlichen Breiten wird vor allem mit den Auswirkungen der letzten Eiszeit in Zusammenhang gebracht, die zu einer extremen Dezimierung der benthischen Fauna und anschließender, immer noch andauernder Wiederbesiedelung des Nordmeeres geführt hat.

Die Auswertung unserer in den letzten zehn Jahren erarbeiteten Daten aus dem Weddellmeer zeigen für die Antarktis ein ganz anderes Bild: Die Diversität von Isopoden, Gastropoden und Bivalven ist weit höher als in nordpolaren Breiten und liegt im oberen Bereich der in den Tropen gefundenen Werte (Abb. 1). Dies weist auf eine hochkomplexe Struktur der benthischen Lebensgemeinschaften des antarktischen Ozeans hin.

Die Gründe für diesen deutlichen Unterschied zwischen den benthischen Gemeinschaften des Nord- und Südpolarmeeres

liegen wahrscheinlich in der besonderen Geschichte des antarktischen Ozeans. Während der letzten 60 Mio. Jahre hat sich die Antarktis langsam und unter großen Schwankungen der Temperatur von einem Warmwassersystem (15°C) zum heutigen Kaltwassersystem (-1,8 bis 2°C) entwickelt, wobei bereits vor 36 Mio. Jahren zum ersten Mal Schelfeis gebildet wurde. Zudem wurden das Südpolarmeer und seine benthische Fauna vor etwa 23 Mio. Jahren durch die Bildung der Zirkumpolarströmung vom Weltozean isoliert. Dies führte zu der mehr oder weniger eigenständigen Evolution einer Fauna, die hervorragend an ein Kaltwassersystem mit periodisch auftretenden Vereisungsphasen angepaßt ist. Bei vielen Arten finden sich Hinweise auf derartige Anpassungen, z.B. extrem niedrige Stoffwechselraten, Kaltstenothermie, d.h. Toleranz für einen sehr schmalen Bereich niedriger Temperaturen, und Eury bathie, d.h. das Vorkommen über einen großen Tiefenbereich hinweg. Die letzte Eigenschaft ist ein Indiz dafür, daß diese Tiere bei Vereisung des Schelfs in tieferen Regionen überleben konnten.

Daher scheint die letzte Eiszeit, deren Auswirkungen in der Antarktis ähnlich stark waren wie in der Arktis, die antarktische Bodenfauna insgesamt weit weniger beeinflußt zu haben. Paläontologische Befunde und die heutigen Unterschiede in der Diversität weisen aber darauf hin, daß auch in der Antarktis einzelne Tiergruppen, wie z.B. dekapode Krebse, stark beeinträchtigt wurden.

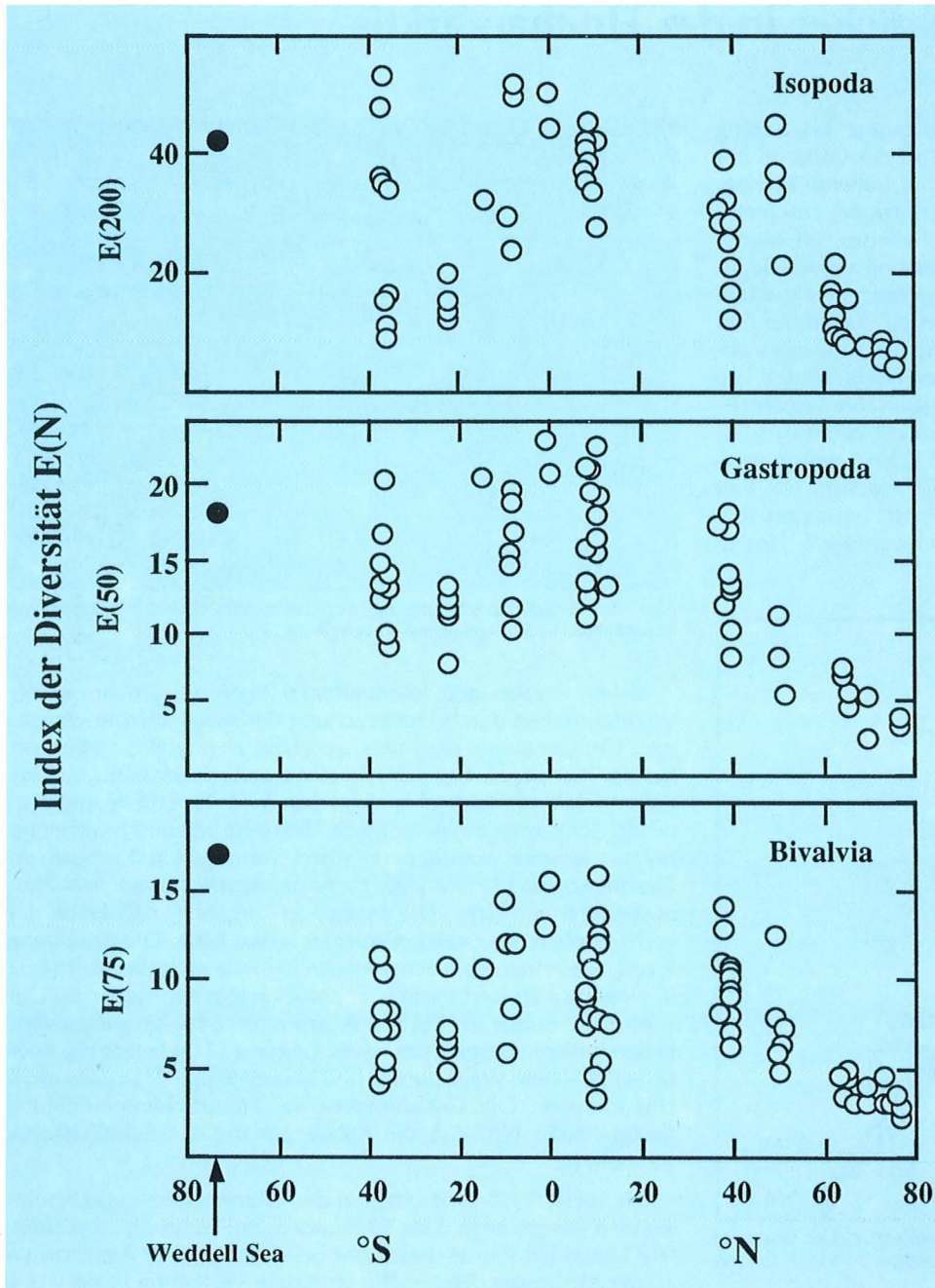


Abb. 1: Die Diversität von Isopoden, Gastropoden und Bivalven des Kontinentalhangs und der Tiefsee im atlantischen Sektor des Weltozeans.  $E(N)$  ist die Anzahl von Arten, die in einer Zufallsprobe von  $N$  Individuen erwartet werden kann. Die Angaben basieren auf Proben, die mit einem Agassiz-Netz (Weddellmeer) bzw. mit einem Epibenthos-Schlitten (andere Gebiete) gewonnen wurden.

## Weddellrobbe - Tieftaucher in der Hochantarktis

Die Robbenbiologen führten von Mitte Januar bis Anfang März 1992 Feldarbeiten im Drescher-Inlet an der Ostküste des Weddellmeeres durch und setzten damit ihre früheren Kampagnen fort. Als Unterkunft diente ihnen ein zeitweilig errichtetes Iglu-Camp am Rande des Riiser-Larsen-Schelfeises. Im Mittelpunkt der Untersuchungen stand die Anpassung der Weddellrobbe an die Lebensbedingungen in den hochantarktischen Schelfgebieten. Weddellrobbe tauchen bis zu 700 m tief und ernähren sich überwiegend von Fischen. Die Bestände am Meeresboden stellen nach Untersuchungen der Fischbiologen am AWI mit über 40 Arten ein ständig verfügbares Nahrungspotential dar: An Bodenfischen fressen die Robben vor allem den Eisfisch *Chionodraaco myersi* und den „Barsch“ *Trematomus eulepidotus*. Dagegen ist im Pelagial nur eine Fischart für ihre Ernährung von Bedeutung, der heringsähnliche, besonders fettreiche und vermutlich wanderfreudige Schwarmfisch *Pleuragramma antarcticum*.

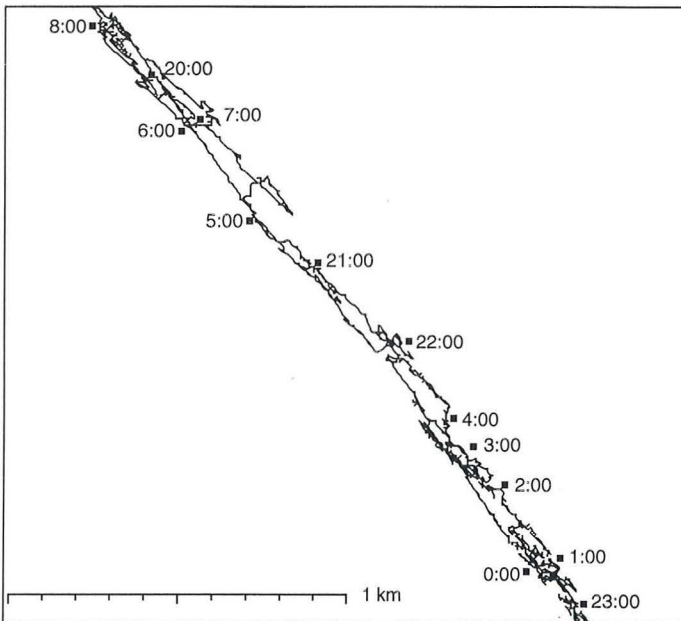


Abb. 1: Horizontale Schwimmstrecke einer Weddellrobbe. Die Grafik ist nach Norden ausgerichtet, die dargestellte Fläche entspricht 4 km<sup>2</sup>. Beginn der Messung 20:00 Uhr, Ende 8:00 Uhr.

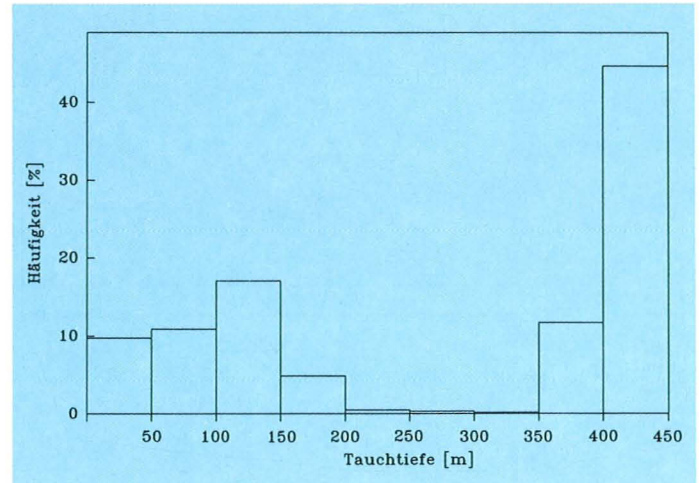


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der von sechs Weddellrobben erreichten Tauchtiefen, 615 ausgewertete Tauchgänge.

Bisher wurden alle Informationen über die Ernährung der Weddellrobbe durch Untersuchung der Mageninhalte gewonnen. Um Genaueres über den Beutefang zu erfahren, haben wir bei der Kampagne 1992 das Tauchverhalten von sechs adulten Robben mit elektronischen Sensoren und Tauchtiefenmessern erfaßt. Schwimmgeschwindigkeit, Wasserdruck und Magentemperatur konnten simultan registriert werden. Ein Kompaß im Tauchrekorder brachte zusätzliche Information über den Aktionsbereich der Tiere. Die Messungen ergaben, daß keine der sechs Robben das Drescher-Inlet verlassen hatte. Die Abbildung 1 zeigt die horizontale Schwimmstrecke, die eine Weddellrobbe in dem etwa 20 km langen Inlet zurückgelegt hat: Gegen 20 Uhr verließ die Robbe das Eis und schwamm etwa 2 km südostwärts in den hinteren Bereich des Inlets. Gegen 23 Uhr kehrte die Robbe auf gleichem Wege zurück und beendete ihre Aktivphase um 8 Uhr morgens. Die Geradlinigkeit der Hauptschwimmrichtung deutet darauf hin, daß die Robbe entlang der Schelfeiskante getaucht ist.

Die sechs Robben tauchten in den Dämmerungs- und Nachtstunden jeweils etwa 8 bis 13 Stunden, um Nahrung zu suchen. Nur knapp ein Viertel dieser Zeit benötigten sie für Atempausen an der Meeresoberfläche. Die bimodale Verteilung in der Häu-

figkeit der Tauchtiefen (Abb. 2) zeigt, daß sie bevorzugt zwei Tiefenbereiche aufsuchten. Rein pelagische Tauchgänge führten bis in 200 m (Abb. 4), andere dagegen zum Meeresboden in etwa 400 bis 450 m Wassertiefe (Abb. 5). Die hier gezeigten Aktivitätsmuster mit der regelmäßigen Tauchabfolge sind typisch. Die mittlere Tauchdauer betrug 20 Minuten. Tauchzeiten von über einer halben Stunde waren selten, der längste Tauchgang dauerte 52 min und führte in 150 m Tiefe.

Auffällig ist die ziemlich konstante Einhaltung der Tauchtiefen im Pelagial (Abb. 4). Vermutlich orientierten sich die Robben an den Wänden der Schelfeiskante, die im Untersuchungsgebiet schätzungsweise 150 bis 200 m tief unter die Wasseroberfläche

reichen. Diesem Typ konnten 44 % von 615 registrierten Tauchgängen zugeordnet werden, die übrigen führten fast ausnahmslos bis zum Meeresboden. Das feine Zackenmuster, das der Datenlogger für eine kurze Phase nach Erreichen der jeweiligen Tiefenzone registrierte, läßt auf intensive Nahrungssuche schließen. Solche Phasen dauerten durchschnittlich 9 min und die Robben legten dabei sowohl im Pelagial (an den Eiswänden) als auch am Meeresboden Höhendifferenzen bis zu 70 m zurück. Vermutlich suchen die Robben in diesen Bereichen so ausdauernd, weil sie hier beim Beutefang erfolgreich sind.

Ein Temperatursensor als kleine Schluckkapsel im Magen der sechs Robben diente der Registrierung des Beutefangs: Bei einer



Abb. 3: Zwischen den Tauchgängen bleiben die Robben nur wenige Minuten an den Atemlöchern im Eis.

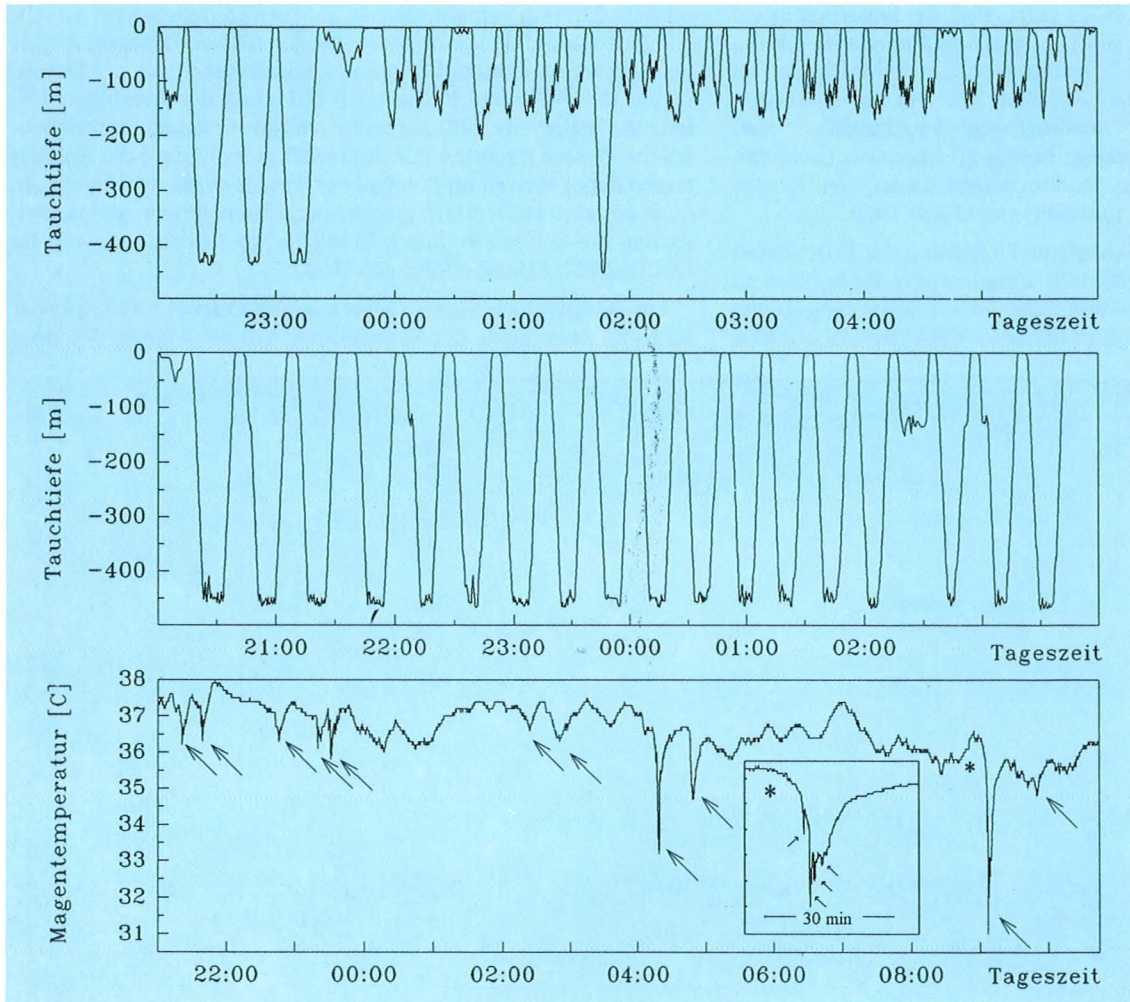


Abb. 4 (oben): Tauchaktivität einer Weddellrobbe vorwiegend im Pelagial

Abb. 5 (Mitte): Tauchgänge einer Weddellrobbe zum Meeresboden

Abb. 6 (unten): Temperaturverlauf im Magen einer Weddellrobbe: elfmal Nahrungsaufnahme (lange Pfeile). Ein Ausschnitt (\*) zeigt vier „Freßereignisse“ (kurze Pfeile) bei höherer Auflösung.

Magentemperatur von 37°C führt das Fressen von minus 1°C kalten Beutetieren zu einer meßbaren Abkühlung. Die Abbildung 6 zeigt den Temperaturverlauf im Magen einer Robbe während einer Aktivphase von 13 Stunden. Am spontanen Temperaturabfall kann man, neben aktivitätsbedingten Schwankungen, elfmal eine Nahrungsaufnahme identifizieren. Der ver-

größte Ausschnitt eines solchen Ereignisses zeigt, daß es sich hier um mindestens vier Beutetiere handelte, die im Abstand von jeweils etwa 5 min gefressen wurden. Der Temperaturabfall von 4,4°C war erst nach 30 min wieder ausgeglichen.

Das Integral der Fläche zwischen Ausgangs- und Endtemperatur ist nach Formeln von R. P. Wilson (pers. Mitteilung) proportional zur aufgenommenen Nahrungsmenge. Die Überprüfung von 198 Stunden Aktivphase ergab für die sechs Robben zusammen 103 „Freßereignisse“, mit einem deutlichen Maximum gegen 5.00 Uhr morgens. Eine genaue Bestimmung der Tiefen, in denen Beutetiere gefangen wurden, war wegen der schnellen Abfolge von Tauchgängen oft nicht möglich. Die Auswertungen ergaben, daß die Robben praktisch in allen Bereichen Nahrung aufgenommen haben, mit einer

Bevorzugung der Tiefen bis zu 200 Metern. Als mittlere Nahrungsmenge wurden 3,0 kg pro Robbe und Tag berechnet. Da mit zunehmender Füllung des Magens die Aufnahme einzelner kleiner Beutetiere vom Temperatursensor vermutlich nicht mehr registriert wurde, bleibt die Kalkulation der Nahrungsmenge noch unsicher.

## Die weltweit verbreitete Planktonalge *Phaeocystis*: Untersuchungen zu physiologischen und molekularen Unterschieden

*Phaeocystis* ist eine weltweit verbreitete, oftmals wuchernde Alge, die deshalb vielfach als Plage angesehen wird – ihre Wichtigkeit in ökologischer Hinsicht als Mitglied der Phytoplankton-

gemeinschaften ist aber unbestritten. Im Anschluß an ihre Blüte gelangen durch Zersetzung organische Verbindungen ins Wasser. Diese werden durch das Brechen der Wellen im Uferbereich



Abb. 1: Schaumberge von *Phaeocystis* an einem Strand der Deutschen Bucht.

schaumig geschlagen, so daß sich gewaltige Schaummengen bilden können (Abb. 1).

*Phaeocystis* setzt beträchtliche Mengen Dimethylsulfid (DMS) frei, die höchstwahrscheinlich eine wichtige Rolle im globalen Schwefelkreislauf spielen. Untersuchungen, die wir auf FS „Polarstern“ durchgeführt haben, zeigten, daß die DMS-Emissionen deutlich mit Licht-, Temperatur- und Salzgehaltsänderungen in Zusammenhang stehen und als Antwort auf physiologischen Streß zu werten sind. Derartiger Streß wird durch den raschen Wechsel der Umweltbedingungen induziert, wenn diese sich deutlich von den Wachstumsbedingungen unterscheiden. Je extremer diese Änderungen, desto mehr DMS-Freisetzung. Besonders in Eisrandgebieten mit dichten Phytoplanktonblüten kommt es wegen der Eisbewegung oft zu abrupten Änderungen

im Lichtklima. Kurzfristige Temperaturänderungen sind hingegen nicht zu verzeichnen. Das Phytoplankton akklimatisiert sich vielmehr streßfrei an die langsamen Temperaturerhöhungen und -erniedrigungen im Frühjahr bzw. Herbst, so daß hier die Temperatur als mögliche Ursache für eine DMS-Freisetzung ausscheidet. Starke Änderungen im Salzgehalt infolge von Schmelzprozessen können jedoch auch Stress hervorrufen. Die Atmosphärenchemiker auf der Neumayer Station in der Antarktis registrieren im Frühjahr einen deutlichen Anstieg der Schwefelgase. Offensichtlich sind die Phytoplankter in Eisrandzonen größerem Stress ausgesetzt. Dies sind somit Zonen erhöhter DMS-Freisetzung.

Eine andere wichtige Rolle kommt *Phaeocystis* als Produzent von UV-B Schutzsubstanzen zu. Vorläufige Untersuchungen las-

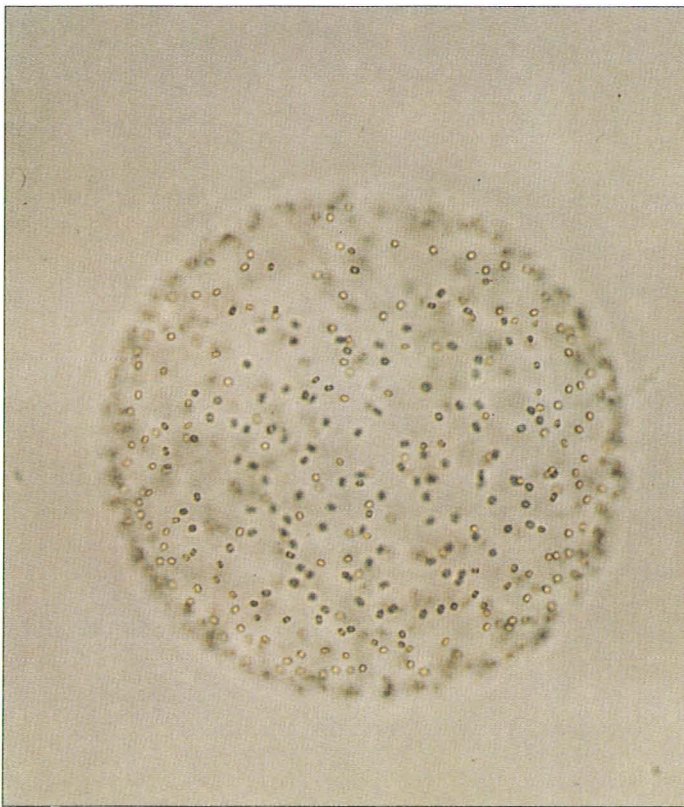
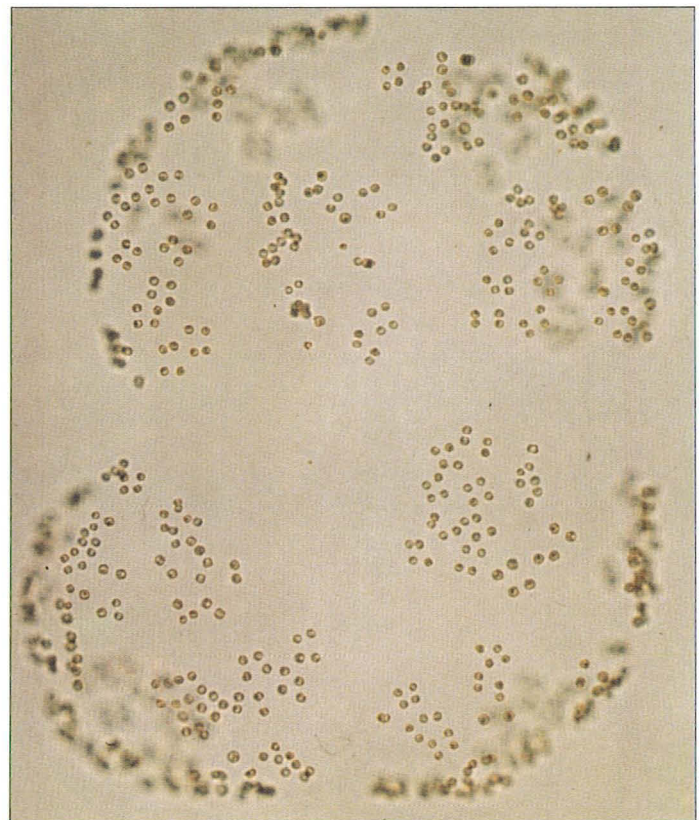


Abb. 2:  
a) Kugelförmige *Phaeocystis globosa* Kolonien, typisch für temperierte und antarktische Stämme



b) Unregelmäßige Kolonien von *Phaeocystis pouchetii*, typisch für arktische Stämme



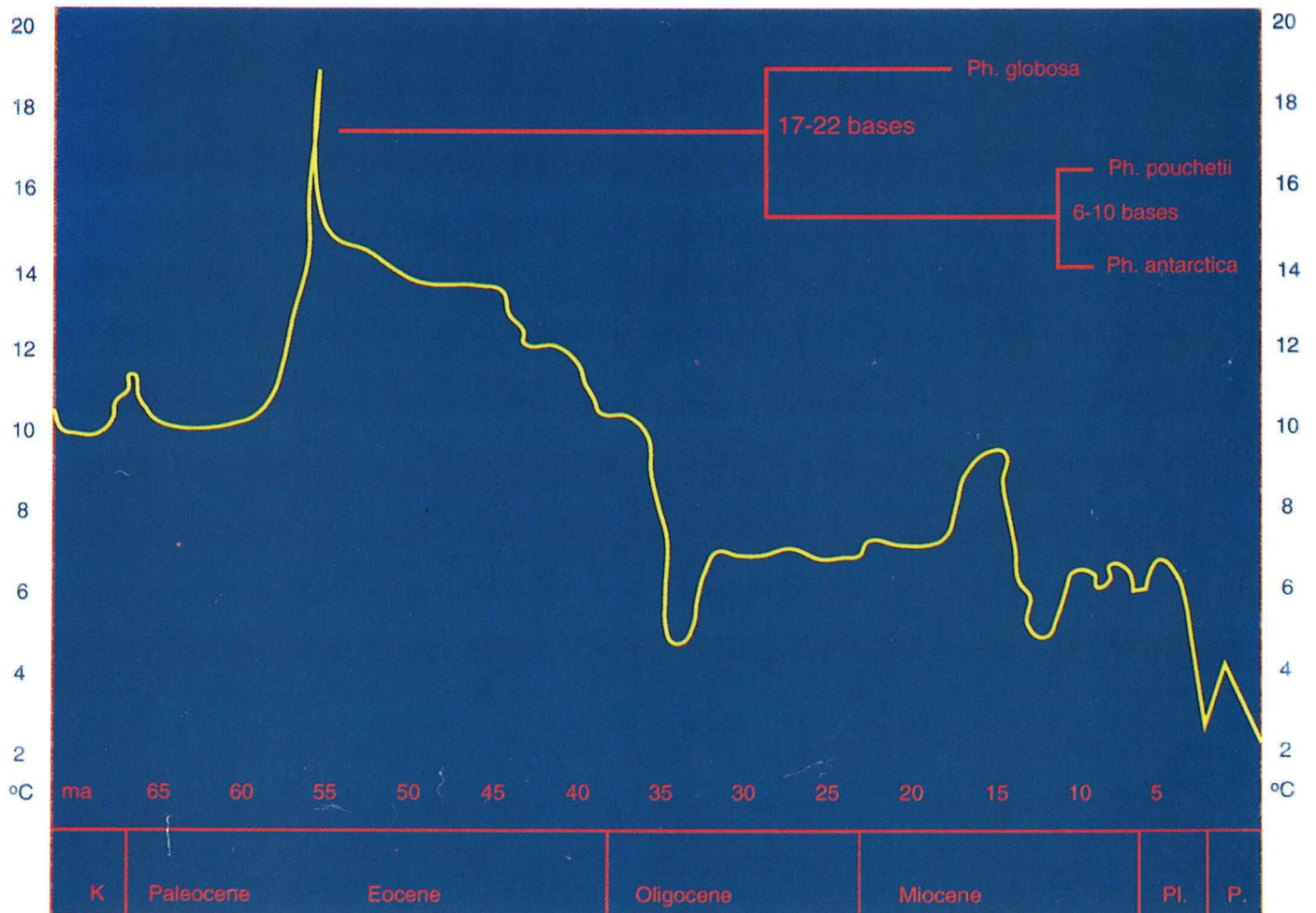


Abb. 3: Rekonstruktion der Oberflächentemperaturen in der Antarktis während des Känozoikums. Man beachte drei signifikante Ereignisse: das Temperaturmaximum vor 55 Mio. Jahren, die schnellen Abkühlphasen vor 35 und 12 Mio. Jahren. Der phylogenetische Stammbaum, der die verwandtschaftlichen Beziehungen zwischen den drei *Phaeocystis*-Arten darstellt, ist auf die Zeitskala projiziert, um die genetischen Distanzen zwischen den Gruppen zu verdeutlichen. Die Abtrennung von *Phaeocystis globosa* von den beiden polaren Arten erfolgte nach der ersten, die Trennung der beiden polaren Arten nach der zweiten Abkühlphase.

sen vermuten, daß UV-B Strahlung bei antarktischen *Phaeocystis*-Stämmen die Bildung von Substanzen induziert, die bei einer Wellenlänge von 330 nm absorbieren. Möglicherweise handelt es sich u.a. hierbei um mycosporinähnliche Aminosäuren, die bereits in verschiedenen Organismen, die verstärkter UV-B Strahlung ausgesetzt waren, nachgewiesen worden sind. Weitere Anzeichen sprechen dafür, daß nach dem Freisetzen

dieser Substanzen in das umgebende Wasser auch andere Organismen gegen die kurzwellige UV-Strahlung geschützt sind.

In der Nordsee haben wir die Bedeutung von *Phaeocystis* als Aggregatbildner untersucht. Die Bildung von Aggregaten ist weitgehend von der Turbulenz der Durchmischung abhängig. Je höher die Turbulenzraten, desto niedriger die Anheftung von *Phaeocystis*-Kolonien an bereits bestehende Aggregate. Aber

auch bei niedrigen Turbulenzraten verbinden *Phaeocystis*-Kolonien sich nur lose mit Diatomeen-Aggregaten. Ihr Aggregationspotential muß im Vergleich mit Diatomeen als eher gering angesehen werden. Es ist auch keine steigende Tendenz bei alternden Kolonien zu beobachten. Die unterschiedliche Fähigkeit Aggregate zu bilden, unterstreicht die Bedeutung von *Phaeocystis* als Schaumbildner. Während Diatomeen in fest gepackten Aggregaten zu Boden sinken und ins Sediment eingeschlossen werden, lösen sich die nur leicht anhaftenden *Phaeocystis*-Kolonien besonders unter dem Einfluß von tidenbedingten Strömungsscherungen in Bodennähe ab. Somit wird verständlich, warum Schaumbildung in Ufernähe eher infolge von *Phaeocystis*-Wucherungen als nach Diatomeenwucherungen zu beobachten ist.

Im antarktischen Ozean kann *Phaeocystis* im Frühling am Meereisrand, im Sommer im eisfreien Wasser und in begrenzten Gebieten selbst im Meereis beträchtlich wachsen. Die Verteilungsmuster dieser Blüten in Zusammenhang mit den Temperatur- und Salinitätsprofilen weisen darauf hin, daß die Populationen in der Wassersäule im Frühling und im Sommer von schmelzendem Meereis oder von alten Sommereisfeldern herrühren. So beeinflußt die Zufuhr von Zellen aus dem Meereis die Verteilungsmuster im Wasser und das mögliche Entstehen von Blüten. Im Herbst wird *Phaeocystis* in großen Mengen in neu entstehendes Meereis eingeschlossen. Bisher kann *Phaeocystis* nicht als ein eindeutiger Indikator für schmelzwasserbeeinflusste Wassermassen benutzt werden. Wir wissen noch nicht, ob antarktische Populationen eine obligate oder fakultative Meereisphase während ihres Lebenszyklus haben oder ob außerdem Populationen existieren, die nur in der Wassersäule wachsen.

*Phaeocystis* ist leicht als Kolonie zu erkennen. Bei einigen Arten können diese Kolonien bis zu 2 cm groß werden. Die Zellen sind in eine gelatinöse Matrix eingebettet (Abb. 2). Sphärische Kolonien, die als charakteristisch für *Phaeocystis* aus temperierten Gewässern angesehen werden (Abb. 2 a), wurden als juvenile Stadien von *Phaeocystis* aus arktischen Gewässern angesehen, welche unregelmäßige Kolonien bildet (Abb. 2 b). Es bereitet nicht nur Ökologen, sondern auch Taxonomen Probleme, von der Kolonieform auf die Art zu schließen – zum einen wegen des Fehlens artspezifischer Charakteristika, zum andern, weil die Kolonieform stark von den jeweiligen Umweltbedingungen abhängt. *Phaeocystis* aus der Antarktis scheint eine Zwischenform zu sein, die in morphologischer Hinsicht der temperierten ähnelt, physiologisch gesehen aber der arktischen *Phaeocystis pouchetii* vergleichbar ist. Neuere detaillierte Studien zu Licht- und Temperaturtoleranzen, der Produktion von UV-B

Schutzsubstanzen, Pigmenten, DNA-Gehalt und Ultrastruktur der Einzelzellen und Koloniemorphologie an Stämmen aus der ganzen Welt deuten auf einen Komplex aus vielen Arten hin.

Techniken aus der Molekulargenetik wurden erstmals herangezogen, um diese taxonomischen Probleme zu lösen. Den Sequenzdaten der kernkodierten kleinen 18s Untereinheit der rRNA zufolge müssen die *Phaeocystis*-Isolate in drei Gruppen (Abb. 3) unterteilt werden. Zwei davon entsprechen polaren Stämmen, *P. pouchetii* aus der Arktis und *P. antarctica* aus der Antarktis. Die temperierten und tropischen Stämme stellen einen großen Komplex dar, der *Phaeocystis globosa* zugezählt werden muß. Unsere genetischen Analysen lassen vermuten, daß sich die Kaltwasserarten aus den Warmwasserarten entwickelt haben. Bei Zugrundelegung einer Zeitdivergenz von 25 Mio. Jahren, die bei höheren Pflanzen der Mutationsrate von 1% hinsichtlich der Veränderung eines einzigen Basenpaares entspricht, nehmen wir an, daß die heute vorkommenden *Phaeocystis*-Arten einen Vorfahren hatten, der vor 50–55 Mio Jahren während des Temperaturmaximums in allen Ozeanen verbreitet war. Seither hat die Abkühlung zu breitenabhängigen Temperaturunterschieden geführt und die Artenvielfalt in der Pflanzen- und Tierwelt gefördert. Zwei Abkühlungsphasen, vor 38–40 Mio. Jahren und vor 12–14 Mio. Jahren, stehen in Zusammenhang mit der Artdifferenzierung: die erstere mit der Abtrennung der *Phaeocystis*-Kaltwasserformen (17–22 Basenunterschiede) und die zweite mit der Differenzierung der beiden polaren Arten von ihrem letzten gemeinsamen Vorfahren (6–12 Basenunterschiede) (Abb. 3). Die Öffnung des arktischen Beckens über eine tiefe Verbindung zum Atlantik vor 10–12 Mio. Jahren sowie die Öffnung der Drake-Passage vor 30 Mio. Jahren, die den Zirkumpolarstrom zur Folge hatte, sind als maßgebliche tektonische Ereignisse während des Känozoikums anzusehen, welche die Form der beiden polaren Ozeane bestimmten.

## Die Entwicklung von Algen- und Bakteriengemeinschaften im Meereis

Das antarktische Meereis besteht hauptsächlich aus einjährigem Packeis, dessen Lebensgemeinschaften sich alljährlich neu aus dem offenen Wasser formieren müssen. Augenscheinlich gelingt den einzelligen Mikroalgen und Bakterien die Rekrutierung innerhalb dieser Frist gleich gut. Begünstigt durch konstante Lichtbedingungen und hohe Nährstoffverfügbarkeit erreichen beide Organismengruppen im älteren Eis Konzentrationen, die jene im freien Wasser um mehr als eine Größenordnung übertreffen. Eis-Bakterien sind im Mittel zudem deutlich größer als planktische Formen und bilden oftmals lange Zellketten (Abb. 1), was ebenfalls auf eine gute Ernährungslage hinweist.

Mikroalgen werden bereits während der Neueisbildung im Herbst in der jungen Eisschicht angereichert. Bei diesem physikalischen „Abernten“ der oberen Wasserschichten haften die Zellen an Eiskristallen fest, die in der Wassersäule aufsteigen, und konzentrieren sich in einer ersten Schicht aus „Breieis“. Die poröse Neueislage an der Oberfläche, die ständig durchspült wird, filtert zusätzlich Algenzellen aus dem Wasser heraus. Für den Eiseinschluß von Bakterien wurden ähnliche Mechanismen angenommen. Am AWI durchgeführte Laborversuche mit künstlich hergestelltem Meereis und Untersuchungen in der Antarktis haben jedoch gezeigt, daß solche physikalischen Mechanismen für Bakterienzellen nicht effektiv sind. Eine Anreicherung von Bakterien im Neueis wurde nur dann beobachtet, wenn die Algen während der Eisbildung in hohen Dichten auftraten. Die Bakterien besiedeln das Eis scheinbar daher über einen „Huckepack-Transport“ mittels Algen. An Algenoberflächen angeheftete (Abb. 2) sowie mit Algenaggregaten assoziierte Bakterien werden häufig im Meereis beobachtet.

Während des weiteren Eiswachstums halten die Algen ihre Photosynthese aufrecht und passen sich kontinuierlich an die neue Umgebung an. Zur Schattenadaptation erhöhen sie den Anteil des Chlorophylls in den Zellen. Dadurch nutzen sie das durch den Schnee verringerte Lichtangebot im Eis besser aus. Die Artenzusammensetzung verändert sich derart, daß in älterem Eis kleinere Formen dominieren und größere Arten zunehmend zerstört werden. Dieses ist vermutlich eine Folge des knapper werdenden Raumes im Eis. Die Durchmesser der Solekanälchen sind oftmals kleiner als ein Zehntelmillimeter

und reichen somit bis in den Bereich der Zellgröße einzelner Mikroalgen hinab.

Bakterielle Aufnahmeraten der Aminosäure Leucin zeigen, daß sich die physiologische Reaktion von Bakterien während der Eisentwicklung deutlich von derjenigen der Algen unterscheidet. Die spezifische Aktivität der Bakterien ist im jungen, wenige Tage alten „Pfannkucheneis“ zunächst stark herabgesetzt (Abb. 3). Erst im dickeren, einige Wochen alten Eis erhöht sich die bakterielle Aktivität wieder. Sie bleibt jedoch im Mittel niedriger als im offenen Wasser vor der Eisbildung. Vermutlich entwickeln sich nach physiologischer Hemmung der Freiwasser-Populationen diejenigen Bakterien, die an die besonderen Temperatur-, Salinitäts- und Substratverhältnisse in den Solekanälen im Eis angepaßt sind. Wie die Bakterienpopulationen sich nach dem Eiseinschluß neu aufbauen, läßt sich an folgenden Ergebnissen erkennen: Der Prozentsatz reproduktionsfähiger Zellen steigt

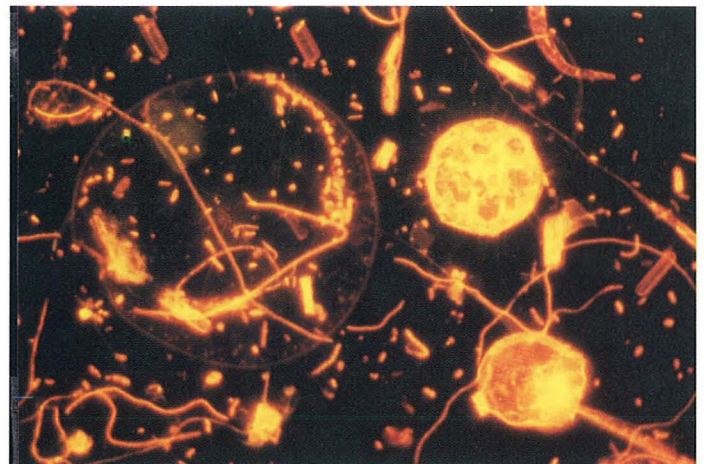


Abb. 1: Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme von Lebensgemeinschaften im Solekanalsystem des Meereises. Zu erkennen sind verschieden große, teilweise leere Silikatschalen von Kieselalgen sowie zahlreiche rundlich-ovale Bakterien, die oftmals lange Zellketten bilden. Der Bildausschnitt hat eine Breite von ca. 0,1 Millimeter.

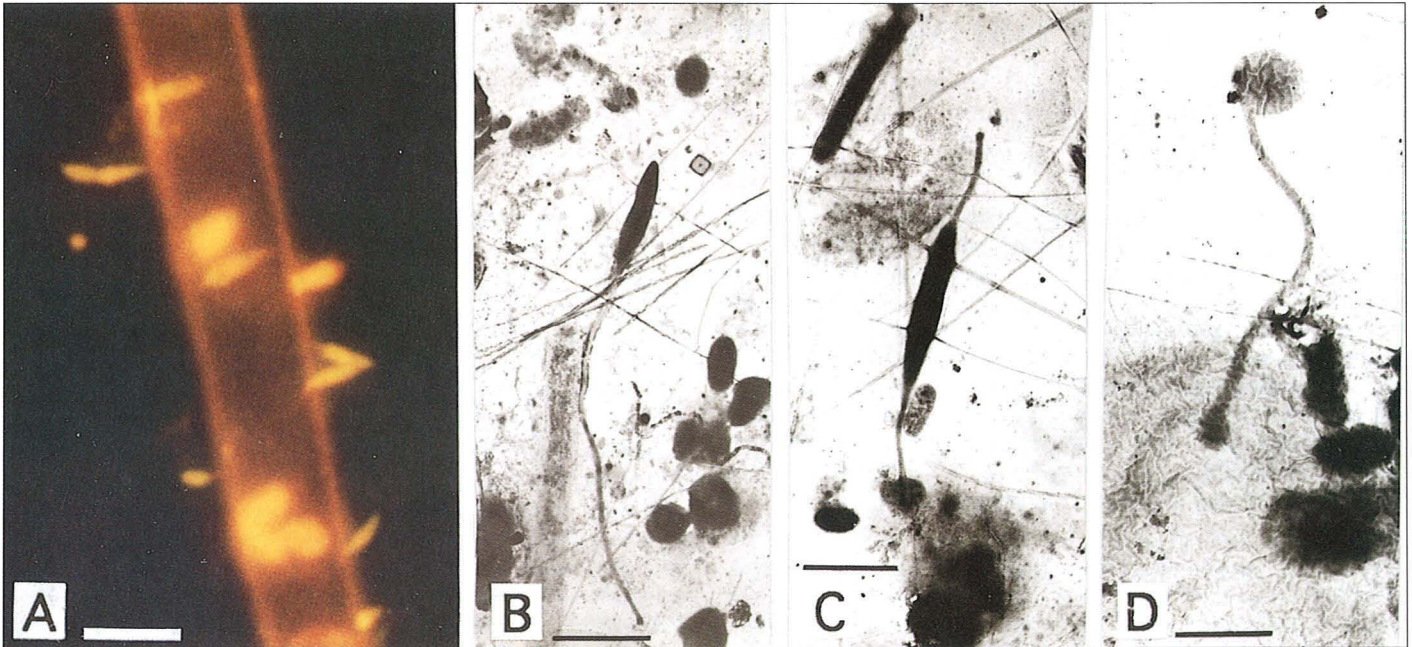


Abb. 2: A) Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme einer Algenzelle aus dem Meereis, die mit vielen, gestielten Bakterienzellen besetzt ist. B-D) Elektronenmikroskopische Aufnahmen von unterschiedlichen Bakterientypen aus dem Meereis, die stielartige Anhänge zum Anheften an Oberflächen ausbilden. Der Balken entspricht bei Abb. A 5  $\mu\text{m}$ , bei Abb. B-D 2  $\mu\text{m}$ .

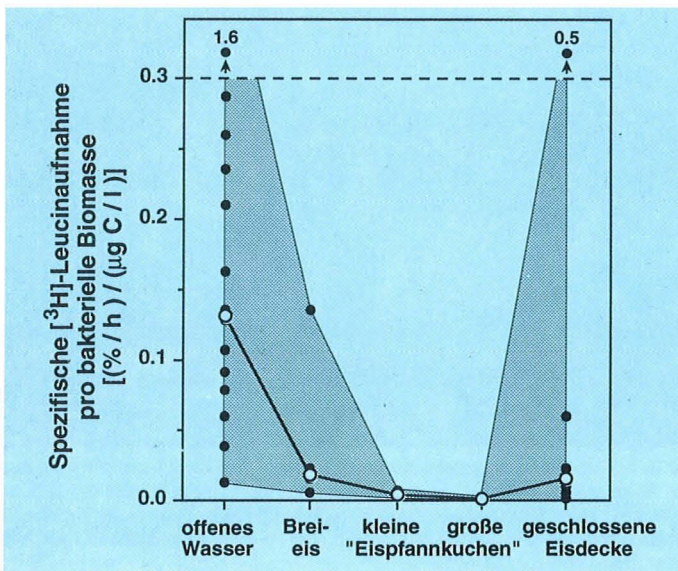


Abb. 3: Spezifische Aufnahmeraten der radioaktiven Aminosäure Leucin als Maß für bakterielle Aktivität in charakteristischen Stadien der Eisentwicklung. Angegeben ist der Prozentsatz der vorhandenen Leucinmenge, der pro Stunde und pro Biomasseeinheit der Bakterien umgesetzt wird. Die offenen Kreise geben jeweils die zentrale Tendenz (Medianwert) der Datenpunkte an. Der Gesamtbereich der gemessenen Werte ist schraffiert.

während der Eissukzession von 0,01% auf über 10% an und der Anteil psychrophiler, kälteangepasster Formen nimmt von unter 1% auf über 90% zu.

Trotz verminderter spezifischer Aktivität akkumulieren mit der Zeit erhebliche Bakterienbiomassen im Eis. Dieses deutet auf geringe Mortalität der Zellen und auf geringen Fraßdruck hin. Möglicherweise sind bakterienfressende ein- und mehrzellige Organismen im Eis auf größere Solekanäle beschränkt und haben keinen Zugang zu den nur wenige Tausendstelmmillimeter kleinen Kanälchen, die Bakterien noch besiedeln können.

Direkte Vergleiche der bakteriellen (Sekundär)Produktion mit der Primärproduktion der Algen in den verschiedenen sukzessiven Eisstadien belegen, daß die Entwicklung beider Organismengruppen in den

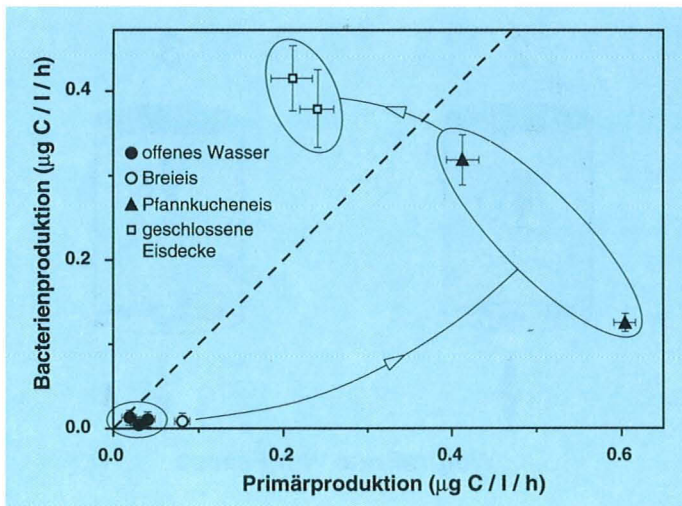


Abb. 4: Vergleich der absoluten bakteriellen Sekundärproduktion mit der jeweiligen Primärproduktion der Mikroalgen in Proben aus verschiedenen Stadien der Eisentwicklung. Die Werte sind in Kohlenstoffeinheiten angegeben, die pro Liter Sole und Stunde produziert werden. Die gestrichelte Linie markiert das 1:1-Verhältnis der beiden Größen. Die Pfeile deuten die hypothetische Entwicklung der Produktionsraten an.

ersten Wochen des Eiswachstums wegen ihrer unterschiedlichen physiologischen Reaktionen nicht parallel verläuft (Abb. 4). Nach Ende des antarktischen Sommers sind beide Produktionsraten im freien Wasser gering. Da im Neueis viel Licht vorhanden ist, steigt die Primärproduktion zunächst an. Sie wird dann aber durch zunehmende Selbstbeschattung der Algen im dicken Eis wieder herabgesetzt. Die Produktion der Bakterien entwickelt sich dagegen während der anfänglichen Umstellung der Populationen nur langsam. In späteren Stadien steht dann den eisadaptierten (lichtunabhängigen) Bakterien u. a. durch absterbende Algen hinreichend organische Substanz zur Verfügung, so daß sie verstärkt wachsen können. Der Bestand der Bakterien ist wegen des reduzierten Fraßdrucks groß, ihre Gesamtproduktion ist hoch und kann diejenige der Algen sogar übertreffen. Diese Ergebnisse deuten auf eine negative Stoffbilanz im einige Wochen alten, herbstlichen Eis hin, die möglicherweise erst mit Beginn der Algenblüten im kommenden Frühjahr wieder ausgeglichen wird.

## Zooplanktonkot in der Arktis: Nahrungsgrundlage im Pelagial oder Transportvehikel bei der Sedimentation?

Etwa ein Drittel der Nahrung, die Zooplankter aufnehmen, scheiden sie in Form von Kotballen und -strängen wieder aus. Die Kotprodukte sind kompakt, haben eine spezifische Form und hohe Sinkgeschwindigkeiten. Sie gelten deshalb als schnell sinkende Transportvehikel für organische Substanz. Tatsächlich bilden Zooplanktonfaeces zu bestimmten Jahreszeiten den Hauptbestandteil der absinkenden, partikulären organischen Substanz. Allerdings sinkt nur ein geringer Prozentsatz des produzierten Kots in die Tiefe. Die von uns in der Arktis und Antarktis durchgeführten Untersuchungen zeigten auch, daß die Menge der Faeces, die sich in den oberen Wasserschichten befindet, wesentlich größer ist, als die Menge, die man mit Sinkstofffallen in größeren Wassertiefen erfaßt hat. Da die Zersetzung der Kotballen durch Mikroorganismen langsam verläuft, und der Inhalt vieler Kotballen noch reich an organischen Substanzen ist, könnte dieses Material als Nahrung für Zooplankton dienen.

Der Verbleib der Kotballen ist früher schon mit calanoiden Copepoden, die die größte Anzahl an Kotballen produzieren, untersucht worden. Die Messungen bestätigten die erste Annahme, daß diese mikroskopisch kleinen Ruderfußkrebse ihren eigenen Kot zum Teil wieder fressen (Koprophagie). In vielen Fällen aber werden die Kotballen durch die Copepoden so stark zerstört (Koprorhexie), daß sie nicht mehr absinken. Das mikrobielle Netzwerk (Bakterien, heterotrophe Einzeller) remineralisiert dann allmählich diese Bruchstücke noch in den oberen Wasserschichten. Koprophagie und Koprorhexie bei calanoiden Copepoden gibt es jedoch nur während jener Jahreszeiten, in denen die Tiere aktiv sind und das Angebot an pflanzlicher Nahrung gering ist. Daher kann man die Diskrepanz zwischen Kotmenge und deren Sedimentation nicht allein durch Koprophagie und Koprorhexie dieser Ruderfußkrebse sowie durch mikrobielle Remineralisation erklären.

*Oithona*, ein sehr kleiner cyclopoider Copepode, ist in den meisten Meeren ganzjährig häufig anzutreffen und pflanzt sich zu allen Jahreszeiten – sogar unter dem winterlichen Packeis des Weddellmeeres – fort. Über die speziellen Eigenschaften, die die weltweite Verbreitung von *Oithona* ermöglichen, ist vielfach

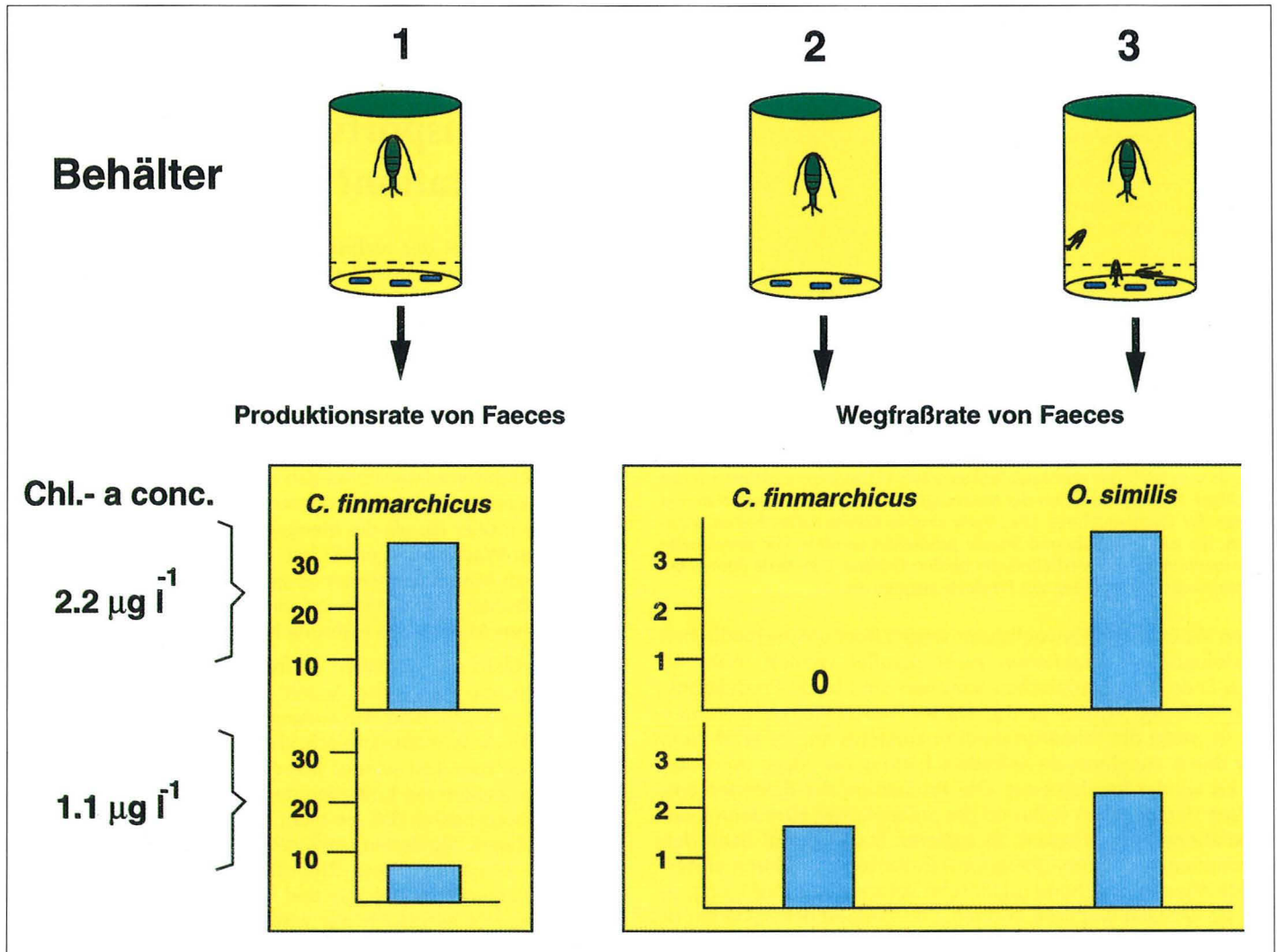


Abb.1: Faeces Produktion von *Calanus finmarchicus* (großer Copepode) und Wegfraßrate dieser Kotballen durch *Calanus finmarchicus* und *Oithona similis* (kleiner Copepode) in  $\mu\text{m}^3 \times 10^6 \text{ Individuen}^{-1} \text{ d}^{-1}$ .

1: Faeces Produktionsrate von *Calanus finmarchicus* bei zwei unterschiedlichen Algenkonzentrationen, dargestellt als Chlorophyll-a Konzentration in  $\mu\text{g l}^{-1}$  (Chl.-a conc.). Die 400  $\mu\text{m}$  Gaze (mit der gestrichelten Linie angedeutet) verhindert, daß der Kot weggefressen wird. Bei höherer Chlorophyll-a Konzentration werden mehr Kotballen produziert.

2: Wegfraßrate der Faeces durch *Calanus finmarchicus*. Bei genügend hoher Algenkonzentration frißt *Calanus finmarchicus* nur Algen und keine Kotballen.

3: Wegfraßrate der Kotballen durch *Oithona similis*, die durch die Gaze schlüpfen kann. Je mehr Faeces produziert werden, um so mehr werden gefressen. Im Gegensatz zu *Calanus finmarchicus* bevorzugt *Oithona similis* nicht die Algen (s. 2).

spekuliert worden; über das Freßverhalten war allerdings bislang nur wenig bekannt, außer daß *Oithona* greifende und nicht filtrierende Mundwerkzeuge hat. Wir vermuten, daß *Oithona* sich auf Koprophagie spezialisiert hat.

Auf einem meridionalen Schnitt östlich von Spitzbergen wurde eine negative Korrelation zwischen dem Vorkommen von *Oithona* und den Faeces calanoider Copepoden und Appendicularien (relativ große Lebewesen aus der Gruppe der Manteltiere) gefunden. In einer Serie von entsprechenden Experimenten mit *Oithona* wurde deren Koprophagie untersucht. In diesen Experimenten zeigte sich, daß *Oithona* etwa 20 – 30 % des täglichen Nahrungsbedarfs durch die Aufnahme von Kotballen deckt und so viel mehr davon frißt als der sehr viel größere calanoide *Calanus finmarchicus* (Abb.1). *Oithona* scheint in allen diesen Experimenten Kotballen als Nahrung viel kleineren Algenzellen vorzuziehen. Offensichtlich kommt *Oithona* beim Wiederverwerten von Kot in der oberen Wassersäule eine wesentlich größere Bedeutung zu als den anderen Copepodengattungen.

Aufgrund dieser Ergebnisse vermuten wir, daß die Gattung *Oithona* (und andere Zooplankter) Teil eines effizienten Nahrungsgefüges in den oberen Wasserschichten des Meeres ist. In den untersuchten Gebieten der Arktis, wo ein reichhaltiges Nahrungsangebot für das Zooplankton nur für eine kurze Zeit in den Sommermonaten zur Verfügung steht, wird organische Substanz – also auch die Faeces der Zooplankter – besonders durch *Oithona* effizient genutzt. Die im Kot gebundenen Substanzen werden in den oberen Wasserschichten unter Mitwirkung von Mikroorganismen wieder verfügbar gemacht. Nur ein sehr geringer Teil des Kots entgeht den Koprophagen und sinkt zum Meeresboden ab. Diese Nutzung des Kotmaterials in den oberen Wasserschichten hat für den Kohlenstoffkreislauf im Meer weitreichende Konsequenzen. Wegen ihrer geringen Größe wird *Oithona* von den Standardnetzen für das Zooplankton kaum erfaßt. Wir sind überzeugt, daß sich unsere Befunde aus arktischen Gewässern auch auf die anderen Meeresgebiete übertragen lassen.

## Stimuliert ein globaler Anstieg des Kohlendioxids die marine Primärproduktion?

Es ist allgemein akzeptiert, daß der Gehalt an Stickstoff- und Phosphorverbindungen oder möglicherweise auch die Verfügbarkeit von Eisen im Meerwasser das Wachstum der Primärproduzenten begrenzen. Anorganischer Kohlenstoff hingegen ist zehnmal mehr im Meerwasser gelöst als vom Phytoplankton im Verlauf einer Algenblüte aufgezehrt werden kann. Ein Anstieg des Kohlenstoffgehaltes sollte also keinen Einfluß auf das Algenwachstum haben.

Aufgrund des schwach alkalischen pH-Wertes von Meerwasser ist der überwiegende Teil des anorganischen Kohlenstoffs als Karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) und vor allem Hydrogenkarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) gebunden (Abb.1). Nur etwa ein Prozent liegt in Form des bei der Photosynthese benötigten Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) vor. Dies ist jedoch kein Grund, sich Gedanken über eine mögliche  $\text{CO}_2$ -Begrenzung zu machen: Einerseits wird das bei der Photosynthese gebundene  $\text{CO}_2$  durch Umwandlung von  $\text{HCO}_3^-$  zu  $\text{CO}_2$  kontinuierlich nachgeliefert. Diese chemische Umwandlung kann zudem auf biologischem Wege durch das Enzym Karboanhydrase noch beschleunigt werden. Andererseits ist bekannt, daß einige Mikroalgen in der Lage sind, das reichlich vorhandene Hydrogenkarbonat direkt aufzunehmen. Demnach ist es sogar unwahrscheinlich, daß sich anorganischer Kohlenstoff in irgendeiner Weise begrenzend auf die marine Primärproduktion auswirken könnte.

Neueste Untersuchungen am AWI ergeben jedoch ein anderes Bild. Modellberechnungen des  $\text{CO}_2$ -Flusses auf zellulärer Ebene zeigen, daß die  $\text{CO}_2$ -Zufuhr durch molekulare Diffusion aus der Umgebung der Zelle sowie durch chemische Umwandlung von  $\text{HCO}_3^-$  zu gering ist, um den Kohlenstoffbedarf einer Algenzelle unter günstigen Wachstumsbedingungen zu decken. Doch nicht nur die physiko-chemische  $\text{CO}_2$ -Zufuhr, auch die biologischen Mechanismen der aktiven Kohlenstoffversorgung reichen, bei genauerem Betrachten, nicht aus, um den Kohlenstofffluß zur Zelle hin signifikant zu erhöhen. Messungen der Aktivität extrazellulärer Karboanhydrase bei mehr als 30 Arten mariner Mikroalgen aus temperierten und polaren Breiten sowie Feldproben natürlicher Phytoplanktonpopulationen ergaben ein

überraschendes Resultat: Die durch das Enzym katalysierte Dehydratationsrate von  $\text{HCO}_3^-$  zu  $\text{CO}_2$  liegt bei den meisten getesteten Algen zwischen 1% und 10% ihrer Gesamtkohlenstoffaufnahme (Abb. 2). Dies ist zu wenig, um die  $\text{CO}_2$ -Begrenzung signifikant zu vermindern. In keinem Fall reichen die gemessenen Aktivitäten aus, um bei vermindertem  $\text{CO}_2$ -Angebot den Kohlenstoffbedarf der photosynthetisch aktiven Zelle zu decken. Eine aktive Aufnahme von Hydrogenkarbonat wurde darüberhinaus für keine der getesteten Phytoplanktonarten nachgewiesen. Die Fähigkeit zur direkten Nutzung von  $\text{HCO}_3^-$  beschränkte sich auf Mikroalgen aus benthischen Habitaten.

Der eigentliche Nachweis von  $\text{CO}_2$ -Begrenzung wurde schließlich in Laborexperimenten erbracht. Ziel dieser Experimente war es, den Effekt unterschiedlicher  $\text{CO}_2$ -Gehalte auf das Zellwachstum planktischer Kieselalgen zu testen, einer Gruppe

von Mikroalgen, die als wichtige Primärproduzenten bekannt sind. Das Ergebnis der Untersuchung: die Zellteilungsrate der Testalgen nahm mit steigendem  $\text{CO}_2$ -Gehalt im Kulturmedium zu.

Der Nachweis eines wachstumsbegrenzenden Effektes von  $\text{CO}_2$  auf marine Primärproduzenten ändert allerdings nichts an der klassischen Vorstellung von Nitrat- oder Phosphatlimitierung. Der Gehalt von Nitrat und Phosphat im Meerwasser bestimmt die maximal mögliche Algenbiomasse, die in einem Wasserkörper erzeugt werden kann. Die Verfügbarkeit von  $\text{CO}_2$  hingegen hat Einfluß darauf, wie schnell sich Biomasse aufbauen kann. Dieser Effekt kommt aber nur dann zum Tragen, wenn die Wachstumsraten nicht durch die Energieversorgung (Licht) begrenzt ist.

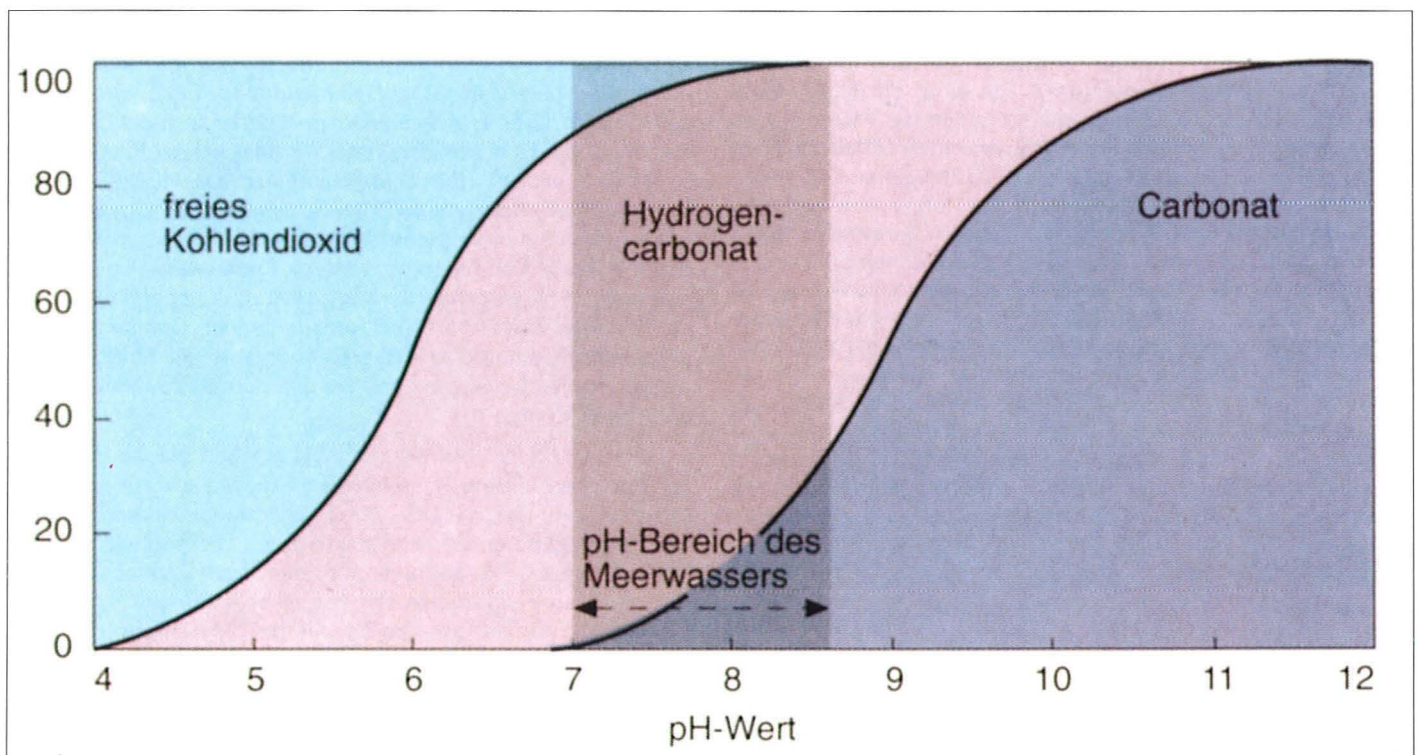


Abb. 1: Prozentuale Anteile der verschiedenen Formen gelösten anorganischen Kohlenstoffs als Funktion des pH-Wertes. Im pH-Bereich von Meerwasser (pH 8-8,2) ist Hydrogenkarbonat die dominante Form, während nur ca. 1% des Gesamtkohlenstoffs in Form von gelöstem  $\text{CO}_2$  vorliegt.



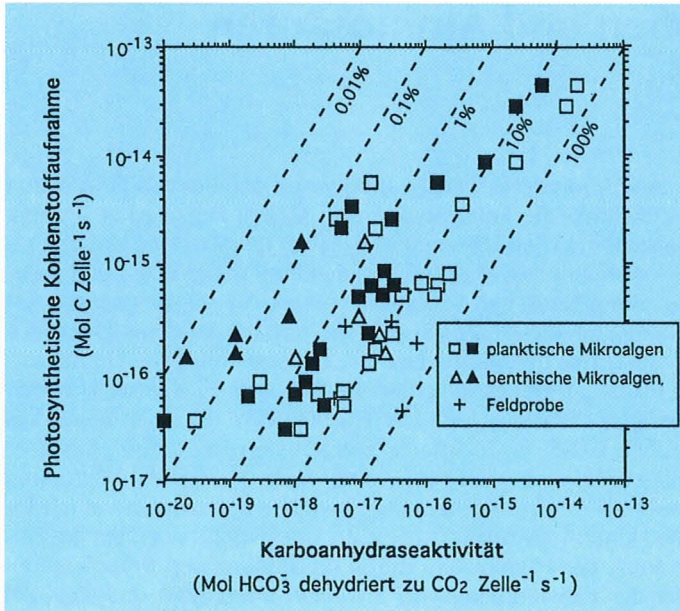


Abb. 2: Vergleich von photosynthetischer Kohlenstoffaufnahme und der durch extrazelluläre Karboanhydrase katalysierten Dehydratation von  $\text{HCO}_3^-$  zu  $\text{CO}_2$  bei verschiedenen Arten planktischer und benthischer Mikroalgen sowie bei Feldproben natürlicher Phytoplanktonpopulationen. Die Raten wurden jeweils bei  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen um  $12 \mu\text{M l}^{-1}$  (offene Symbole) und  $< 1 \mu\text{M l}^{-1}$  (ausgefüllte Symbole) bestimmt. Diagonale Linien kennzeichnen den prozentualen Anteil der  $\text{HCO}_3^-$ -Dehydratation an der photosynthetischen Kohlenstoffaufnahme.

Der beobachtete Zusammenhang zwischen Algenwachstum und  $\text{CO}_2$ -Konzentration im Meerwasser birgt weitreichende Implikationen für die marine Primärproduktion vergangener Epochen. Schwankungen der  $\text{CO}_2$ -Konzentration, die denen im Oberflächenwasser des Meeres während Eis- und Warmzeiten entsprechen, beeinflussten die Wachstumsrate der Algen in Laborexperimenten deutlich. Niedrige, in Eiszeiten vorherrschende  $\text{CO}_2$ -Gehalte führten zu verminderten Zellteilungsraten, höhere, warmzeitliche  $\text{CO}_2$ -Werte stimulierten das Algenwachstum.

Ob aufgrund dieser Ergebnisse die im Titel gestellte Frage positiv zu beantworten ist, läßt sich allerdings noch nicht klar sagen. Die bisher gewonnenen Labordaten deuten darauf hin, daß bei der heute vorliegenden  $\text{CO}_2$ -Konzentration gerade eine Sättigung der  $\text{CO}_2$ -abhängigen Wachstumsrate erreicht ist (Abb. 3). Ein weiterer Anstieg des globalen atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Gehaltes könnte demnach ohne Einfluß auf die Primärproduktionsrate sein. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um diesen Aspekt eindeutig zu klären.

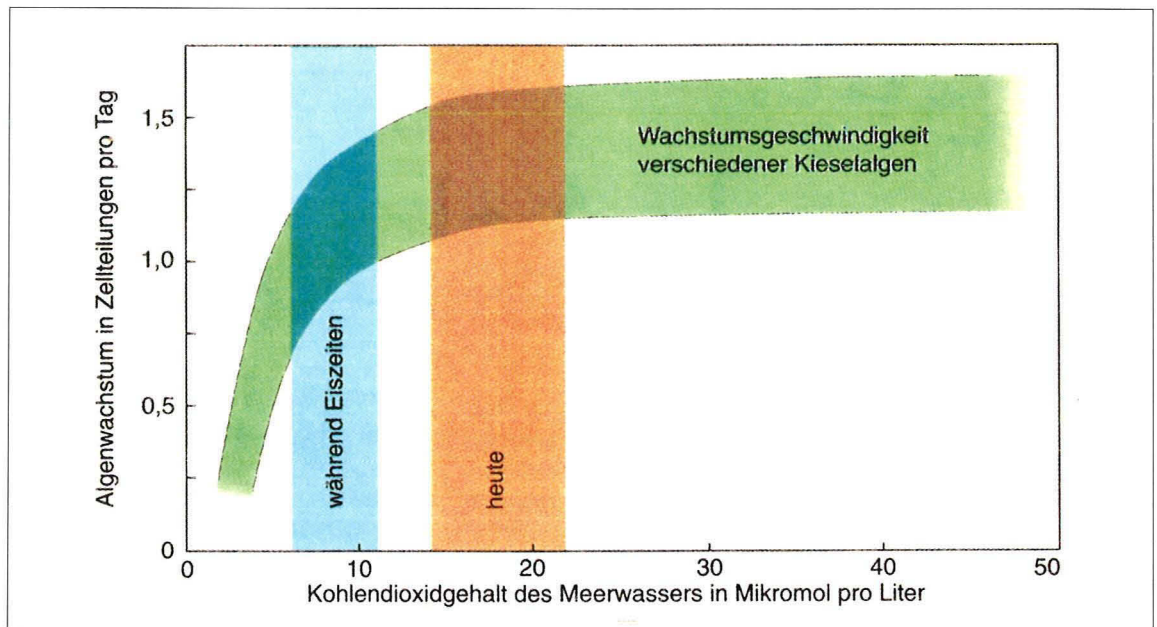


Abb. 3: Algenwachstum in Abhängigkeit vom  $\text{CO}_2$ -Angebot. Während eiszeitliche  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen deutlich das Wachstum begrenzen, fallen gegenwärtige  $\text{CO}_2$ -Gehalte bereits in den Sättigungsbereich der  $\text{CO}_2$ -abhängigen Wachstumskurve.

## Die Beziehung zwischen Huminstoffen und Aminosäuren in polaren Gewässern

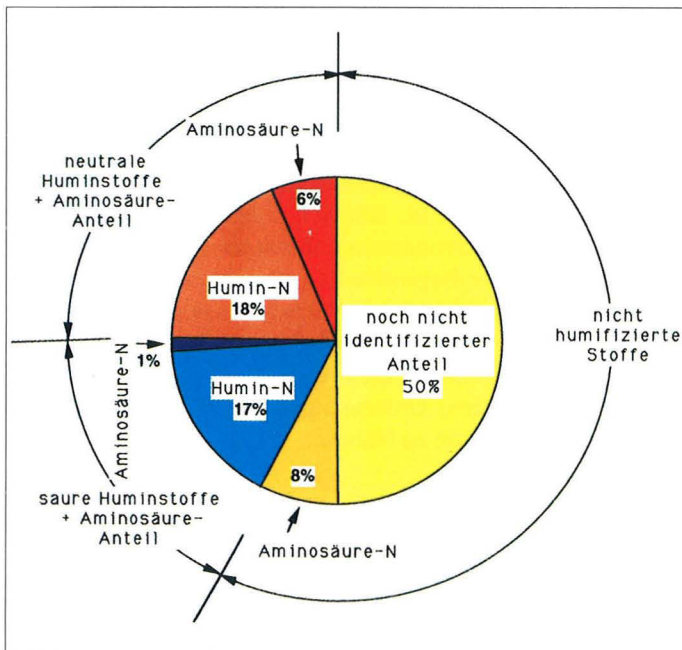


Abb. 1. Zusammensetzung des gelösten organischen Stickstoffs (DON) im arktischen Meerwasser. Ca. 58% des DON sind nicht humifiziert; 8% liegen als Aminosäuren vor, während von den restlichen 50% die chemische Struktur weitgehend unbekannt ist. Die anderen 42% setzen sich aus zwei Huminstofffraktionen zusammen; diese Fraktionen enthalten 7% des DON in-Form von Aminosäuren.

Über die Zusammensetzung und die Rolle der gelösten organischen Substanzen im Meer ist noch relativ wenig bekannt. Ein Teil dieser Substanzen liegt in Form von schwer abbaubaren, sogenannten inerten Verbindungen vor. Die Umwandlung biologischen Materials in Substanzen, die gegenüber biologischen Abbaumechanismen resistent sind, ist für die globalen Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufe von besonderer Bedeutung, weil sie den aktiven Kreisläufen langfristig große Mengen an Kohlenstoff entziehen kann. Die Bildung inerte Verbindungen wirkt somit als Senke für das atmosphärische Kohlendioxid.

Als Huminstoffe werden die inerten organischen Substanzen bezeichnet, die Endprodukte des Abbaus organischer Materie darstellen. In den Ozeanen ist das Phytoplankton die Hauptquelle für organisches Material, das den Pool der gelösten und partikulären organischen Substanzen bildet. Aus verschiedenen Verbindungen dieses Pools entsteht durch vielfältige Umwandlungsschritte der marine Humus. Zur Entstehung der Huminstoffe im Ozean gibt es verschiedene Theorien. Eine dieser Theorien besagt, daß Huminstoffe aus Triglyceriden, die einen besonders großen Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren enthalten, aufgebaut werden. Dabei wird der Einbau von Stickstoffgruppen mehr als „Zufallserscheinung“ betrachtet, der unwesentlich für die Huminstoffstruktur ist. Eine andere Hypothese erklärt die Entstehung der Huminstoffe durch die Bildung von Biopolymeren bei der Umwandlung von Eiweißen (Proteinen) und Zuckern während der bakteriellen Zersetzung von Aggregaten und absterbenden Phytoplanktonzellen. Diese Theorie beinhaltet die direkte Beteiligung von Aminosäuren an der Huminstoffbildung und würde damit die signifikanten Mengen an Aminosäuren erklären, die wir in den Huminstoffextrakten aus Meerwasser gefunden haben.

Aminosäuren, die als Bausteine von Eiweißen in allen Organismen vorkommen, findet man gelöst überall im Meerwasser. Sie gehören in freier Form zu den organischen Verbindungen, die als leicht abbaubar gelten. Der Teil der Aminosäuren jedoch, der mit den Huminstoffen in einer noch nicht bekannten Form assoziiert ist, muß den inerten Substanzen zugerechnet werden. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, daß ein erheblicher Teil des organischen Stickstoffs der Huminstoffe in Form dieser Aminosäuren vorliegt.

Die Veränderungen von gelösten und partikulären Substanzen im marinen Kreislauf und deren Mechanismen sowie die Bioverfügbarkeit unterschiedlicher Fraktionen der organischen Substanzen haben wir in der Arktis („Polarstern“-Expedition ARK VIII/1) und der Antarktis (ANT XI/1b) untersucht. In filtriertem Meerwasser und in Huminstoffen, getrennt in eine saure und eine neutrale Fraktion, wurden der gelöste organische Stickstoff und die Aminosäuren bestimmt. Die durchschnittlichen Konzentrationen von gelöstem organischen Stickstoff (DON) waren in

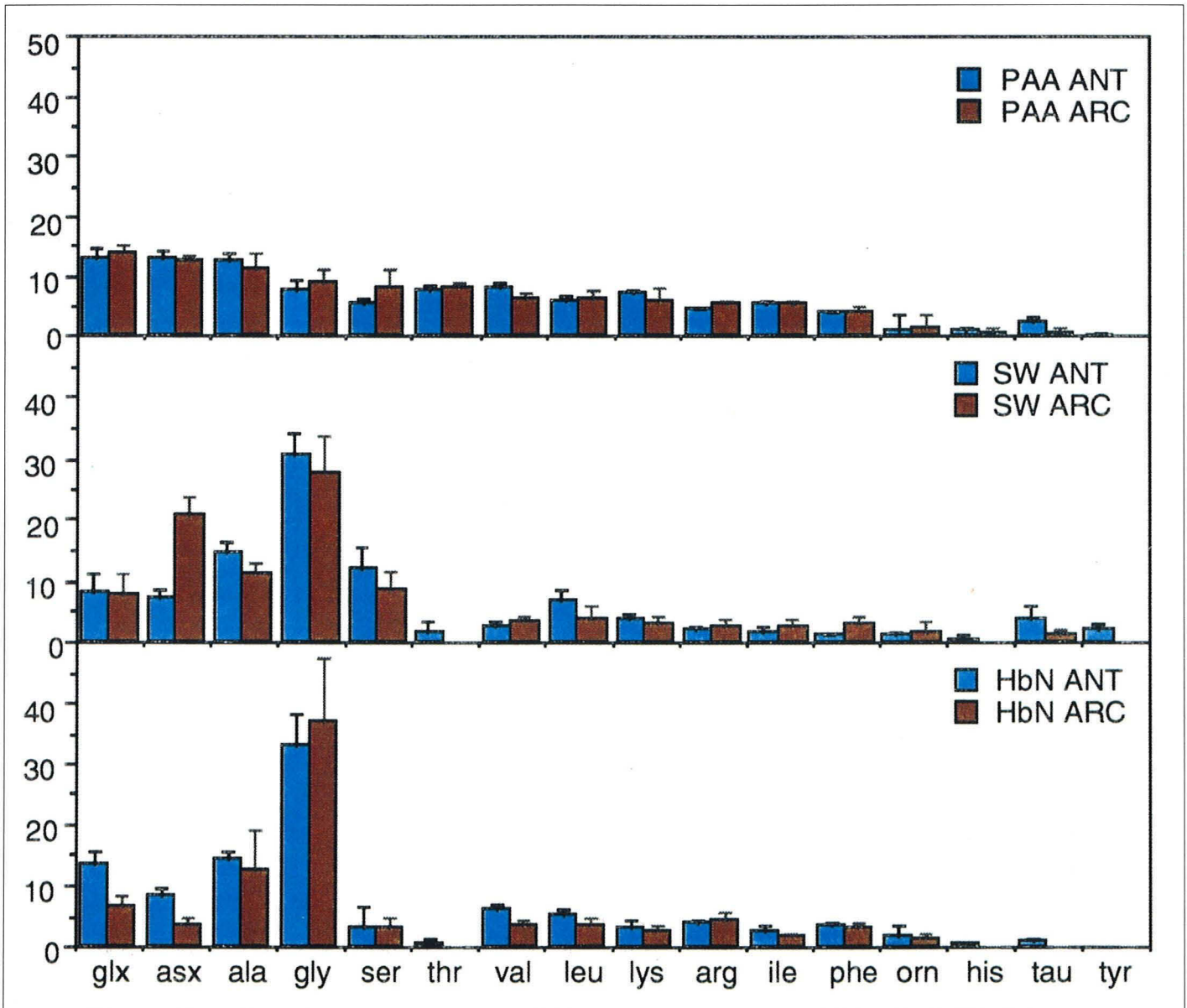


Abb. 2. Prozentuale Verteilung von Aminosäuren in partikulärer Substanz (PAA), Meerwasser (SW) und einer Huminstofffraktion (HbN) aus der Antarktis (ANT) und der Arktis (ARC).

beiden Polargebieten mit 3–4  $\mu\text{M}$  N sehr ähnlich. Auch der Anteil der sauren Huminstoffe war mit ca. 20% des DON gleich. Dagegen unterschied sich der Anteil der neutralen Huminstoffe mit 15% vom DON in der Antarktis gegenüber 25% in der Arktis. Der nicht humifizierte Anteil betrug ca. 60% des DON. Somit läßt sich abschätzen, daß ca. 40% des DON schwer abbaubar sind.

Der Beitrag der gelösten Aminosäuren zu den verschiedenen Fraktionen des DON von Proben aus der Grönlandsee ist in der Abbildung 1 dargestellt. Die Daten sind für das Gebiet repräsentativ, da es sich um Mittelwerte von zehn Stationen aus fünf Tiefen zwischen Oberfläche und Meeresboden handelt. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in der Antarktis gefunden: Im Oberflächenwasser sind etwa 60% der Aminosäuren an Huminstoffe gebunden, während in der Tiefe (> 500 m) praktisch alle Aminosäuren mit Huminstoffen assoziiert sind.

Im filtrierten Meerwasser machen die gelösten Aminosäuren etwa 15% des DON aus. Die Zusammensetzung der Aminosäuren in den verschiedenen Fraktionen des DON und in der partikulären Substanz zeigt deutliche Unterschiede (Abb. 2). Die Aminosäuren Glycin (gly), Alanin (ala), Glutaminsäure (glx), Asparaginsäure (asx) und Serin (ser) bilden 70–80% der gesamten Aminosäuren im Meerwasser sowie in den Huminstofffraktionen. Im partikulären organischen Material bilden diese Aminosäuren jedoch nur 50% aller Aminosäuren. Besonders Glycin ist sehr unterschiedlich verteilt. Im partikulären Material beträgt

der Anteil nur 8%, während er im Meerwasser bereits 27% ausmacht und in den Huminstofffraktionen sogar 33–45% erreicht.

Die Verteilung der einzelnen Aminosäuren in den Huminstoffen in der Wassersäule im Vergleich mit den partikulär gebundenen Aminosäuren sowie dem Chlorophyll *a*, als Maß für die Phytoplanktonbiomasse, läßt vermuten, daß diese Aminosäuren einen Teil der biologisch kaum abbaubaren Moleküle im Meer bilden. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, daß wahrscheinlich generell ein Teil der Aminosäuren (ca. 200 nM) zu diesen Substanzen in allen Weltozeanen gehört. Aufgrund des großen Anteils von Glycin in den Huminstoffen ist anzunehmen, daß diese Aminosäure in den Huminstoffen und vielleicht bereits bei der bakteriellen Zersetzung des partikulären Materials besonders geschützt ist.

In Laborversuchen beschäftigen wir uns zur Zeit mit chemischen, biologischen und optischen Untersuchungen der Exudate und Abbauprodukte antarktischer Diatomeen, um u. a. tiefere Erkenntnisse über die Relevanz optischer Messungen für die Erfassung der verschiedenen Humifizierungsschritte zu erlangen. Außerdem wird versucht, eine bessere Differenzierung der Begriffe „inert (resistent)“ auf chemisch-biologischer Grundlage, „Huminstoffe“ als operationelle Definition und „Gelbstoffe“ als optische Meßgröße zu erreichen. Zukünftige Studien werden sich mit der weiteren Charakterisierung der gelösten organischen Substanzen sowie deren Entstehung und Rolle im Ökosystem befassen.

## Die Ozonverteilung in der Atmosphäre über dem Atlantik

Der globale Rückgang der stratosphärischen Ozonschicht und die steigende Ozonkonzentration in der Troposphäre der Nordhemisphäre sind durch mehrjährige Trendmessungen belegt.

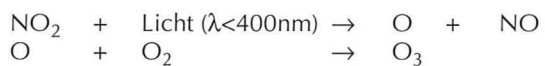
Ozon wird primär in der Stratosphäre in Höhen über 20 km gebildet. Die stratosphärische Ozonschicht absorbiert die schädliche UV-B Strahlung. Der Anstieg der troposphärischen Ozonkonzentration kann die erhöhte Durchlässigkeit der Stratosphäre für UV-Strahlung, vor allem in hohen Breiten, nicht ausgleichen. Wegen der Toxizität des Ozons sind durch den Konzentrationsanstieg in der Troposphäre zusätzlich Lebewesen gefährdet. Dem natürlichen troposphärischen Ozon, das ca. 10% des

Gesamtozons in der Atmosphäre ausmacht und über Austauschprozesse von der Stratosphäre in die Troposphäre transportiert wird, kommt eine Schlüsselrolle zu: Aus der Biosphäre und durch zivilisatorische Einflüsse werden beachtliche Mengen an Kohlenwasserstoffen oder Schwefel- und Stickstoffverbindungen emittiert, die sich ohne eine Selbstreinigung der Atmosphäre akkumulieren würden. Das Sonnenlicht induziert eine Art „kalte Verbrennung“ verschiedener Spurengase zu wasserlöslichen Substanzen, die schließlich durch Regen ausgewaschen werden. Ausgangspunkt dieser im Detail sehr komplexen Reaktionskette ist die Spaltung eines Ozonmoleküls ( $\text{O}_3$ ) durch UV-Licht.



Abb. 1: Start einer Ozonsonde auf FS „Polarstern“. Die Sonde befindet sich in einem Styroporpaket. Die Daten werden mit einer Trägerfrequenz von 403 MHz zur Empfangsstation auf „Polarstern“ gesendet. Der Ballon, der am Boden ca. 2 m Durchmesser hat, bläht sich mit steigender Höhe aufgrund des abnehmenden Luftdrucks bis zu einem Durchmesser von 10 m auf und platzt schließlich bei Höhen von ca. 35 km.

Die belastete Troposphäre ist eine bedeutende zusätzliche Ozonquelle. Bei dieser photochemischen Ozonbildung spielen Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Kohlenwasserstoffe, welche hauptsächlich aus anthropogenen Quellen (Verbrennungsprozesse) stammen, eine zentrale Rolle:



Ein Hauptaugenmerk laufender Forschungsarbeiten liegt darin,

die Ursachen für die Ozonverteilung in der Atmosphäre und deren Langzeittrends auf physikalisch-chemischer Basis zu verstehen. Wichtige Gesichtspunkte sind das Ozonbildungspotential der oberen Troposphäre und der Beitrag der durch Westwinde transportierten nordamerikanischen Abluftfahne als Hintergrundbelastung für Europa.

Auf Polarsternexpeditionen messen wir die breitengradabhängige vertikale Schichtung des Ozons über dem Atlantik und den Polarmeeren und erhalten so ein dichtes meridionales Datenpro-

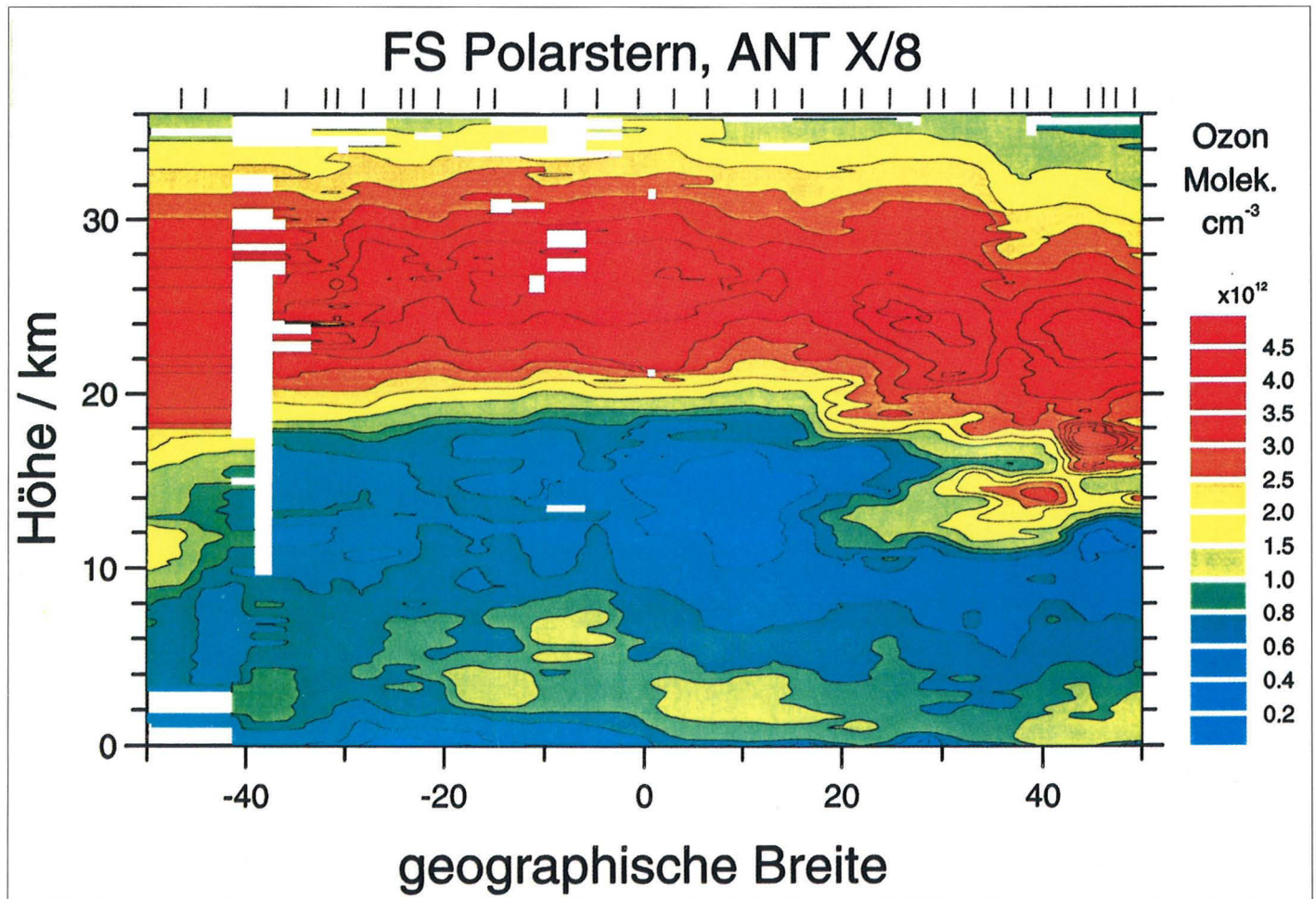


Abb. 2: Breitengradabhängigkeit der bodennahen Ozonkonzentration, gemessen ca. 20 m über dem Meeresspiegel. Aufgetragen ist das Ozonmischungsverhältnis (1 ppbv = 1 part per billion volume = 1 Volumenteil Ozon pro  $10^9$  Volumenteile Luft) gegen den Breitengrad (50°N bis 60°S).

fil von der stark belasteten Nordhemisphäre bis zur anthropogen wenig belasteten Südhemisphäre. Ergänzt werden diese Untersuchungen durch die Datenreihen der Neumayer- (Antarktis) und Koldewey-Station (Spitzbergen). Ballongestützte Ozonsondierungen mit sogenannten Elektrochemischen Konzentrationszellen (ECC-Sonden) (Abb. 1) erfassen das vertikale Profil der Ozonkonzentration bis in ca. 36 km Höhe mit einer Auflösung von etwa 100 m.

Im folgenden stellen wir die Ergebnisse einer Meßkampagne vor, die während der „Polarstern“-Traverse ANT X/8 im Januar/Februar 1993 von Ushuaia (Argentinien, 55°S) nach Bremerhaven (53°N) stattfand. In dem Breitengradabhängigen Konzentrationsprofil des bodennahen Ozons (Abb. 2) gibt es einen markanten Anstieg von durchschnittlich 14–15 ppbv in der südlichen Hemisphäre auf ca. 40 ppbv in der nördlichen Hemisphäre. Verantwortlich für die höhere Ozonbelastung der nördlichen

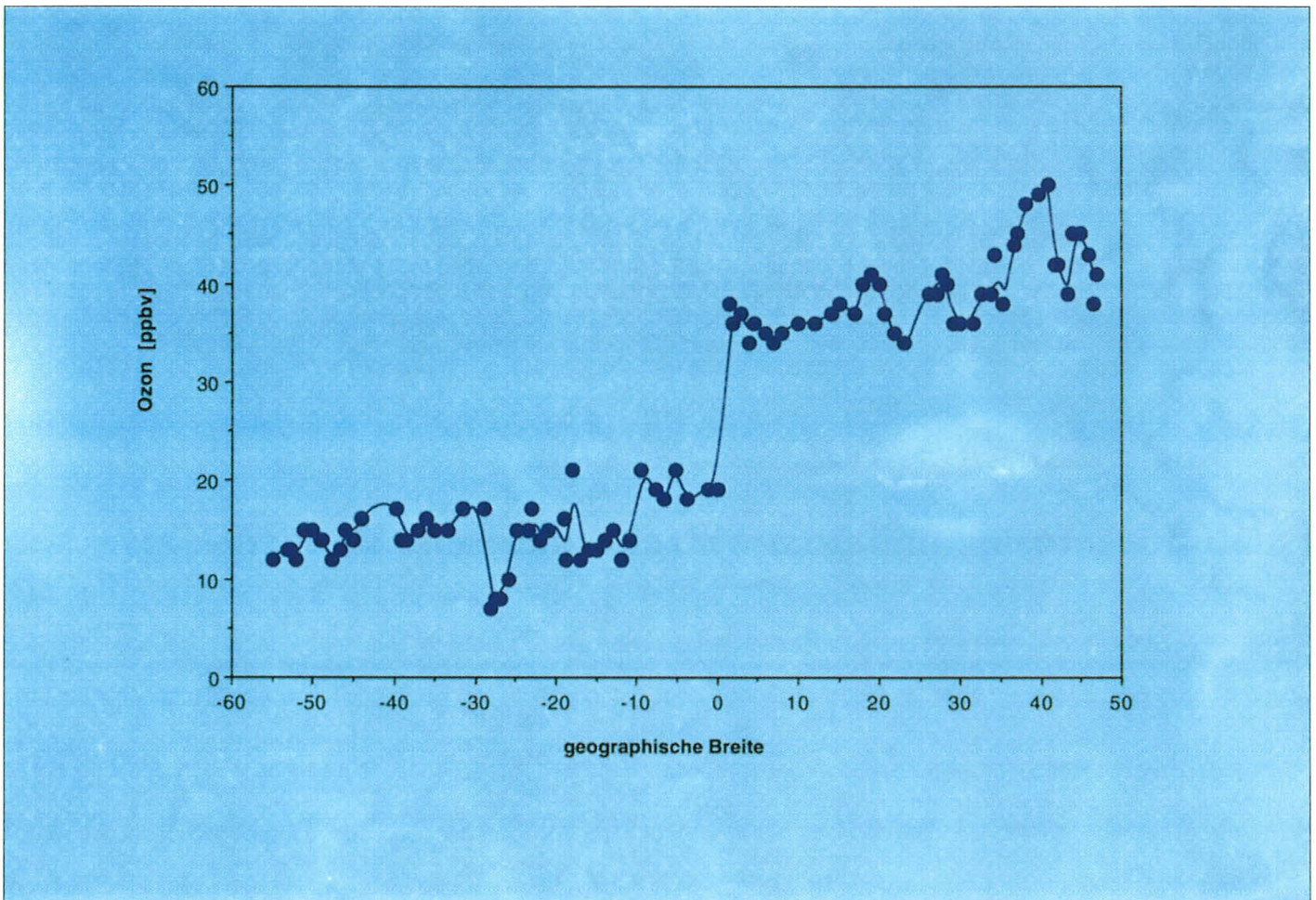


Abb. 3: Vertikale Ozonverteilung über dem Atlantik von 50°N bis 50°S, dargestellt als Isoplethendiagramm des Ozonpartialdruckes in der Troposphäre und Stratosphäre.

Hemisphäre sind einerseits dynamische Prozesse, wie der verstärkte Austausch stratosphärischer und troposphärischer Luftmassen, andererseits aber auch die anthropogenen NO<sub>x</sub> Emissionen in der nördlichen Hemisphäre. Mit dem heutigen Kenntnisstand lässt sich der Beitrag dieser Prozesse noch nicht quantifizieren. Die anthropogene Komponente ist aber von großer Bedeutung, zumal sie eine zunehmende Tendenz aufweist.

Das Ergebnis der 36 Ozonsondenaufstiege ist in einem Diagramm mit den Isolinien des Ozonpartialdruckes in der Troposphäre und der Stratosphäre dargestellt (Abb. 3). Zwischen 28°N und 40°N fällt ein Gebiet mit erhöhtem O<sub>3</sub> Partialdruck auf, das bis in die Troposphäre reicht und nahe der typischen Tropopausenfaltung bei 28°N liegt. Tropopausenfaltungen zeichnen sich durch mehrere, wenig charakteristische Temperaturminima aus.

Die sonst stabile Schichtung ist gestört. Ozonreiche, stratosphärische Luftmassen werden dort bevorzugt in die darunterliegende obere Troposphäre eingetragen. Im Nordhemisphären-Frühjahr sind solche dynamischen Prozesse besonders ausgeprägt. Sie sind die Ursache für das saisonale Maximum der troposphärischen Ozonkonzentration im April und Mai.

Die zivile Luftfahrt verursacht eine dramatische Erhöhung der NO Konzentrationen in der oberen Troposphäre (8–12 km Höhe) der nördlichen Hemisphäre zwischen 40°N und 60°N. Man würde demnach dort hohe Ozonkonzentrationen, verursacht durch photochemische O<sub>3</sub> Bildung, erwarten. Dies ließ sich jedoch aufgrund unserer bisherigen Messungen nicht belegen. Eine weitere Ozonsondierungskampagne auf „Polarstern“

wird sich auf den Bereich 60°N bis 40°N konzentrieren, um diesen Gesichtspunkt aufzuklären.

Die Photochemie und meteorologische Randbedingungen kontrollieren also in komplexer Weise die Verteilung des Ozons in der marinen Troposphäre und deren Dynamik. In der nördlichen Hemisphäre macht sich auch in entlegenen Regionen der Einfluß anthropogener Spurengase auf die Ozonbilanz bemerkbar. Unsere Messungen zeigen aber auch die prinzipielle Schwierigkeit, zwischen den anthropogenen und natürlichen Einflüssen auf die globale troposphärische Ozonbilanz in quantitativer Weise zu unterscheiden. Um diesem Ziel näher zu kommen, sind weitere Meßkampagnen, vor allem in höhere nördliche Breiten, erforderlich.

## Pinatubo-Aerosole und polare stratosphärische Wolken

Stratosphärische Aerosole haben eine zentrale Bedeutung für den Ozonabbau während des antarktischen Frühlings. Um herauszufinden, inwieweit man die antarktischen Verhältnisse auf die arktische Stratosphäre übertragen kann, haben wir in den Wintern 1991/92 und 1992/93 an der Koldewey-Station auf Spitzbergen (79°N, 12°O) stratosphärische Aerosole vulkanischen Ursprungs und polare stratosphärische Wolken mit einem Mehrwellenlängen-Lidar beobachtet (Abb. 1). Diese Messungen sind ein wichtiger Beitrag zum NDSC-Netzwerk (Network for the Detection of Stratospheric Change), dem die Station seit Oktober 1992 angehört. In diesem weltweiten Netzwerk sind ein Dutzend Meßstationen zusammengefaßt, die mit modernsten Meßmethoden die Stratosphäre beobachten. Sie sollen lange, genau überprüfte Meßreihen der Ozonkonzentration und der an der Ozonchemie beteiligten Spurenstoffe erstellen, damit man frühzeitig abgesicherte Aussagen über Trendentwicklungen machen kann.

### Vulkanische Aerosole

Die Eruption des philippinischen Vulkans Mt. Pinatubo (15°N, 120°O) im Juni 1991 führte zum Eintrag von etwa 20 Mt Schwefeldioxid in die Stratosphäre. Mit einer Zeitkonstanten von

etwa drei bis vier Wochen wurde SO<sub>2</sub> zu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oxidiert und kondensierte als Schwefelsäuretröpfchen aus. Der Aerosolhaushalt der arktischen Stratosphäre war ab Sommer 1991 von diesen vulkanischen Schwefelsäureaerosolen dominiert. Die Analyse ihrer zeitlichen Entwicklung und ihrer räumlichen Ausbreitung liefert Aussagen über dynamische Vorgänge in der polaren Stratosphäre.

Die Dynamik der arktischen und antarktischen Stratosphäre während der Polarnacht bestimmt ein Starkwindssystem, der sog. Polarwirbel. In der Abbildung 2 ist die zeitliche Entwicklung des Rückstreuverhältnisses R bei der Lidar-Wellenlänge 532 nm als Funktion der Höhe dargestellt. R ist ein Maß für die Aerosolbelastung der Atmosphäre; eine aerosolfreie Atmosphäre ist charakterisiert durch R=1. Zwischen November 1991 und Mitte März 1992 verhinderte der Polarwirbel, daß vulkanische Aerosole oberhalb von etwa 20 km in polare Breiten eindringen. Unterhalb dieser Höhe begann der Wirbel sich abzuschwächen und es gab Austauschprozesse zwischen aerosolreicher Luft aus mittleren Breiten und Luftpaketen aus dem inneren Bereich des Wirbels. Störungen der polaren Zirkulation Ende Januar und Mitte Februar 1992 führten zu vorübergehenden Einträgen aerosolreicher Luftpakete auch in größeren Höhen. Erst nach dem Zusammenbruch der polaren Zirkulation Ende März 1992 wur-





Abb. 1: Das Aerosol-Lidar in Betrieb.

den auch oberhalb von 20 km starke Rückstreusignale beobachtet.

Durch die simultane Beobachtung der Aerosole auf mehreren Lidar-Wellenlängen können wir auch Informationen über die Größe des partikulären Materials gewinnen. Für den Winter 1992/93 ergibt sich ein mittlerer Partikelradius von etwa  $0,1 \mu\text{m}$ .

#### Polare stratosphärische Wolken

Fallen die Temperaturen in der polaren Stratosphäre auf Werte deutlich unter  $200 \text{ K}$ , kann  $\text{HNO}_3$  als Salpetersäuretrihydrat

(NAT) ausfrieren und es entstehen polare stratosphärische Wolken (PSW) vom Typ I. Bei noch tieferen Temperaturen bilden sich Eiswolken (PSW Typ II).

Im Winter 1991/92 fielen die Temperaturen in der Stratosphäre nicht für längere Zeit unter den für die Existenz von NAT erforderlichen Wert. Folglich wurden über Ny-Ålesund keine PSW beobachtet. Der nächste Winter 1992/93 war durch einen stabilen Wirbel charakterisiert und im Januar 1993 sanken die Temperaturen im Höhen um 19 km über mehrere Wochen unter die NAT-Existenztemperatur. Es wurden zwei Unterklassen von PSW Typ I beobachtet, das Auftreten von PSW Typ II konnte im Meßzeitraum nicht nachgewiesen werden.

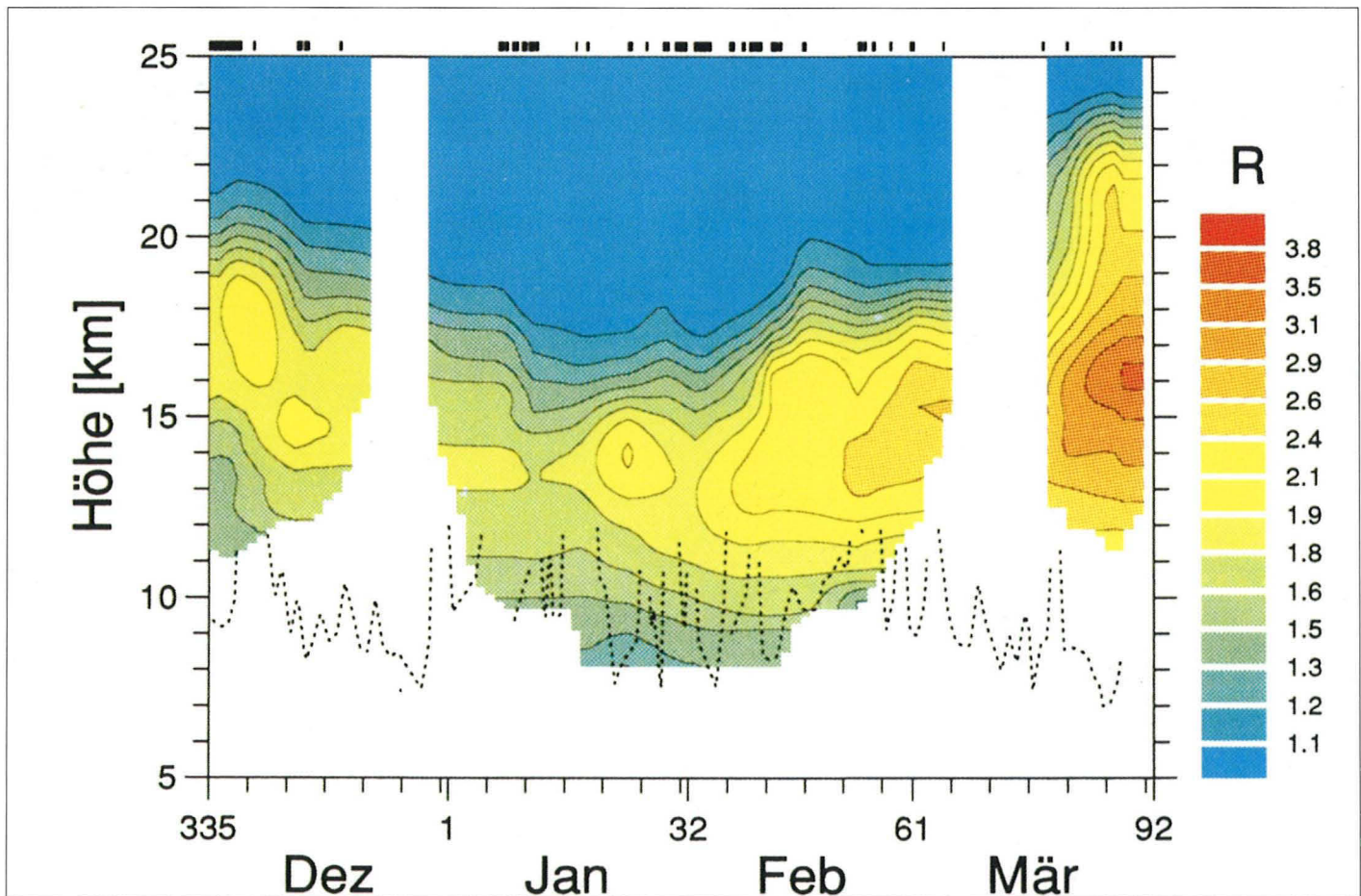
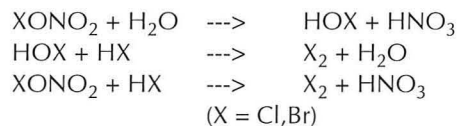


Abb. 2: Die zeitliche Entwicklung des Rückstreuverhältnisses bei 532 nm im Winter 1991/92 als Funktion der Höhe. Die Isoplethen besitzen eine multiplikative Schrittweite von 1,1, um Werte von R nahe eins unterscheiden zu können. Als unterbrochene Linie ist die Tropopausenhöhe eingezeichnet. Die Symbole oberhalb der Abbildung markieren die Betriebszeiten des Lidars.

An den Oberflächen der PSW-Partikel können heterogene chemische Reaktionen ablaufen, bei denen Chlor oder Brom aus den Reservoirgasen aktiviert werden, wie z. B.



Der genaue Ablauf dieser heterogenen Reaktionen ist noch weitgehend ungeklärt. In Laborstudien werden daher mit einer

neuentwickelten Apparatur bei tiefen Temperaturen Festkörperfilme präpariert, die den Oberflächen der PSW entsprechen. Diese „Modell-Oberflächen“ werden mit Hilfe eines Fourier Transform Infrarot (FTIR) Spektrometers charakterisiert. Gasförmige Verbindungen werden mit einem Quadrupol-Massenspektrometer analysiert (Abb. 3 und 4). Bisher wurden PSW vom Typ I, welches in verschiedenen Modifikationen auftreten kann, und PSW vom Typ II (Wassereis) sowie eine Reihe von Reaktionen mit Chlor- und Bromverbindungen und mit Stickstoffverbindungen ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ ,  $\text{HNO}_3$ ) untersucht.

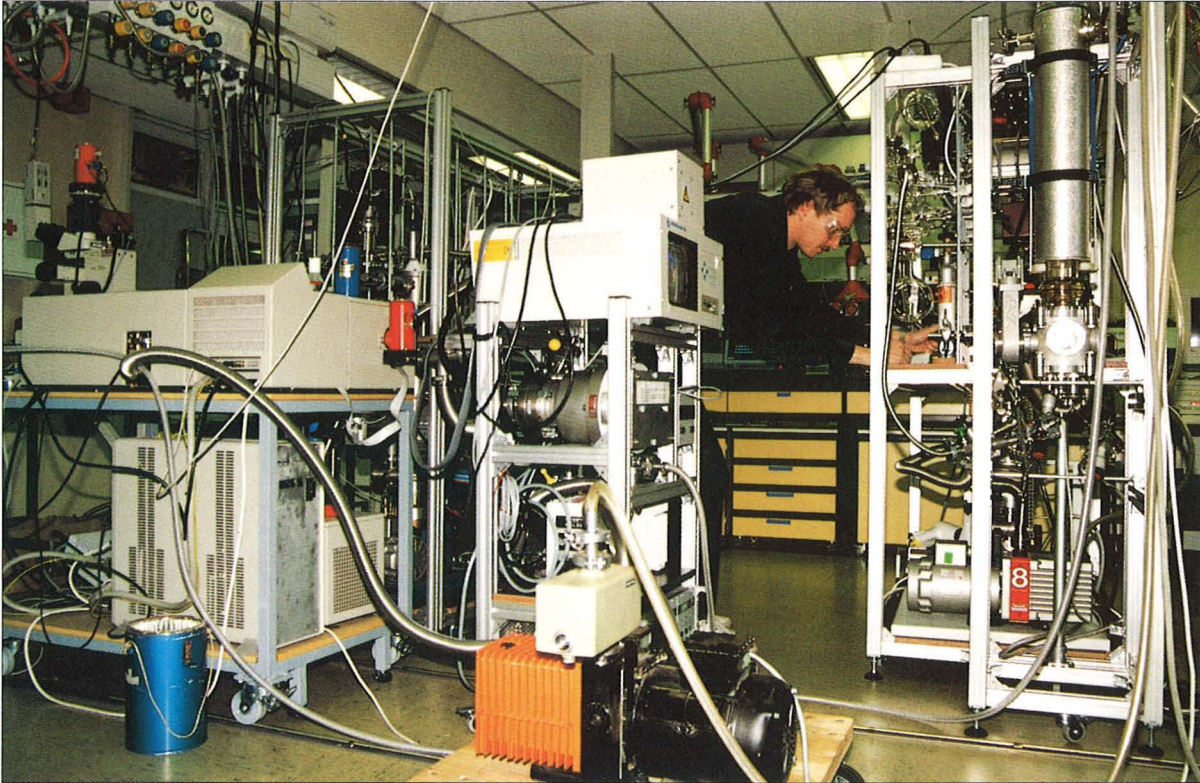


Abb. 3: Apparatur zur Untersuchung von Oberflächen polarer stratosphärischer Wolken (rechts); das FTIR-Spektrometer (links) und das Quadrupol-Massenspektrometer (Bildmitte).

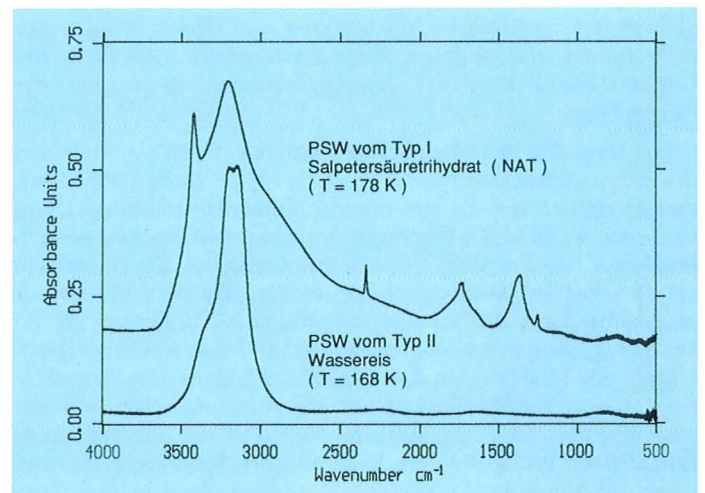


Abb. 4: Infrarotspektren von Modell-  
oberflächen polarer stratosphärischer  
Wolken (PSW); oben: PSW vom Typ I;  
unten: PSW vom Typ II.

## Spurengas-Messungen in der arktischen Stratosphäre während der Polarnacht

Im März 1992 wurde an der Koldewey-Station auf Spitzbergen ein hochauflösendes FTIR (Fourier Transformed Infrared) Spektrometer installiert, um Spurengaskonzentrationen in der Stratosphäre zu messen. Für Beobachtungen während der Polarnacht mit Hilfe des Mondlichtes wurde dieses Instrument im Dezember 1992 modifiziert.

Die Infrarotspektroskopie hat sich in der Atmosphärenforschung als sinnvolle Meßmethode erwiesen, da viele, für die Ozonchemie relevante Spurengase, wie HCl, ClONO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, O<sub>3</sub> und verschiedene FCKWs ausreichend stark im infraroten Spektralbereich zwischen 750–4000 cm<sup>-1</sup> (das ist die reziproke Wellenlänge in Einheiten 1/cm und entspricht Wellenlängen zwischen 13,3–2,5 µm) absorbieren. Mit Hilfe der Sonne als Infrarotlichtquelle können bis zu 20 verschiedene Spurengase in der Stratosphäre und Troposphäre nachgewiesen werden.

Die Gesamtsäulendichten als Maß für die Spurengaskonzentrationen in der Atmosphäre lassen sich durch eine nachträgliche Computersimulation der Absorptionsspektren und deren Vergleich mit den gemessenen Spektren bestimmen. Für jede spektrale Linie der absorbierenden Spurengase werden in bis zu 30 Höhenschichten der Atmosphäre die Einzelspektren berechnet und zu einem Gesamtabsorptionsspektrum aufsummiert. Durch eine Minimierung der Differenz der simulierten zu den gemessenen Spektren in Abhängigkeit von den Spurengaskonzentrationen und anderen Parametern erhält man dann die Gesamtsäulendichten der Spurengaskonzentrationen in der Atmosphäre.

Die Intensität des Mondlichtes, welches durch die Reflexion des Sonnenlichtes verursacht wird, ist bis zu sechs Größenordnungen schwächer als die direkte Sonneneinstrahlung. Diese Intensität würde für Messungen im infraroten Spektralbereich nur unter Verwendung extrem empfindlicher Detektoren in einem schmalen Meßbereich ausreichen. Da aber die Mondoberfläche durch die Sonneneinstrahlung bei Vollmond bis auf ca. 100 °C aufgeheizt wird, stellt sie selber eine intensive Strahlungsquelle im Infraroten dar. Deshalb gelingt es, fast im gesamten interessierenden Spektralbereich Absorptionsspektren mit ausreichender Intensität aufzunehmen und die Spurengaskonzentrationen zu bestimmen. Während die Sonnenspektren mit einer Auflösung von 0,0035 cm<sup>-1</sup> aufgenommen werden können,

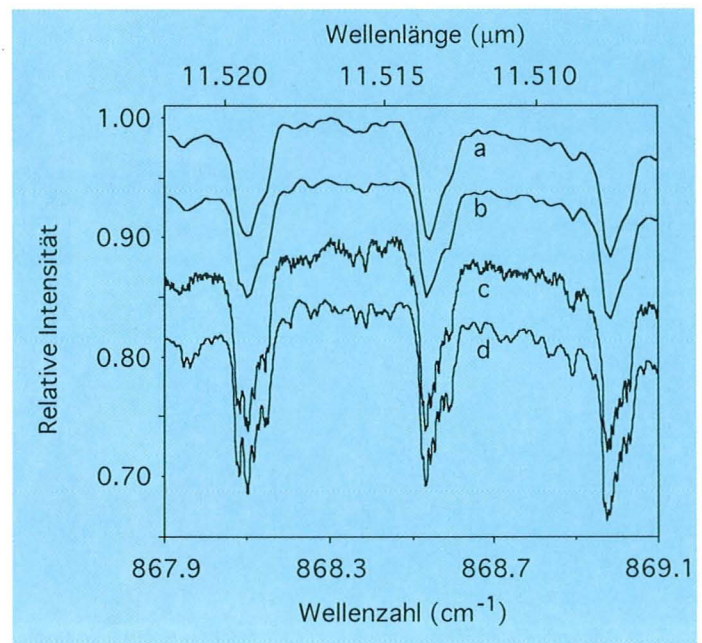


Abb. 1: Kurve (a) zeigt ein mit einer Auflösung von 0,02 cm<sup>-1</sup> am 14. 12. 1992 unter einem Winkel von 21° über dem Horizont aufgenommenes Mondspektrum. Die breiten drei Absorptionsbanden entstehen durch stratosphärisches HNO<sub>3</sub>. Zum Vergleich gibt Kurve (c) ein am 26. 3. 1992 unter einem Winkel von 14° und einer Auflösung von 0,0035 cm<sup>-1</sup> gemessenes Sonnenspektrum wieder. Die Kurven (b) und (d) zeigen die entsprechenden Simulationen, wobei Auflösung, Winkel etc. berücksichtigt wurden.

nen, erlaubt die geringere Intensität des Mondlichtes nur eine Auflösung bis zu 0,02 cm<sup>-1</sup>.

Im Winter 1992/93 wurden erstmals an der Koldewey-Station während der etwa vier Monate andauernden arktischen Polarnacht Absorptionsmessungen im infraroten Spektralbereich mit Hilfe des Mondlichtes durchgeführt und die Konzentrationen vieler wichtiger Spurengase beobachtet. Damit ist es möglich, beinahe während des ganzen Jahres die Spurengaskonzentrationen in polaren Breiten zu erfassen.

In der Abbildung 1 sind zum Vergleich ein gemessenes Mond- (a) und Sonnenspektrum (c) im Bereich der  $\text{HNO}_3$  Absorption dargestellt. Die Kurven (b) und (d) zeigen die entsprechenden simulierten Spektren. Obwohl die Mondspektren aufgrund der geringeren spektralen Auflösung nicht alle Details erkennen lassen, läßt sich die Säulendichte von  $\text{HNO}_3$  in der arktischen Atmosphäre während der Polarnacht bestimmen. Derartige Messungen sind von Interesse, weil man die Jahrgänge der Konzentrationen einiger Spurengase, wie z. B.  $\text{HNO}_3$ , kennen muß, um die Modellrechnungen zu überprüfen und die Prozesse in der polaren Atmosphäre zu verstehen. Während  $\text{HNO}_3$  im Sommer zum großen Teil photolysiert wird, können in der Polarnacht hohe  $\text{HNO}_3$  Konzentrationen auftreten. Weiterhin ist  $\text{HNO}_3$  in der Chemie der polaren Stratosphäre von Bedeutung, da es u. a. eine Ausgangssubstanz bei der Entstehung polarer stratosphärischer Wolken (PSCs) ist, die beim stratosphärischen Ozonabbau eine entscheidende Rolle spielen. Unsere ersten

Messungen zeigen nun, daß im arktischen Winter 1992/93 eine Sedimentation (Absinken) der aus  $\text{HNO}_3$  gebildeten PSCs, im Gegensatz zur Antarktis, offensichtlich nicht dominierte.

Spurengasmessungen sind besonders in der Polarnacht von Bedeutung, da in dieser Zeit chemische Umwandlungsprozesse stattfinden, die den stratosphärischen Ozonabbau im Frühjahr erst ermöglichen. Während der Dunkelheit werden in der Anwesenheit von PSCs inaktive Chlorreservoirverbindungen, z. B.  $\text{HCl}$  und  $\text{ClONO}_2$ , in aktive Substanzen, wie  $\text{Cl}_2$  und  $\text{HOCl}$ , umgewandelt. Diese werden im polaren Frühjahr unter der Einwirkung von Sonnenlicht photolysiert und können durch katalytische Prozesse das stratosphärische Ozon abbauen.

Durch Kombination der Mond- und Sonnenmessungen wurde erstmals der Jahrgang der Säulendichten von  $\text{HCl}$  und  $\text{ClONO}_2$  in hohen polaren Breiten erfaßt. Die Abbildung 2 zeigt einen Teil des Jahrganges von Dezember 1992 bis Juli 1993. Die Konzentrationsabnahme beider Stoffe bis Februar 1993 im

Vergleich zum Dezember 1992 läßt sich, in Übereinstimmung mit den vorhandenen Modellvorstellungen, durch die chemische Umwandlung beider Stoffe in reaktive Chlorverbindungen in der Gegenwart von PSCs erklären. Im März, nach der Auflösung des Polarwirbels, erreichen beide Stoffe wieder „normale“ Konzentrationswerte. Wegen seiner hohen Photolyse rate nimmt die  $\text{ClONO}_2$  Konzentration bis Juli wieder ab. Die Konzentration von  $\text{HCl}$  erreicht dagegen im Sommer ihr Maximum. Besonders interessant ist, daß bereits während der kurzen Zeitspanne im Dezember die Konzentrationen beider Stoffe deutlich abnehmen. Dies deutet darauf hin, daß bereits kurze PSC Ereignisse, wie sie in der Arktis im Gegensatz zur Antarktis häufig beobachtet werden, ausreichen, um diese inaktiven Chlorreservoirverbindungen umzuwandeln.

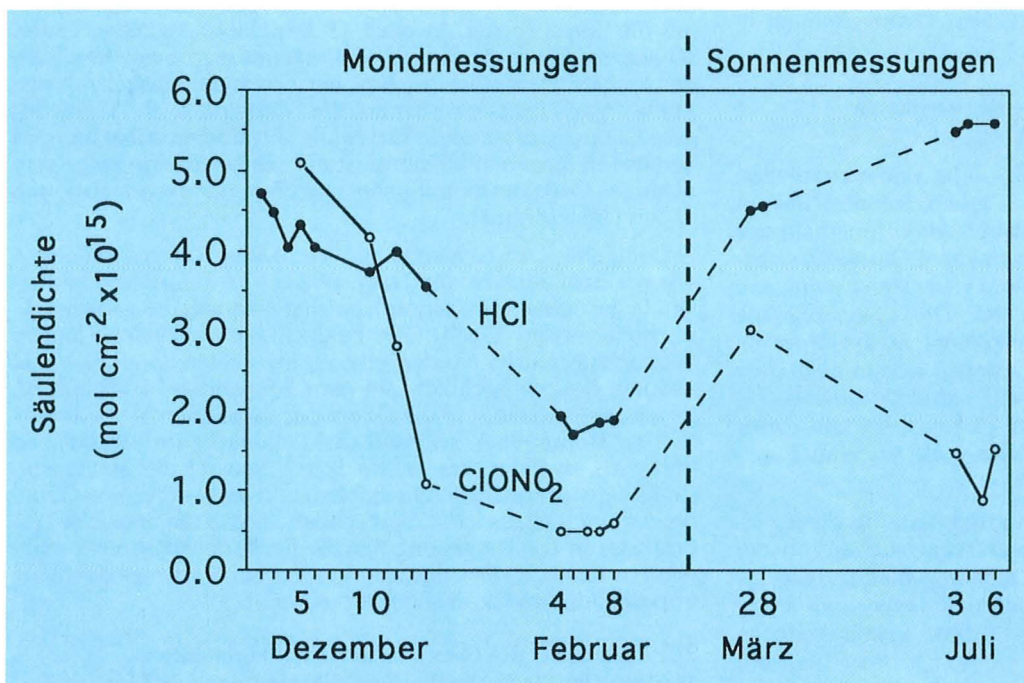


Abb. 2: Gemessene Säulendichten von  $\text{ClONO}_2$  und  $\text{HCl}$  während der Polarnacht und dem darauffolgenden Frühjahr und Sommer. Während der Polarnacht diente der Mond als Lichtquelle. Gut erkennbar ist die Konzentrationsabnahme im Februar im Vergleich zum Dezember. Bemerkenswert ist, daß bereits während der zweiwöchigen Meßperiode im Dezember die Konzentrationen beider Stoffe signifikant abnehmen.

## Die mittleren vertikalen Ozonverteilungen über Arktis und Antarktis

Von den beiden Polarstationen, Georg Forster (70,8°S; 11.8°E) in der Antarktis und Koldewey (78,9°N; 12,0°E) in Ny Ålesund auf Spitzbergen (Arktis), liegen die Ergebnisse mehrjähriger, ballongetragener Ozonsondierungen vor. Diese Meßreihen sind in ihrer Kontinuität nahezu einmalig. An der Koldewey-Station begannen die Sondierungen im Herbst 1988. Für die Georg-Forster-Station gibt es regelmäßige Beobachtungen mit insgesamt 423 Sondierungen von Mai 1985 bis Ende 1991. Diese Meßreihe wird seit März 1992 an der Neumayer-Station (70,6°S; 08,4°W) mit etwa 80 Sondierungen pro Jahr fortgesetzt.

Mit diesen Daten ist es möglich, den mittleren Jahresgang für die genannten Jahre darzustellen (Abb.1). Anhand der Mittelung aller bisher gemessenen Ozonprofile lassen sich signifikante Unterschiede im Jahresgang der vertikalen Ozonverteilung in Arktis und Antarktis verdeutlichen.

### Unterschiede im mittleren Jahresgang der vertikalen Ozonverteilung in den Polarregionen

Über der Antarktis ist die stratosphärische Wirbelzirkulation relativ stabil, so daß man an einem festen Standort die im wesentlichen chemisch bedingte Ozonreduktion innerhalb des Wirbels von August bis Oktober messen kann. Dieser Ozonabbau mit einem noch immer zunehmenden Trend wird seit Beginn der achtziger Jahre beobachtet. Die Ozonabnahme beginnt im August, nach dem Ende der Polarnacht, in Höhen um 21 km bis 22 km. Sie verstärkt sich, verlagert sich in niedrigere Höhen und erreicht Anfang Oktober Minimalwerte, teilweise bis Null, in Höhen zwischen 14 km und 18 km. Oberhalb dieses Minimums nimmt der Ozongehalt bereits Ende September wieder zu (Abb. 1, S. 93 und 94).

Die Unterschiede zwischen Antarktis und Arktis für die jeweiligen Monate nach Ende der Polarnacht sind auffällig. In der antarktischen Stratosphäre wird das Ozon abgebaut (August bis Oktober). In der arktischen Stratosphäre sind dagegen im Mittel hohe Ozonkonzentrationen im gesamten interessierenden Höhenbereich zwischen 12 und 22 km von Februar bis April nachweisbar (Abb. 1).

Ebenso interessant ist der Vergleich für die Umstellung der Zirkulation vom Winter zum Sommer (im Süden von November bis Dezember und im Norden von März bis April). Die in die

jeweilige Region transportierten Ozonmengen unterscheiden sich in dieser Zeit deutlich, wenn man unsere Beobachtungen bei etwa 80°N und 70°S vergleicht. Die stratosphärischen Ozonkonzentrationen in Norden sind im Mittel bedeutend höher als im Süden. Man kann daraus schließen, daß der meridionale Ozontransport in der Stratosphäre von tropischen Breiten nach Norden wesentlich effizienter zu sein scheint als nach Süden. Eine Erklärung wäre die unterschiedliche planetare Wellenaktivität in beiden Hemisphären, die zum Beispiel auch eine unterschiedlich rasche Ausbreitung des Pinatubo-Aerosols in die Polarregionen bewirkte.

Von Dezember bis Juli verlagert sich das stratosphärische Maximum des Ozonpartialdruckes in der Antarktis allmählich nach unten und befindet sich zum Ende der Polarnacht, am 21. Juli für Georg Forster, in etwa 18 km Höhe. Auffällige Unterschiede zwischen Nord und Süd erkennt man beim Vergleich der Monate Dezember bis Juni auf der Südhalbkugel mit den Monaten Juni bis Dezember auf der Nordhalbkugel: Der niedrigere Gesamtzongehalt in der Arktis, aus Bodenbeobachtungen bereits seit längerem bekannt, ist offensichtlich eine Folge sehr niedriger Ozonkonzentrationen zwischen der Tropopause und 15 km Höhe (Abb. 1).

Deutliche Unterschiede der vertikalen Ozonverteilungen erkennt man auch in der Troposphäre: Die Ozonkonzentrationen in der arktischen Troposphäre sind während des ganzen Jahres höher als im Süden. Dies belegen auch zahlreiche andere Beobachtungen. Im Norden erkennt man einen deutlichen Jahresgang, der offensichtlich mit dem Sonnenstand korreliert ist. Im Gegensatz dazu sind die Ozonkonzentrationen in der antarktischen Troposphäre während der Polarnacht im allgemeinen höher als im Polarsommer. Im Süden bewirkt die Sonneneinstrahlung offenbar einen Ozonabbau und im Norden eine Ozonproduktion. Daraus kann man schließen, daß die arktische Troposphäre in der Umgebung Spitzbergens im Mittel nicht mehr wie ein Reinluftgebiet reagiert, in dem bei Sonneneinstrahlung troposphärisches Ozon abgebaut würde.

### Zur Variabilität des Ozonabbaus in der südpolaren Stratosphäre für September und Oktober von 1982 bis 1992

Bereits wenige Jahre nach Entdeckung des zusätzlichen chemisch bedingten Ozonabbaus im September und Oktober in der antarktischen Stratosphäre wurde der mögliche Einfluß der glo-

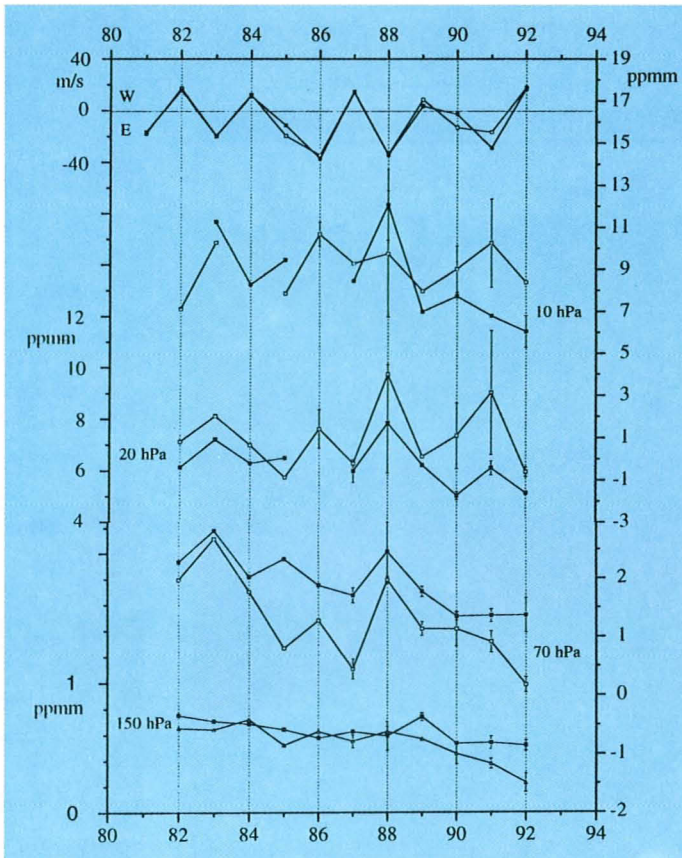


Abb 2: Monatsmittel des Ozonmischungsverhältnisses (ppmm) für die isobaren Flächen 10 hPa (28,0 km bis 30,0 km), 20 hPa (23,5 km bis 24,5 km), 70 hPa (16,5 km bis 17,0 km), 150 hPa (12,2 km bis 12,6 km) im September (ausgefüllte Quadrate) und Oktober (leere Quadrate) aus Beobachtungen in der Antarktis an der Station Syowa für die Jahre 1982 bis 1984, an der Station Georg Forster für die Jahre 1985 und 1986 sowie aus Messungen an beiden Stationen für die Jahre 1987 bis 1991 und für 1992 aus Messungen an den Stationen Syowa und Neumayer. Die Phase der QBO (m/s) für September und Oktober ist im oberen Teil der Abbildung eingezeichnet.

balen Zirkulation auf den Ozonabbau diskutiert. Man suchte zum Beispiel nach einem Signal in den interannualen Variationen des Ozons in der antarktischen Stratosphäre, das mit den quasi zweijährigen zonalen Windoszillationen (QBO) in der tropischen Stratosphäre im Zusammenhang steht. Auch dies kann man erst bei Auswertung ausreichend langer Zeitreihen, die

möglichst mehrere Sonnenfleckenzyklen umfassen müssten, genauer klären. Da derartige langzeitige Meßreihen fehlen - man kennt das Phänomen des Ozonabbaus in der polaren Stratosphäre erst seit etwa zehn Jahren -, gibt es bisher nur Teilantworten.

Für die Südpolarregion haben wir eine derartige Bewertung mit den Ozonsondierungsdaten der Stationen Syowa (69°S; 39°E), Georg Forster (71°S; 12°E) und Neumayer (70°S; 08°W) für den kurzen Zeitraum von 10 Jahren versucht. Für September und Oktober eines jeden Jahres von 1982 bis 1992 haben wir QBO-Phase für das 10hPa Druckniveau in der tropischen Stratosphäre mit den Variationen der Monatsmittelwerte des Ozonmischungsverhältnisses für vier isobare Flächen zwischen 10 hPa und 150 hPa in der südpolaren Stratosphäre verglichen (Abb. 2).

Klar erkennbar ist für die achtziger Jahre der negative Trend in 70 hPa Höhe, der die zunehmende Ausdünnung der Ozonschicht während dieser Monate in der unteren Stratosphäre seit 1982 beweist. Kein derartiger signifikanter Trend ist in den Höhen oberhalb (10 hPa und 20 hPa) und unterhalb (150 hPa) festzustellen. Oberhalb 20 hPa, d.h. ab etwa 24 km Höhe und darüber, dominiert in den Variationen von Jahr zu Jahr ein Signal der QBO. Relativ hohe Ozonmischungsverhältnisse in der südpolaren Stratosphäre sind mit Ostwind in der tropischen Stratosphäre, Ostphase der QBO, korreliert (Abb. 2). Diese noch vorläufigen Resultate weisen darauf hin, daß im September und Oktober in Höhen oberhalb etwa 24 km die polare Stratosphäre enger an Variationen der globalen Zirkulation gekoppelt sein könnte und in deren Folge der meridionale Transport von Ozon von Jahr zu Jahr beträchtlich variieren kann.

Vergleiche der in den einzelnen Jahren beobachteten Ozonreduktionen von September bis Oktober in 70 hPa zeigen Reduktionsraten von über 2% pro Tag für die Jahre 1985, 1987 und 1992, wenn gleichzeitig in 20 hPa Höhe und darüber relativ niedrige Ozonmischungsverhältnisse gemessen werden (Abb. 2). Diese vertikale Verknüpfung läßt sich qualitativ im Rahmen eines zweidimensionalen Zirkulationsmodells mit der abwärts gerichteten Vertikalkomponente der meridionalen Restzirkulation innerhalb des stratosphärischen Vortex erklären, die durch die planetare Eddie-Aktivität in der oberen Stratosphäre und Mesosphäre angetrieben wird. Wir vermuten, daß der von Jahr zu Jahr veränderliche Abwärtstransport von Ozon innerhalb des stratosphärischen Wirbels auf diese Weise den chemisch bedingten Netto-Ozonabbau in den darunterliegenden Schichten (für 70 hPa gezeigt) beeinflussen kann.

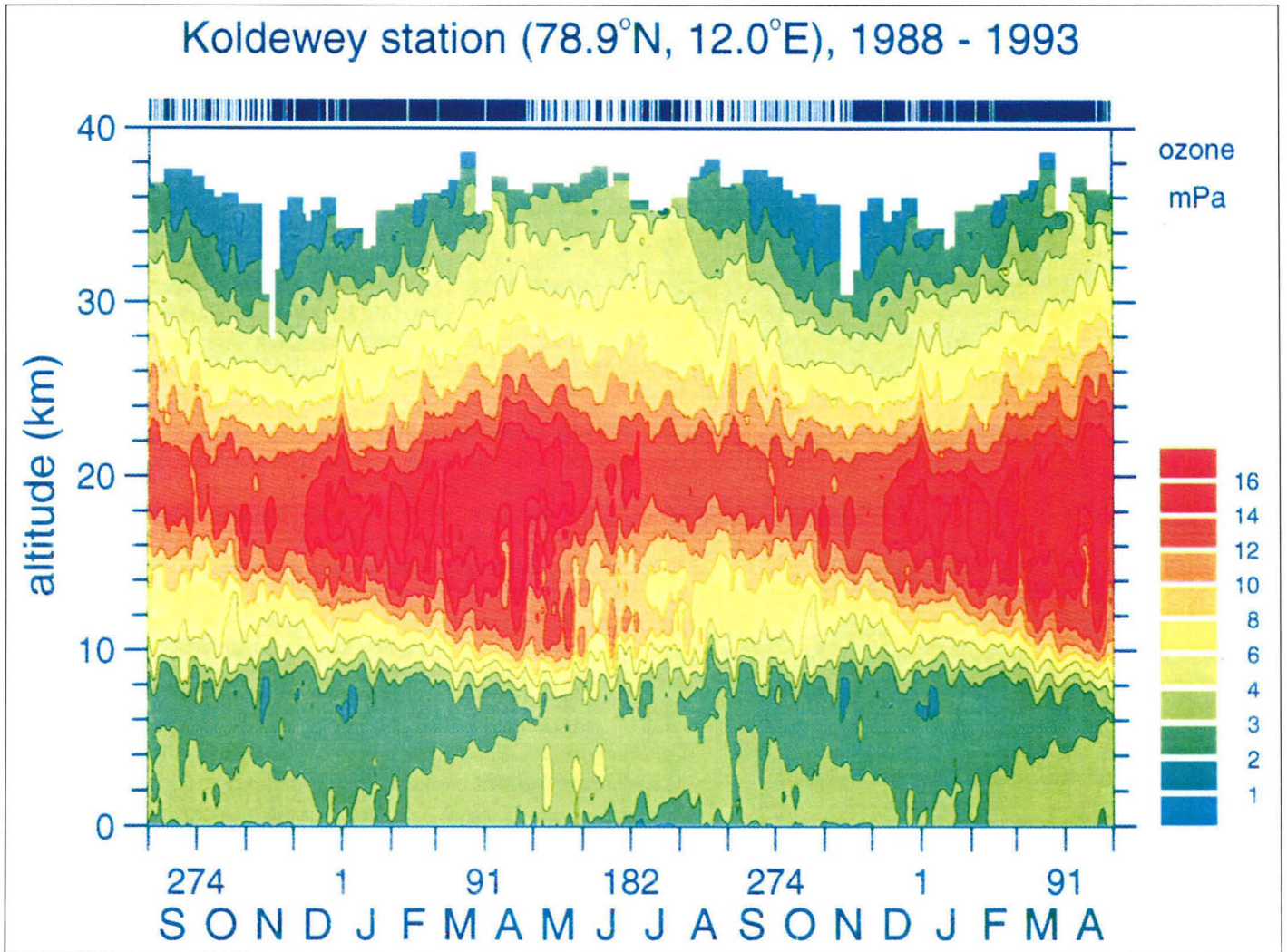


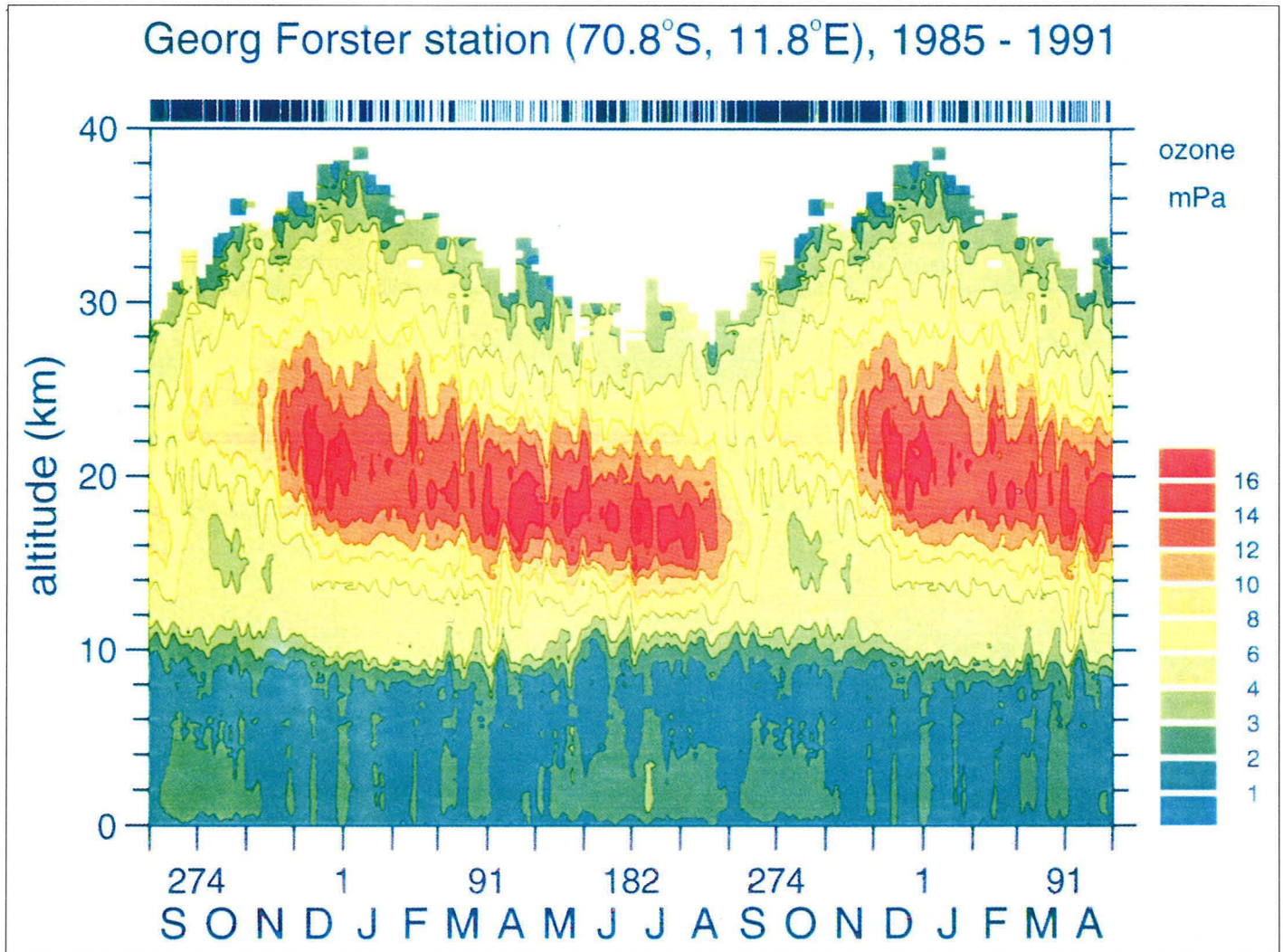
Abb. 1: Mittlerer Jahresgang der vertikalen Ozonverteilung für die Arktis aus Beobachtungen an der Station Koldewey in Ny Ålesund (oben) und für die Antarktis aus Beobachtungen an der Station Georg Forster (rechts). Um jede Jahreszeit gut darstellen zu können, ist für die Zeitkoordinate ein Zeitraum von mehr als einem Jahr, d. h. für 567 Tage, gewählt worden. Die entsprechenden Monate sind ebenfalls markiert. Als Höhenkoordinate wird die geopo-

**Ausblick**

Bei der Untersuchung langzeitiger globaler Einflüsse auf die Ozontrends in den Polargebieten stehen wir erst am Anfang. Die deutlichen Unterschiede zwischen Arktis und Antarktis im mitt-

leren Jahresgang der vertikalen Ozonverteilung deuten auch darauf hin, daß die globale atmosphärische Zirkulation in den Polarregionen unterschiedlich wirkt. Das läßt sich allerdings erst schlüssig beweisen, wenn man die Prozesse des chemisch





tentielle Höhe (km) verwendet, die Isolinien für den Ozonpartialdruck sind, farblich abgestuft, mit der Maßeinheit mPa dargestellt. Der Ozonpartialdruck wurde als Maßeinheit gewählt, um mit einer linearen Skala für die vertikale Ozonverteilung eine ausreichende Auflösung sowohl in der Troposphäre als auch in der Stratosphäre zu erreichen. Die Verteilung der Ballonsondierungen über die Jahreszeiten ist jeweils oberhalb der Diagramme angezeigt. Der Höhenbereich für die Messungen wird im Jahrgang durch die Platzpunkte der Ballone bestimmt.

bedingten Ozonabbaus in den Polarregionen quantitativ genauer verstanden hat. Unsere bisherigen Langzeitauswertungen für die Antarktis zeigen aber deutlich die Höhenabhängigkeit dieser

Einwirkungen auf die Ozonschicht in der Stratosphäre. Es bedarf weiterer Untersuchungen, um die Physik dieser Wechselwirkungen noch besser zu verstehen.

## Eisbewegung und Subglazialtopographie im Umfeld der Schirmacheroase, Ostantarktis

Antarktische Oasen sind eine augenfällige Anomalie des Inlandeises: Als Folge der Erwärmung im Holozän verringerte sich die Eismächtigkeit am Rand des antarktischen Kontinents und bestimmte Regionen wurden nicht mehr von einem Gletscher überschoben. Eisfrei gewordene Gebiete reflektieren die Sonnenstrahlung nicht so stark wie das Eis und haben daher ein

wärmeres Klima als die Umgebung. Dies führt wiederum dazu, daß angrenzende Gletscher schmelzen und die Oase sich vergrößert. Auswirkungen regionaler und globaler Erwärmung auf das antarktische Inlandeis sind daher besonders in der Umgebung von Oasen zu erwarten. Glaziologische Untersuchungen in diesen Gebieten dienen neben dem Studium der Wechselwir-



Abb. 1: Die Schirmacheroase im Dronning-Maud-Land liegt am Rande des antarktischen Inlandeises. Hier befindet sich die Georg-Forster-Station des AWI.

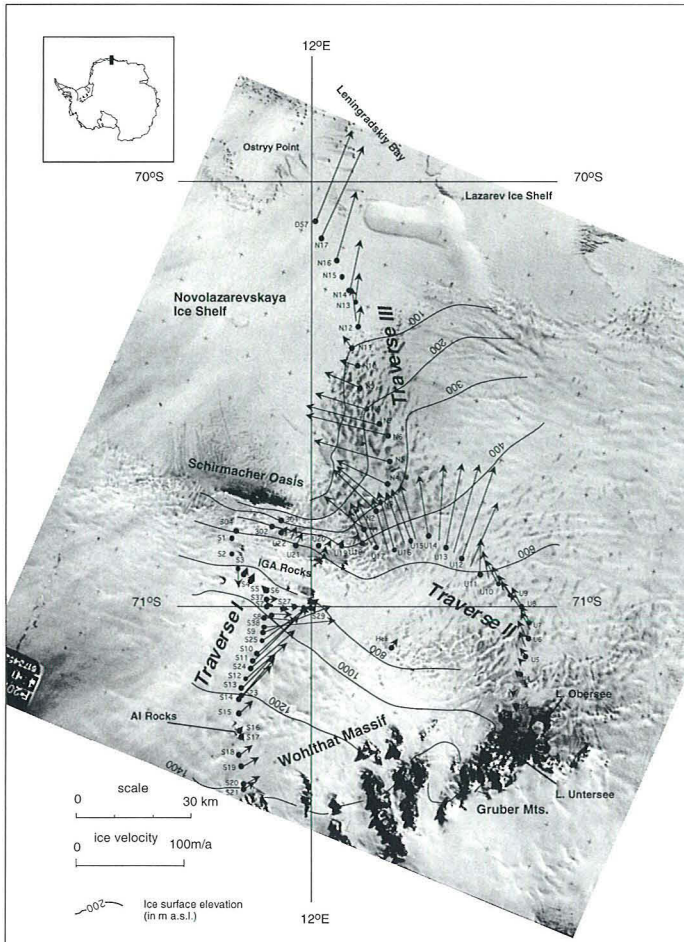


Abb. 2: Die Eisbewegung in der Umgebung der Schirmacheroase wurde auf drei Traversen bestimmt. Die beobachteten Bewegungsrichtungen stimmen gut mit den auf Satellitenaufnahmen im Bereich von Blaueiszonen erkennbaren Strukturen überein.

kung von Klima und Eisschildvolumen auch der Interpretation regionaler Daten aus Eis und Sediment der in vielen Oasen anzutreffenden Seen.

Die Schirmacheroase, in der auch die Georg-Forster-Station liegt (Abb. 1), war seit 1976 das wichtigste Untersuchungsgebiet ostdeutscher Polarforschung. Nachdem zunächst die Zugänge in das südlich der Oase gelegene Wohlthatmassiv erschlossen

worden waren, begannen Ende der 80er Jahre regelmäßige Untersuchungen der Eisbewegung und des Massenhaushaltes der Gletscherregion. Mit klassischen geodätischen Verfahren wurden wiederholt Signalkoordinaten entlang der Traversen bestimmt und daraus die Eisbewegung an der Gletscheroberfläche abgeleitet. Die glaziologischen Traversen sind an ein Festpunktnetz zwischen Schirmacheroase und Wohlthatmassiv angeschlossen, das Nunatacker einbezieht. 1991/92 und 1993 wurden die Signale zusätzlich mit GPS (Global Positioning System, ein satellitengestütztes Ortungsverfahren) vermessen. Die beobachteten Eisbewegungen von bis zu 100 m pro Jahr stimmen in ihrer Richtung mit Strukturen überein, die auf Satellitenaufnahmen, insbesondere in Ablationszonen, gut zu erkennen sind (Abb. 2).

1991/92 erfolgten auf allen drei Profilen Radar-Eisdickenmessungen. Große Eismächtigkeiten sind allgemein mit hohen Bewegungsbeträgen korreliert (vgl. Abb. 3A und B, Profilkilometer 0 bis 60). Die Gletscherfließbewegung ist stark durch die morphologische Struktur des Felsuntergrundes beeinflusst. Detailliertere Kartierungen des Subglazialreliefs nördlich der Gruberberge ergaben, daß der Untersee, der größte See im Dronning-Maud-Land, vom angrenzenden Anuchingletscher aufgestaut ist.

Auf den untersuchten Profilen wurden Akkumulation bzw. Eisabtrag an der Gletscheroberfläche durch Pegelbeobachtungen (Abb. 3C) und ergänzend das  $\delta^{18}\text{O}$ -Muster der oberflächennahen Schnee- bzw. Eisschicht (Kernlängen: 1–5 m) ermittelt.

Südöstlich der Schirmacheroase vereinigen sich zwischen den Signalen U11 und U12 der Traverse II (Abb. 2) der von Traverse I zwischen den Nunatackern IGA Rocks und AI Rocks gequerte Eisstrom und ein die Gruberberge östlich umfließender Abfluß des Wegener-Inlandeises. Die Lage beider Eisströme ist offenbar durch die Subglazialtopographie bestimmt (Abb. 3A). Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der oberflächennahen Schicht der beiden Eisflüsse zeigen deutliche Unterschiede. Die Daten liegen in den für die Höhenlage des jeweiligen Depositionsgebietes typischen Bereichen. Der westliche Eisstrom (Gebiet 1 in Abb. 3D) erhält Schneezutrag im Gebiet südlich der Schirmacheroase (Höhen um 1100 m ü. NN), der östliche wird in der Region südöstlich der Gruberberge (1600 bis 2000 m ü. NN) genährt.

Der Übergang vom Inlandeis zum Novolazarevskaya Schelfeis (zwischen Signal N11 und N12 auf Traverse III) ist durch eine deutliche Änderung der Fließrichtung des Gletschers gekennzeichnet. Auf dem Satellitenbild sind Inland- und Schelfeis gut zu unterscheiden.

Die Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Institut für

## Umweltgeschichte der kontinentalen Ostantarktis – aufgezeichnet in Seesedimenten

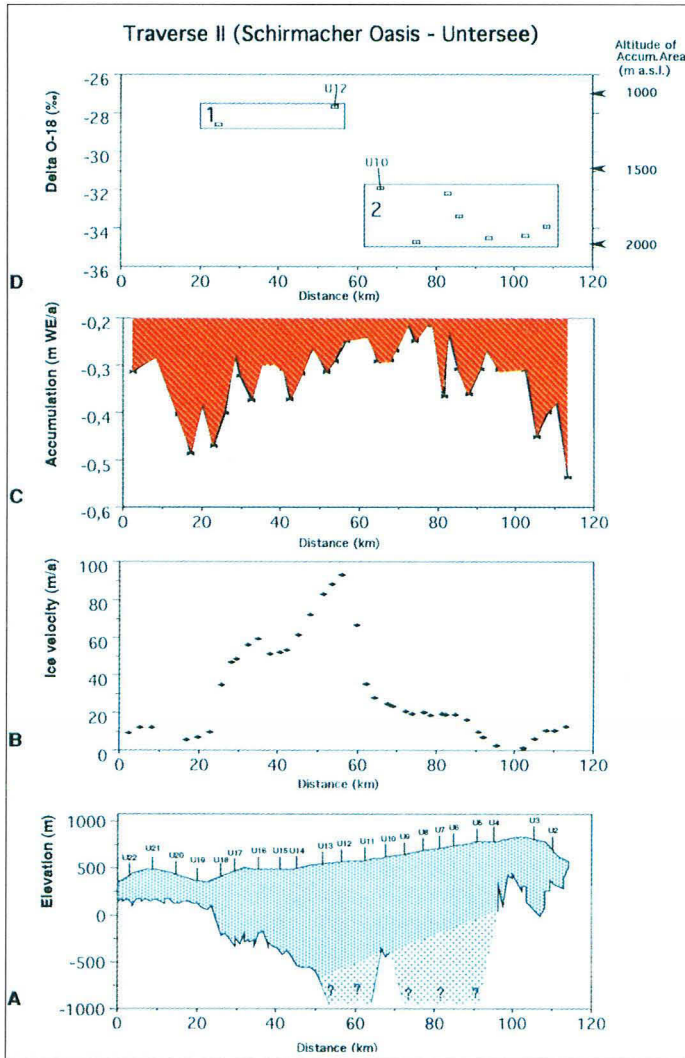


Abb. 1: Zwischen der Schirmacheroase und dem Untersee (Gruberberge) überquert Traverse II in einem Ablationsgebiet (C) zwei Eisströme mit unterschiedlicher Fließgeschwindigkeit (B). Radar-Eisdicken-Messungen (A) zeigen, daß diese Eisabflüsse durch subglaziale Strukturen voneinander getrennt sind. Deutlich unterscheidet sich das Eis der Gletscheroberfläche beider Ströme in seinen  $\delta^{18}\text{O}$ -Werten (D).

Planetare Geodäsie der Technischen Universität Dresden und dem Arktischen und Antarktischen Forschungsinstitut St. Petersburg.

In einigen eisfreien Gebieten Antarktikas, die als Oasen bezeichnet werden, gibt es Seen. Die Sedimentschichten an ihrem Grund enthalten chronologisch geordnete Informationen über die Landschafts- und Umweltentwicklung der kontinentalen Randgebiete Antarktikas seit dem späten Pleistozän. Im atlantischen Sektor der Ostantarktis sind größere Seen bisher nur aus der Schirmacheroase (71°S, 11°E) und dem ca. 100 km südöstlich davon gelegenen Wohlthatmassiv (Gruberberge, Humboldtgebirge) bekannt (Abb. 1). Ihre Größe reicht von wenigen Hektar bis zu 11 km<sup>2</sup>, die maximale Wassertiefe von einigen Metern bis ca. 150 m. Hinsichtlich ihrer Einbindung in die umgebende Landschaft und Entstehung lassen sich folgende Seentypen unterscheiden:

1. Binnenseen. Sie sind umgeben von unvergletschertem Permafrostgebiet (Abb. 3).
2. Eisrandseen bzw. eisgedämmte Seen. Diese befinden sich in unmittelbarem Kontakt mit Gletschereis.
3. Epischelfseen. Sie liegen im Grenzbereich zwischen Küstenoase und vorgelagertem Schelfgletscher. Man kann sie auch als durch Schelfgletscher vom Ozean getrennte Meeresbuchten bezeichnen. Epischelfseen stehen mit dem Ozean in Verbindung und haben einen erheblichen Tidenhub. Sie enthalten sowohl reines Süßwasser als auch Meerwasser, das von Süßwasser überlagert wird (geschichtete Epischelfseen).

Das Schmelzwasser, das die Seen speist, trägt auch feste mineralische und gelöste Substanzen ein. Das Sedimentationsregime sowie hydrochemische Prozesse sind bisher nur ansatzweise bekannt. Im o. g. Untersuchungsgebiet beträgt der Salzgehalt der großen Wasserkörper meist deutlich weniger als 0,5 Gramm pro Liter – es handelt sich also ausschließlich um Süßwasser.

Unter den aktuellen klimatischen und glazialen Bedingungen haben die Seen vom Typ 2 und 3 ganzjährig eine bis zu 5 m mächtige Eisdecke. Die Binnenseen sind gewöhnlich im Januar–Februar eisfrei; ihre Eisdecke erreicht im Spätwinter eine maximale Mächtigkeit von ca. 2 m. In den Seen – sie sind zumeist sehr nährstoffarm – wird Kohlenstoff biologisch fixiert in

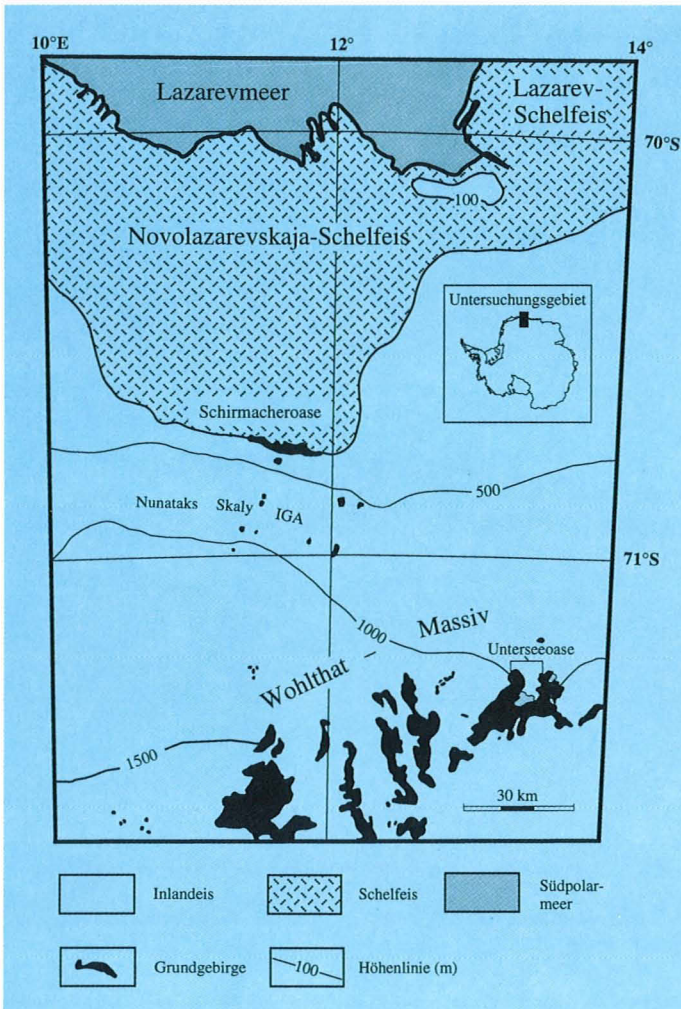


Abb. 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes im zentralen Königin-Maud-Land, Ostantarktika.

Form von Phytoplankton, Wassermoosen und mikrobiellen Matten. In die Epischelfseen ist ein (episodischer?) Eintrag von marinen Organismen zu erwarten.

Nach mehrjährigen hydrologischen und isotopehydrochemischen Untersuchungen der Gewässer im Gebiet Schirmacheroase-Wohlthatmassiv wurden im Südsommer 1991/92 erstmals im Rahmen einer deutsch-russischen Kooperation Seesediment-

Kerne gewonnen (Abb. 3). An den einzelnen Probenahmestationen wurden recht unterschiedliche Sedimentabfolgen erbohrt (Abb. 4): Bis 2 m mächtige laminierte Algenablagerungen, Wechsellagerungen von sandig-siltigem Material (häufig mit organischer Substanz) sowie grobkörnigeres Material.

Die Sedimente einiger Seen sind deutlich geschichtet (Jahresschichten?). An der Basis der Lockersedimente treten häufig stärker verfestigte Sedimente auf, die zunächst generell als Moränenmaterial gedeutet wurden. Mittlerweile sprechen verschiedene Befunde wie erhöhte Gehalte an organischem Kohlenstoff, die  $^{14}\text{C}$ -Altersdaten und für limnisches organisches Material charakteristische  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte dafür, daß es sich bei den „Grundmoränen“ in einigen Fällen um alte Seeablagerungen handelt, die von späteren Gletschervorstößen wieder überfahren, dabei jedoch nicht ausgeräumt, sondern durch die Eisauflast verdichtet worden sind.

Inzwischen liegt ein detailliertes Bild über die Schwankungen der Gehalte organischen und anorganischen (karbonatischen) Kohlenstoffs in den Sedimentprofilen vor. Danach reicht das

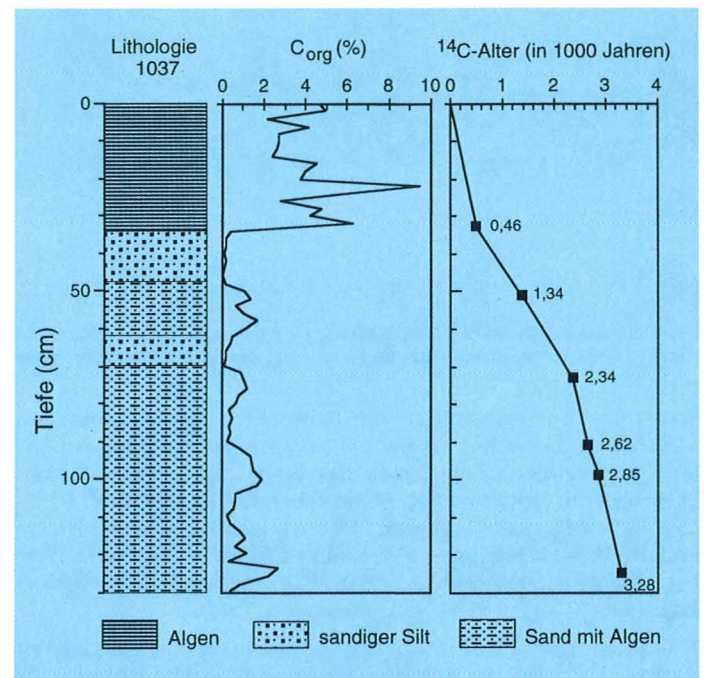


Abb. 2: Sedimentausbildung, Gehalte an organischem Kohlenstoff ( $C_{\text{org}}$ ) und Radiokohlenstoffalter im Binnensee Dlinnoye, Schirmacheroase.

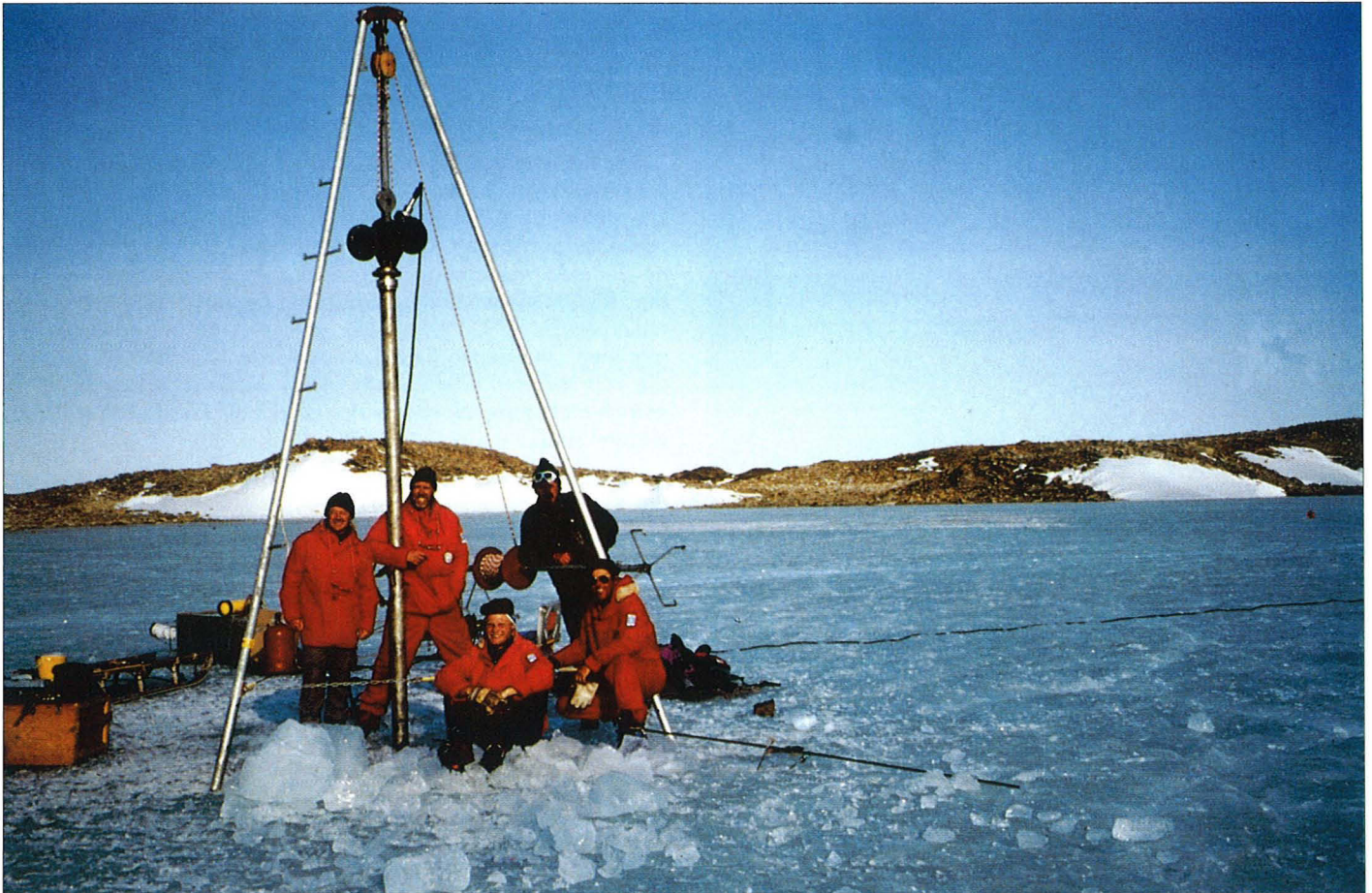


Abb. 3: Vibrationskernbohrgerät im Einsatz auf dem Binnensee Zub in der Schirmacheroase.

Spektrum von Sedimenten, die nahezu frei von organischem Material sind, bis hin zu fast rein organogenen Ablagerungen (laminierte Algenablagerungen des Sees Zub in der Schirmacheroase) mit Höchstwerten organischen Kohlenstoffs von 16 %. Die Karbonatgehalte variieren in einem vergleichbaren Bereich, und vielfach ist eine gute Korrelation zwischen den Konzentrationen organischen und karbonatischen Kohlenstoffs zu bemerken.

Die zeitliche Einordnung der erbohrten Sedimentprofile ist wichtig. Das Alter der untersten Lockersedimentschicht ist z. B. ein Anhaltspunkt dafür, wann das betreffende Areal bei einer Erwärmung letztmalig eisfrei war. Für das atlantische Randgebiet

Ostantarktikas gab es dafür bislang keine durch Messungen belegte Angaben. Auf Grund des Vorhandenseins organischen Kohlenstoffs sowie des zu erwartenden Altersbereichs wurde die Radiokohlenstoffmethode ( $^{14}\text{C}$ -Altersbestimmung) angewendet.

Die bisher durchgeführten 60 Datierungen belegen, daß der größte Teil der untersuchten Binnenseen der Schirmacheroase im Holozän – überwiegend im Zeitraum zwischen 7.000 und 3.000 Jahren vor heute – entstanden ist. Ein Beispiel dafür ist der See Dlinnoye (Abb. 2). In den tiefsten erbohrten Profilabschnitten von zwei Seen der Schirmacheroase jedoch gab es überraschend hohe  $^{14}\text{C}$ -Alter, zwischen 20.000 und 35.000 Jahren, die die Existenz von Seen während des späten Pleistozäns (Intersta-

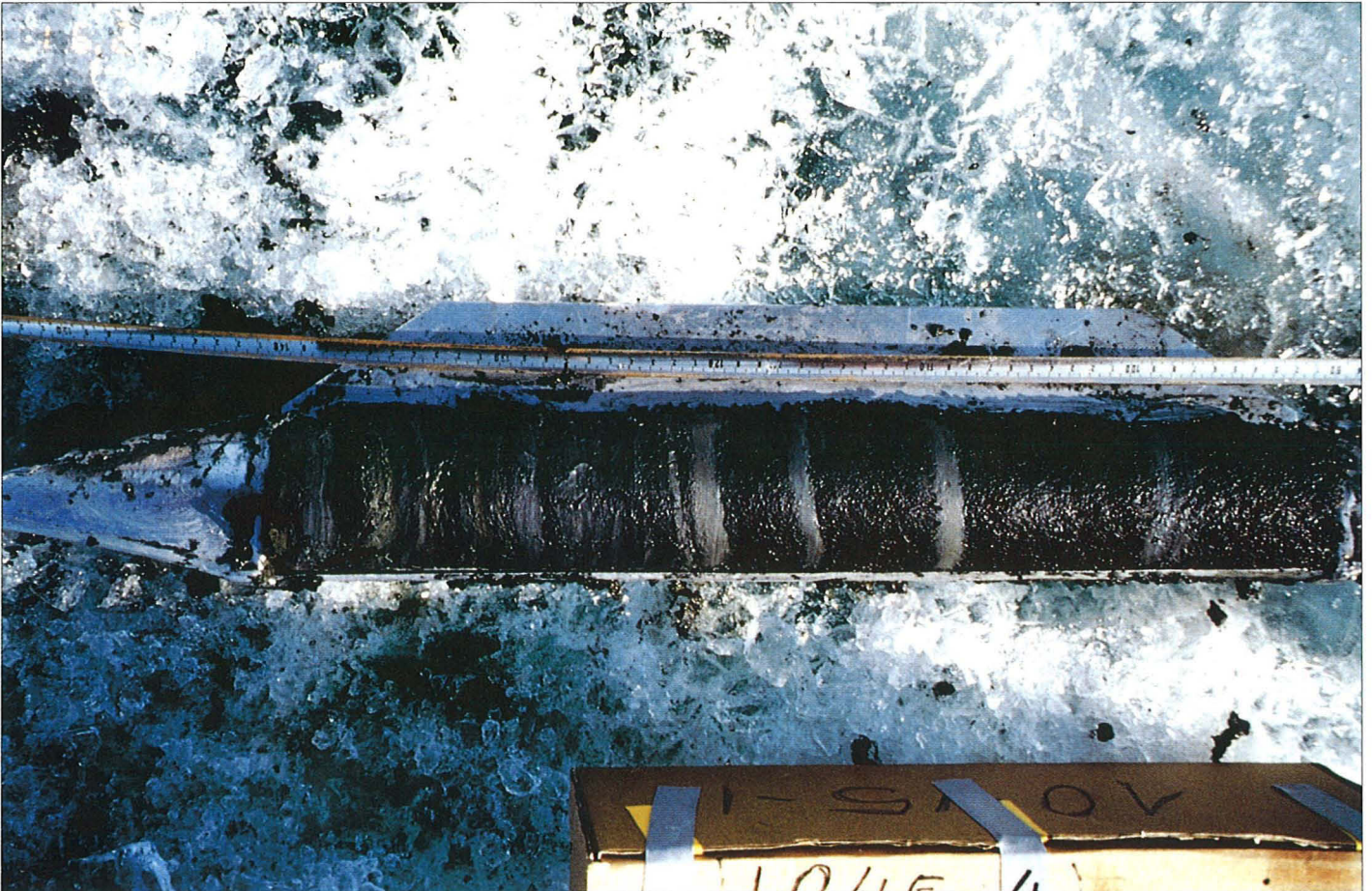


Abb. 4: Kernsegment aus einem Binnensee (Diatomovoye) der Schirmacheroase, das eine Wechsellagerung organogener Ablagerungen (Algen) und feinkörnigen klastischen Materials zeigt.

dial C?) belegen. Das würde bedeuten, daß auch während der letzten, etwa 100.000 Jahre während globalen Kaltzeit, erhebliche Änderungen der Eisbedeckung Ostantarktikas eingetreten sind mit entsprechenden Konsequenzen für das globale System Ozean–Atmosphäre–Kryosphäre.

Als problematisch erwiesen sich die  $^{14}\text{C}$ -Datierungen von Sedimenten aus eisgedämmten Seen, wie z. B. aus dem Untersee: Die obersten 2 cm eines Kernes aus einem mit Faulschlamm gefüllten lokalen Becken ergaben bereits ein  $^{14}\text{C}$ -Modellalter von 11.620 Jahren, die Kernbasis von 20.960 Jahren bei einer stetigen Zunahme des  $^{14}\text{C}$ -Alters mit der Sedimenttiefe. Nach

dem gegenwärtigen Kenntnisstand wird dies als Ausdruck eines sehr hohen „Reservoir-effektes“, d.h. eines  $^{14}\text{C}$ -Defizits des gelösten anorganischen Kohlenstoffs im Seewasser, interpretiert. Dieses Defizit wird wahrscheinlich verursacht durch den Eintrag von  $^{14}\text{C}$ -armen bis -freien  $\text{CO}_2$  aus dem Jahrtausende alten Gletschereis, das den See begrenzt und ihn, überwiegend unterhalb der permanenten Eisdecke, mit Schmelzwasser versorgt. Unter der Annahme eines konstanten Reservoir-effektes von ca. 11.000 Jahren (um diesen Betrag wären die gemessenen Alterswerte zu reduzieren), entstand der Untersee wahrscheinlich im späten Pleistozän, d. h. vor rund 10.000 Jahren.

## Das antarktische Meereis und seine Verbreitung in geologischer Vorzeit - Rekonstruktion und Modellierung

Das antarktische Meereis, dessen Verbreitung heute ausgeprägten jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt (Verbreitung im Winter ca. 20 Mio. km<sup>2</sup>, im Sommer ca. 4 Mio. km<sup>2</sup>), gehört zu den bedeutenden Komponenten auf unserer Erde, die in enger Wechselbeziehung mit dem globalen Klimageschehen stehen. Es wird vermutet, daß Meereis und die Änderungen seiner Ausbreitung zu den Faktoren gehören, die in Folge von Rückkopplungseffekten zu rasch verlaufenden drastischen Klimaänderungen führen, wie sie in der geologischen Vergangenheit beobachtet werden. Grund dafür ist, daß Ausdehnungsänderungen des antarktischen Meereises in kurzen Zeiträumen erfolgen können und dabei auf eine Reihe klimarelevanter Faktoren einwirken, und zwar auf

- a) den Wärmehaushalt der Erde (Eis-Albedo-Rückkoppelung),
- b) den Wärmeaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre und damit den Wasserdampfgehalt der Atmosphäre (Auswirkung auf Wolkenbildung und Niederschlagsmengen),
- c) den Gasaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre (u. a. Austausch des Treibhausgases CO<sub>2</sub>),
- d) den Salzfluß in den tiefen Ozean und damit die Bildung von Tiefen- und Bodenwassermassen (Wassermassendynamik),
- e) die atmosphärische Zirkulation (Veränderungen von Windgeschwindigkeiten bis in niedere geographische Breiten) und
- f) die biologische Aktivität in der Wassersäule (u. a. Primärproduktion und daran gekoppelt den Austausch des Treibhausgases CO<sub>2</sub>).

Wegen der Bedeutung, die das Meereis im komplexen Steuerungssystem des Erdklimas besitzt, ist es wichtig, diesen Faktor auch bei der Rekonstruktion der klimatischen Entwicklung in der geologischen Vorzeit zu berücksichtigen. Paläoklimatische Rekonstruktionen stellen einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der Klimadynamik aber auch zur Überprüfung und Entwicklung von Klimamodellen dar.

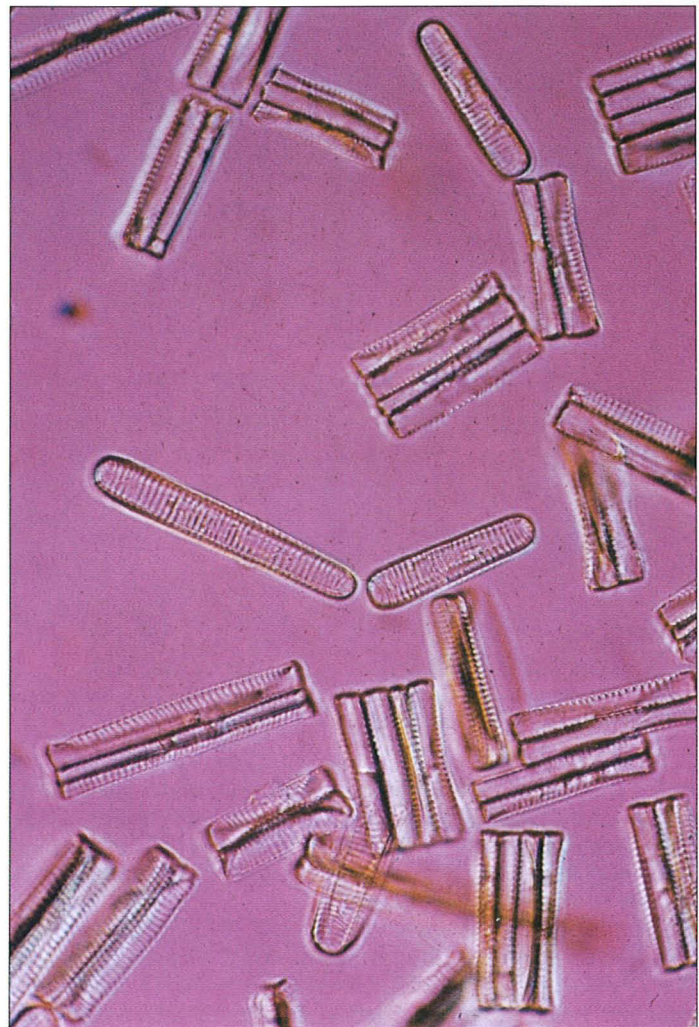


Abb. 1: Die Kieselalge *Nitzschia curta* in einer Meereisprobe. Sie ist ein Indikator für Meereis.



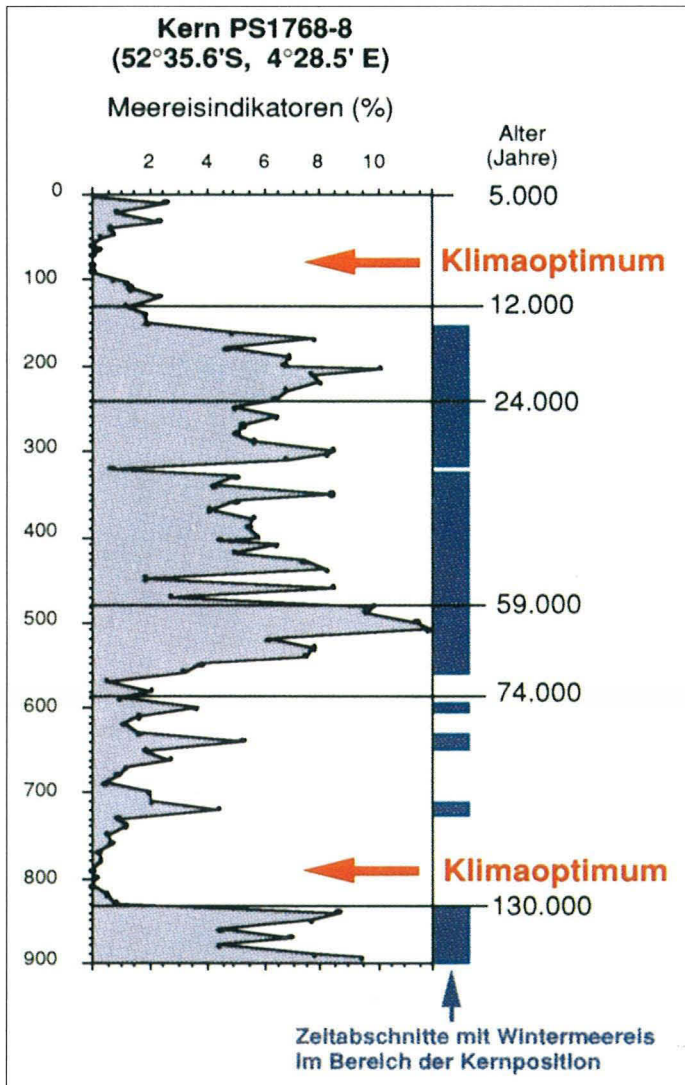


Abb. 2: Häufigkeitsveränderungen der Meereisindikatoren *Nitzschia curta* und *N. cylindrus* in Sedimentkern PS1768-8 und daraus abgeleitete Zeitabschnitte, an denen die Kernposition von Wintermeereis bedeckt war. PS1768-8 stammt aus dem Bereich der heute ganzjährig meereisfreien antarktischen Zone südlich der Polarfront (s. a. Abb. 3).

Bislang konnte die Meereisverbreitung in geologischer Vorzeit nur ungenau abgeschätzt werden. Neue Untersuchungen an Meereisproben, Sinkstoff-Fallenmaterial sowie Oberflächensedimenten und Sedimentkernen, welche während verschiedener Expeditionen mit FS „Polarstern“ im atlantischen Sektor des Südpolarmeeres gewonnen worden sind, führten zur Definition von Indikatoren für die Verbreitung des Meereises in geologischer Vorzeit.

Dabei handelt es sich um die Gehäuseteile bestimmter Diatomeenarten (Kieselalgen), die auch heute verbreitet und in hoher Anzahl im antarktischen Meereis und seinen Bildungsräumen vorkommen (*Nitzschia curta*, *Nitzschia cylindrus*, Abb. 1). Die kieseligen Gehäuse der Diatomeen sinken zum Meeresboden ab und können als Meereisindikatoren in den Sedimenten überliefert werden. Untersuchungen mit Sinkstoff-Fallen, bei denen der Fluß von Diatomeen aus der Deckschicht des Ozeans zum Meeresboden gemessen wird, zeigen, daß der Hauptfluß der Meereisindikatorarten in das Sediment allerdings nicht während Zeiten mit Meereisbedeckung auftritt. Er findet während des antarktischen Sommers statt, wenn die Diatomeen nach Abschmelzen des Eises und ihrer Freisetzung in das offene Wasser in größerer Menge wachsen.

Die Meereisindikatoren stellen im Verbreitungsgebiet des Wintermeereises 3–50% der im Oberflächensediment überlieferten Diatomeenvergesellschaftungen. Ihre Häufigkeitsverteilung in Ablagerungen der geologischen Vorzeit, die in Sedimentkernen dokumentiert sind, zeigt deutliche Schwankungen im Wechsel der Warm- und Kaltzeiten. Diese können als Anzeiger für Änderungen der Wintermeereisausbreitung gedeutet werden (Abb. 2). Dabei zeigen die Ergebnisse aus dem östlichen atlantischen Sektor des Südpolarmeeres, daß die Wintermeereisgrenze während früherer Kaltzeiten ca. 5–7 Breitengrade gegenüber heute nach Norden verschoben war, während sie zur Zeit klimatischer Optima (u. a. um 9.000 und 125.000 Jahre vor heute) weiter südlich lag (Abb. 3).

Simulationen der Meereisschwankungen während früherer geologischer Epochen mit gekoppelten Modellen des Atmosphäre-Ozean-Meereis Systems sind zur Zeit noch nicht realistisch durchführbar. Untersuchungen mit einem dynamisch-thermodynamischen Meereismodell, das Meereis als plastischen Festkörper betrachtet, der von Wind und Ozeanströmungen bewegt und deformiert sowie von Wärmequellen verkleinert oder vergrößert wird, haben aber gezeigt, daß bei Vorgabe kälterer (Kalt-

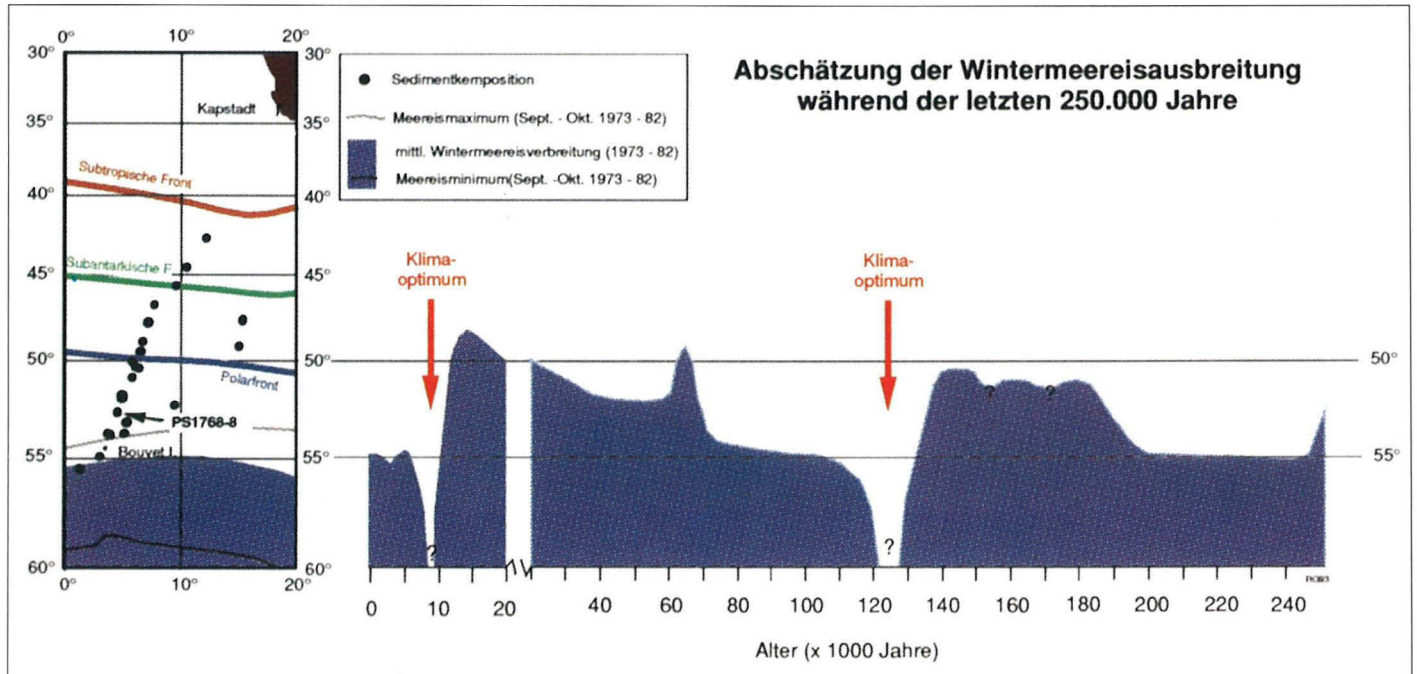
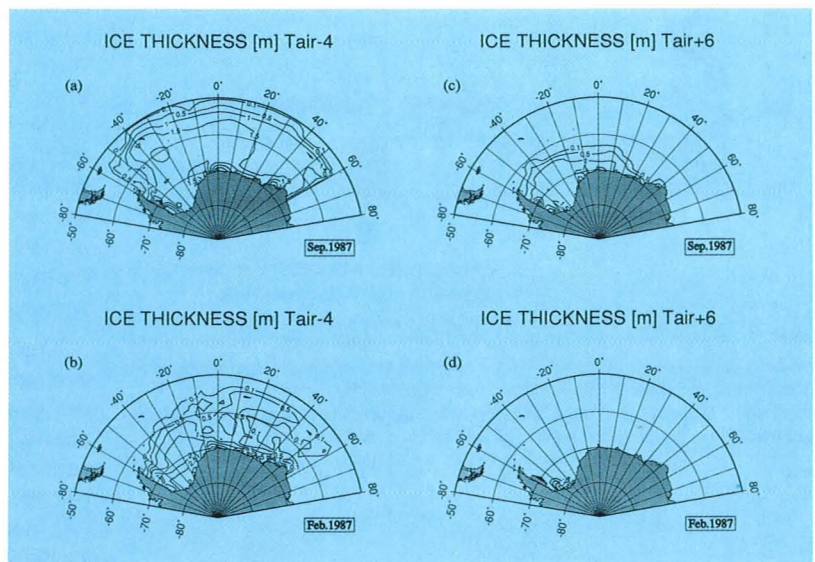


Abb. 3: Abschätzung der Änderungen der Verbreitung des Wintermeereises während der letzten 250.000 Jahre im östlichen atlantischen Sektors des Südpolarmeeres gestützt auf die Diatomeenanalyse an Sedimentkernen (u. a. Kern PS1768-8 s. Abb. 2).

zeit bzw. wärmerer (warmzeitliches Klimaoptimum) Lufttemperaturen ähnliche Meereisgrenzen simuliert werden, wie sie bei der Rekonstruktion mit Hilfe der Diatomeen abgeleitet werden können (Abb. 4). Meereismodelle werden zur Zeit durch Vergleich mit aktuellen Daten optimiert und verifiziert. Meereisverbreitungsdaten aus der geologischen Vorzeit ermöglichen es, das Verhalten des Meereises im Klimasystem unter Bedingungen zu untersuchen, die sich von den heutigen unterscheiden. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Weiterentwicklung von realistischen Paläo-Meereismodellen.

Abb. 4: Beispiel einer Meereismodellierung. Angegeben sind Eisdicken und Eisverbreitung für die Monate September (Winter) und Februar (Sommer) bei einer Änderung der Lufttemperatur um +6°C bzw. um -4°C gegenüber dem Standardlauf. Dies wurde exemplarisch, gestützt auf die Verbreitungsdaten von 1986 und 1987, durchgeführt.



## Kalt- und Warmzeiten im Südatlantik anhand benthischer Foraminiferen

Die Sedimente am Boden der Ozeane enthalten eine Fülle von Informationen über die Geschichte globaler Umweltveränderungen, d. h. über die Klimageschichte der Erde. In Sedimentproben finden sich die fossil erhaltungsfähigen Hartteile von einzelligen Mikroorganismen. Diese pflanzlichen und tierischen

Einzeller bauen ihr Gehäuse oder ihr Skelett den sie umgebenden Umweltbedingungen entsprechend auf. Überdies können nur bestimmte, an die Umwelt angepasste Arten existieren. Mikrofossilien archivieren so lokale, regionale und globale Umweltsignale direkt über die Speicherung in ihren Hartteilen und indirekt über die charakteristische Artenzusammensetzung.

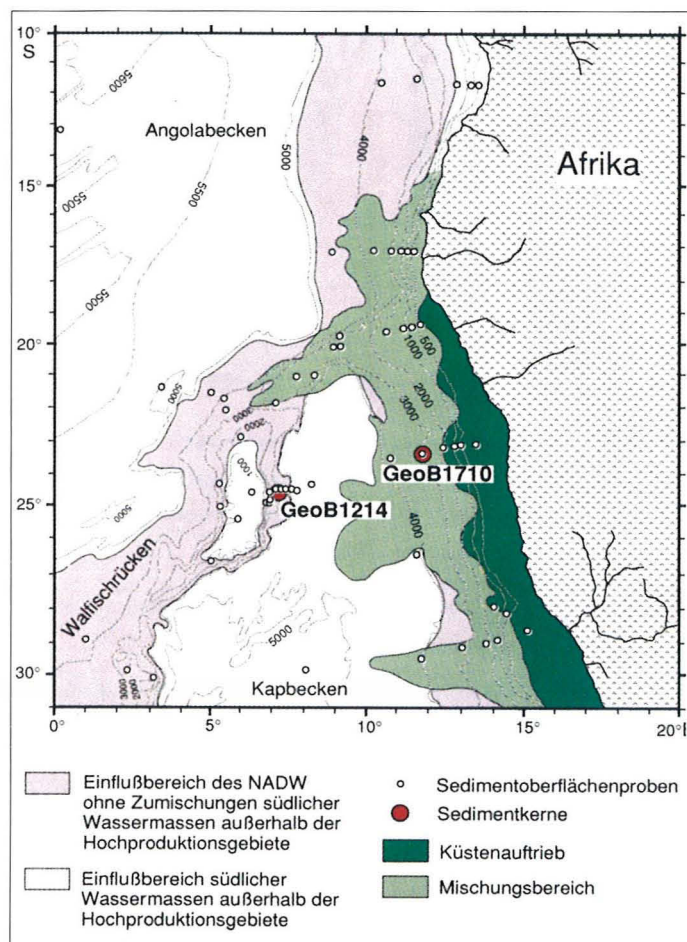


Abb. 1: Das Arbeitsgebiet im östlichen Südatlantik mit unterschiedlichen Hochproduktionsgebieten (grüne Flächen) sowie dem Einflußbereich nordatlantischer und antarktischer Wassermassen.

Eine fossil seit dem Erdaltertum gut dokumentierte Gruppe mariner Einzeller, die benthischen Foraminiferen, lebt in der Regel auf dem Sediment (epibenthisch), aber auch bis zu mehreren Zentimetern unterhalb der Sedimentoberfläche (endobenthisch). Die Artenzusammensetzung einer benthischen Foraminiferenfauna hängt wesentlich von den physikochemischen Eigenschaften des sie umgebenden Bodenwassers sowie der Höhe und Art der Nahrungszufuhr ab. Letztere wird in erster Linie von der Primärproduktion in der durchlichteten Zone des Oberflächenwassers gesteuert. Ein Teil des dort produzierten organischen Materials sinkt durch die Wassersäule zu den benthischen Foraminiferen ab und steht partikulär oder in gelöster Form als Nahrung zur Verfügung. Letzteres spielt vor allem im Porenwasser der Sedimente eine Rolle. Besonders hohe Anteile endobenthischer Arten an der Gesamtfaua spiegeln erhöhte Nahrungszufuhr aus dem Pelagial wider. Gleichzeitig geht die Prägung der Fauna durch die an die Bodenwassermasse gekoppelten Umweltbedingungen stark zurück.

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 261 „Der Südatlantik im Spätquartär: Rekonstruktion von Stoffhaushalt und Stromsystemen“ und in Kooperation mit der Universität Bremen wurden 60 Proben von der Sedimentoberfläche sowie zwei spätquartäre Sedimentkerne aus den Bereichen des Walvisgrubens, des Kap- und Angolabekens sowie des südwestafrikanischen Kontinentalhanges hinsichtlich ihrer benthischen Foraminiferenfauna untersucht (Abb. 1).

Der östliche Südatlantik zeigt in hydrographischen Schnitten eine ausgeprägte Schichtung der Wassersäule. Während die unterschiedlichen Klimazonen sowie atmosphärische Druckgradienten und die daraus resultierenden Winde im wesentlichen die Eigenschaften und Strömung des oberflächennahen Wassers bestimmen, geht die Bildung und globale Verteilung des Tiefen- und Bodenwassers auf thermohaline Prozesse zurück, die in den Polarregionen der Nord- und Südhemisphäre ablaufen. Die dort

gebildeten Wassermassen strömen in die tiefen Ozeanbecken ein und sorgen für einen Wasseraustausch der Weltmeere. Im westlichen Südatlantik lagert sich das von Süden herangeführte antarktische Bodenwasser (AABW) unter das aus dem Norden stammende nordatlantische Tiefenwasser (NADW). Auch im Kapbecken des östlichen Südatlantiks schiebt sich NADW über Tiefenwasser antarktischer Herkunft. Das nördlicher gelegene Angolabecken wird jedoch bis zum Grund durch NADW ausgefüllt; nur über tiefe Bruchzonen im äquatorialen mittelatlantischen Rücken kommt aus den westlichen südatlantischen Becken bis zu 20% AABW, das dann das untere NADW modifiziert. Das Arbeitsgebiet ist so durch Wassermassen unterschiedlicher Herkunft geprägt (Abb. 1).

Bedeutsam sind zudem Unterschiede in der Primärproduktion im Oberflächenwasser. In dem Arbeitsgebiet lassen sich im wesentlichen zwei Bereiche unterscheiden (Abb. 1):

- Ein ozeanisches Regime im Südwesten mit niedriger Primärproduktion (etwa  $30\text{--}70\text{ g C m}^{-2}\text{ Jahr}^{-1}$ ). Daran schließt im Norden, als Folge des Kongo-Ausstromes, ein Gebiet mit erhöhter Primärproduktion (etwa  $90\text{--}120\text{ g C m}^{-2}\text{ Jahr}^{-1}$ ) an.

- Ein Regime des Küstenauftriebs im Südosten und eines westlich angrenzenden Mischungsbereiches mit sehr hoher Primärproduktion (über  $125\text{--}180\text{ g C m}^{-2}\text{ Jahr}^{-1}$ ). Der Küstenauftrieb wird durch Passatwinde ausgelöst, die das oberflächennahe warme und nährstoffarme Wasser seewärts treiben. Zum Ausgleich steigt in der Folge kaltes und mit Nährstoffen angereichertes Wasser aus 200 bis 400 m Wassertiefe in die durchlichtete Zone empor. Dies führt zu hohen Primärproduktionsraten, die den Fischreichtum dieser Region mitbegründen.

Die heutige Verbreitung benthischer Foraminiferenfaunen im Arbeitsgebiet zeigt nur einen geringen Einfluß des Tiefen- und Bodenwassers. Sie wird wesentlich über die Höhe der Nahrungszufuhr gesteuert. Im Einflußbereich des küstennahen Auftriebs und seines Mischungsbereiches dominieren charakteristische Hochproduktionsfaunen mit hohen Anteilen endobenthisch lebender Arten. Die Anpassung an verschiedene Wassermassen ist schwach ausgeprägt. Nur in den nährstoffarmen Bereichen des Walfischrückens ist ein deutlicher Bezug zur Schichtung der Wassermassen herzustellen. Hierbei sind insbesondere Faunen zu erwähnen, deren Tiefenverbreitung mit dem maximalen Einflußbereich des NADW in etwa 1600 m bis 3700 m Wassertiefe zusammenfällt (siehe Abb. 1, 2).

Um Änderungen der Lebensräume während der letzten Klimazyklen zu dokumentieren und auf Änderungen möglichst nur

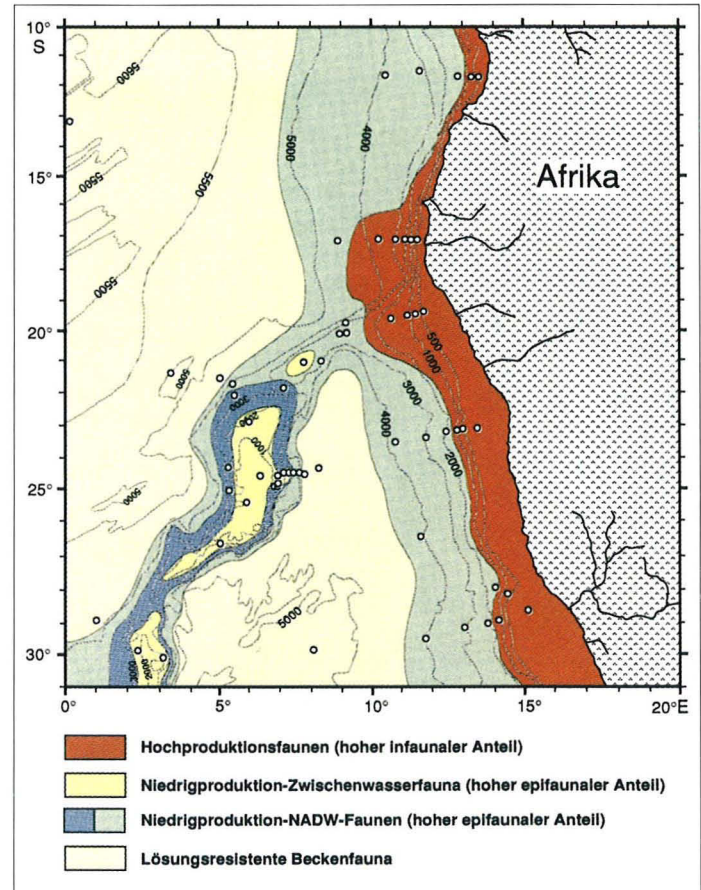


Abb. 2: Rezente benthische Foraminiferenfaunen aus Proben von der Sedimentoberfläche.

einer Hauptkomponente zurückführen zu können, wurden zwei Sedimentkerne so ausgewählt, daß beide im Einflußbereich des NADW liegen, und somit zeitliche Änderungen in der Tiefenwasserzirkulation beide Kerne gleichermaßen betreffen, sich aber im Hinblick auf die heutige Primärproduktion deutlich voneinander unterscheiden. Ein Kern wurde deshalb aus dem nährstoffarmen Regime des Walfischrückens geborgen, der andere stammt aus dem Einflußbereich des Küstenauftriebs mit hohen Flußraten organischem Kohlenstoffs. Mit den aus der Bearbeitung der Oberflächensedimente abgeleiteten Beziehungen zwischen charakteristischen Faunen und deren Umwelt wurden die in den Kernen dokumentierten spätquartären Faunenwechsel

paläozeanographisch interpretiert: Demnach hat sich das NADW innerhalb des erfaßten Zeitraumes von etwa 450.000 Jahren (450 ka) ausschließlich während der Warmzeiten bis in den östlichen Südatlantik ausgebreitet. Neben der heutigen Warmzeit (Isotopenstadium 1, 12 ka bis heute) ist in den Warm-

zeiten 9 (339 bis 303 ka) und 11 (423 bis 362 ka) der stärkste NADW-Einfluß festzustellen (Abb. 3, 4).

Bei dem Kern aus dem Einflußbereich des Küstenauftriebs sind die Kaltzeiten durch einen erhöhten Eintrag an organischer Substanz ins Sediment gekennzeichnet. Dies führen wir auf eine

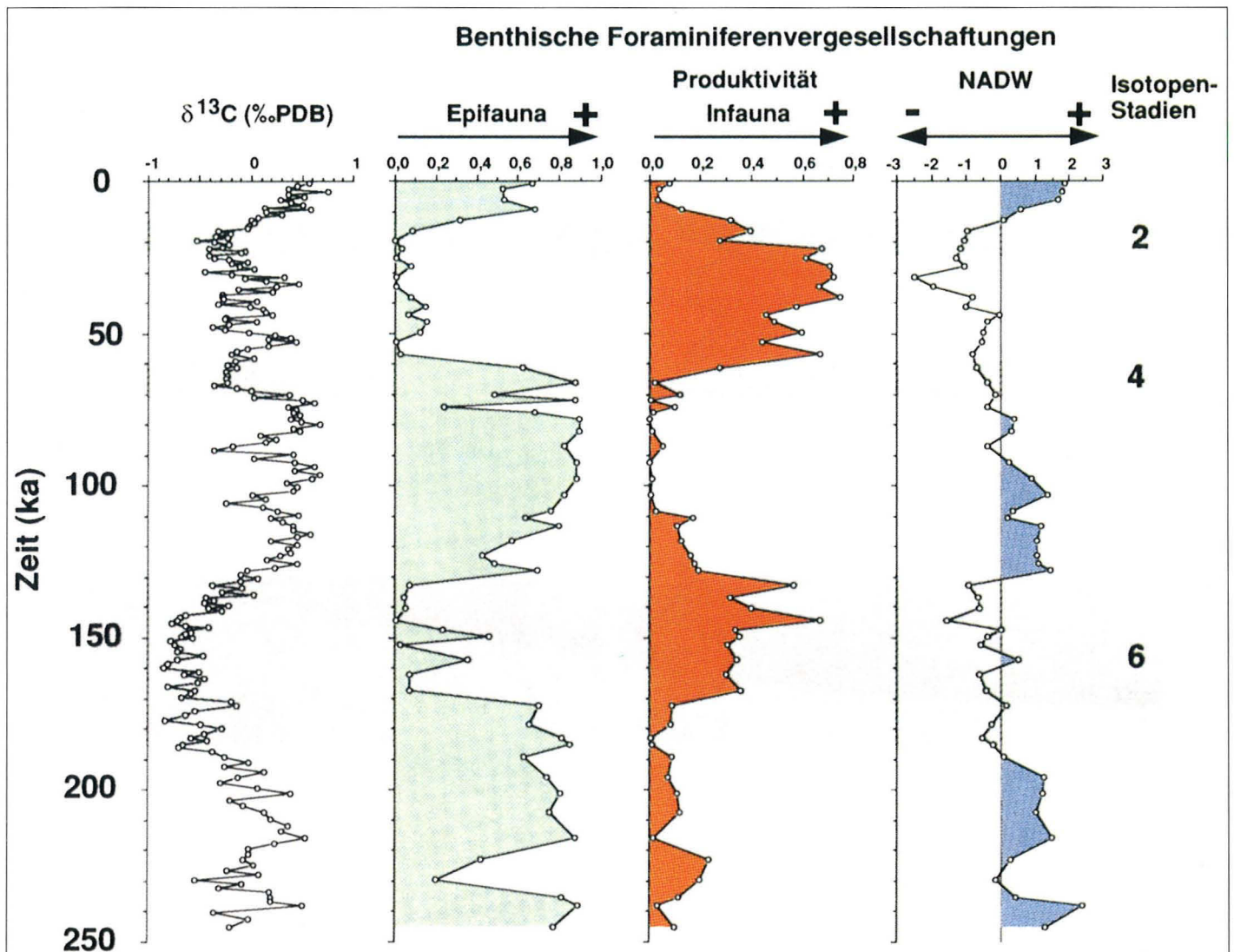


Abb. 3: Benthische Foraminiferenvergesellschaftungen und stabile Kohlenstoffisotopenverhältnisse (Bickert, unveröffentl.) als Indikatoren für Paläoumweltänderungen am südwestafrikanischen Kontinentalhang (Sedimentkern GeoB1710, 2987 m Wassertiefe) während der vergangenen 250.000 Jahre.

kaltzeitliche Intensivierung des Küstenauftriebs zurück (Abb. 3). Eine erhöhte Produktivität im Oberflächenwasser ist aber auch in den früheren Kaltzeiten 8 (303 bis 245 ka), 10 (362 bis 339 ka) und 12 (bis 423 ka) der küstenfernen Sedimente am Walfischrücken zu erkennen (Abb. 4). Während dieser Perioden gelang-

ten kalte nährstoffreiche Filamente und Wirbel aus dem Mischungsbereich des Küstenauftriebs bis in das Gebiet dieser Kernposition.

An demselben Material wurde das stabile Kohlenstoffisotopenverhältnis ( $\delta^{13}\text{C}$ -Verhältnis) im Gehäuse der benthischen For-

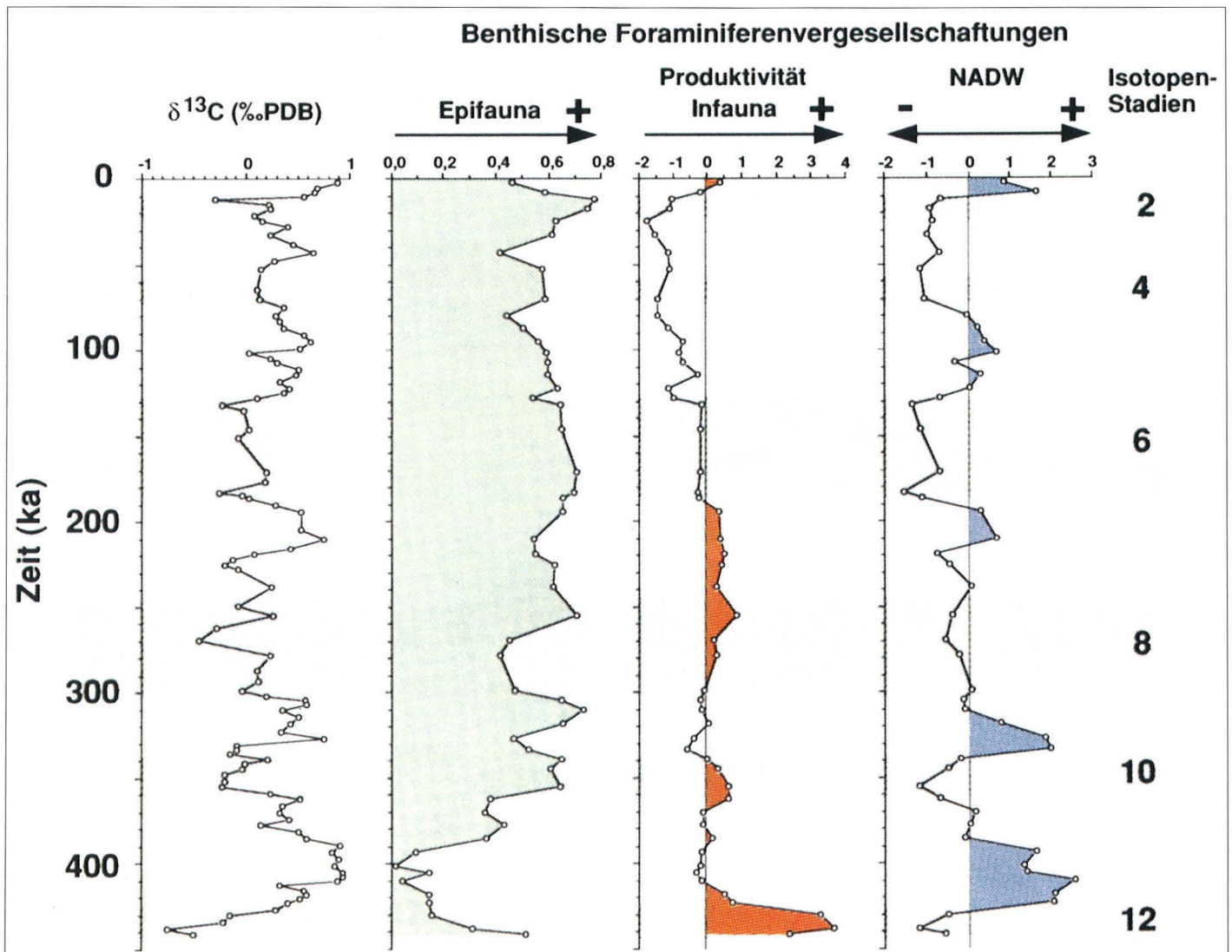


Abb. 4: Benthische Foraminiferenvergesellschaftungen und stabile Kohlenstoffisotopenverhältnisse (Bickert, unveröffentl.) als Indikatoren für Paläoumweltänderungen am Walfischrücken (Sedimentkern GeoB1214, 3210 m Wassertiefe) während der vergangenen 450.000 Jahre.

aminifere *Fontbotia wuellerstorfi* bestimmt und ausgewertet. Das  $\delta^{13}\text{C}$ -Signal dieser Art setzt sich aus lokalen, überregionalen und globalen Komponenten zusammen, die abhängig sind von Alter und Herkunft der Bodenwassermasse, der Intensität der Primärproduktion im Oberflächenwasser sowie dem Gasaustausch zwischen Oberflächenwasser und Atmosphäre und schließlich vom Kohlenstoffhaushalt der Biosphäre. In der Regel läßt sich aus dem  $\delta^{13}\text{C}$ -Verhältnis von *F. wuellerstorfi* auf das  $\delta^{13}\text{C}$ -Signal des im Meerwasser gelösten Kohlendioxid, und damit auf das Alter (die Zeit des Abschlusses von der Atmosphäre) der jeweiligen Bodenwassermasse und die Konzentration der biogen umgesetzten Nährsalze in diesem Wasserkörper am Ort der

Beprobung schließen. Je niedriger das  $\delta^{13}\text{C}$ -Verhältnis, desto älter die Wassermasse und desto höher die Nährsalzanreicherung. Die Auswertung dieses direkt im Chemismus der Foraminifere gespeicherten Signals bestätigt die unabhängig abgeleiteten Schlußfolgerungen aus der statistischen Faunenanalyse (Abb. 3, 4).

Die spätere Eingliederung unserer Daten über langfristige Schwankungen lokaler ozeanischer Strömungs- und Produktionssysteme in weltweite Modelle der Meereströmungen wird zum Verständnis globaler Klimaschwankungen und deren Auswirkungen auf die Biosphäre beitragen.

## Terrigener Sedimenteintrag im östlichen Arktischen Ozean

Die Fläche des weit ausgedehnten arktischen Meereises unterliegt ausgeprägten saisonalen Schwankungen (ca. 12–13 Mill. km<sup>2</sup> im Winter, ca. 6–7 Mill. km<sup>2</sup> im Sommer). Trotz der geringen Dicke von nur 2–5 Metern beeinflusst das Meereis 1.) den Wärme- und Gasaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre und damit den globalen Wärmehaushalt, 2.) die ozeanische Zirkulation im Weltmeer und 3.) die Sedimentationsprozesse im Arktischen Ozean. Weltweite Temperaturschwankungen, wie diese für die Zukunft prognostiziert werden, haben vermutlich einen starken Einfluß auf das gesamte System Arktis. Damit gekoppelte Veränderungen der ozeanischen und atmosphärischen Zirkulation hätten wiederum Auswirkungen auf das globale Klima.

Die klimatische und ozeanographische Entwicklung der Arktis in der jüngsten Erdgeschichte werden anhand von Sedimentmaterial aus dem arktischen Tiefseebecken sowie von angrenzenden Kontinentalhang- und Schelfgebieten rekonstruiert. Bisher weiß man wenig darüber, wie stabil die arktische Meereisdecke in der Vergangenheit war, wie lange und in welcher Form sie existiert hat. Hinweise aus Bohrkernen lassen zumindest vermuten, daß die Vereisung der Arktis vor wenigstens zehn Mio. Jahren begonnen hat. Neueste Ergebnisse aus Bohrkernen vom grönländischen Eisschild und aus Tiefseesedimenten lassen

erkennen, daß in der geologischen Vergangenheit drastische klimatische Wechsel innerhalb weniger Jahre auftraten.

Die stratigraphische Einstufung von Sedimentkernen mit unterschiedlichen Methoden (<sup>14</sup>C-Datierung, stabile Sauerstoffisotope, Verteilungsmuster verschiedener planktischer und benthischer Mikroorganismen sowie lithologische Variationen) bildet deshalb eine wichtige Basis für weitere Untersuchungen. Die daraus berechneten Sedimentationsraten sind im zentralen Arktischen Ozean im allgemeinen relativ gering. Während der letzten 15.000 Jahre bildeten sich 0,4–2,0 cm Sediment pro 1000 Jahre und im letzten Glazial (ca. 24.000–15.000 Jahre vor heute) zwischen 0,4 und 0,7 cm Sediment pro 1000 Jahre. Weitergehende Untersuchungen werden die Abschätzung von Flußraten einzelner Sedimentkomponenten sowie den Beitrag einzelner Prozesse zur Sedimentation erlauben.

Sedimentationsprozesse zu identifizieren und zu bilanzieren ist für die Untersuchung des terrigen Sedimenthaushalts des Arktischen Ozeans unerlässlich. Die verschiedenen Prozesse, die die Akkumulation von Sedimenten steuern, zeigt die Abbildung 1. Der terrigene Sedimenteintrag in das Arktische Becken und die angrenzenden Schelfgebiete wird vor allem aufgrund der mineralogischen Zusammensetzung rekonstruiert. Mit systemati-

schen mineralogischen Untersuchungen kann man regionale Mineralvorkommen in den Tiefseeablagerungen den entsprechenden Liefergebieten auf den angrenzenden Landgebieten zuordnen und dadurch Transportmechanismen, -zeiten und -wege verdeutlichen.

### Fluviatiler Transport

Vor allem die großen, in das nördliche Eismeer mündenden Flüsse tragen terrigenes Material in den Arktischen Ozean. Untersuchungen im Bereich der Lena Mündung (Laptev-See, sibirische Arktis) zeigen, daß große Mengen Sedimente fluviatiler Herkunft auf dem Schelfgebiet abgelagert, aber darüber hinaus auch zum Kontinentalhang gebracht werden. Vor allem am oberen Kontinentalhang akkumulieren große Sedimentmengen, die bei Instabilität durch Hangrutschungen und Schwereströmungen in die Tiefsee gelangen.

Große Entwässerungssysteme, die sich während der Eiszeiten bei niedrigerem Meeresspiegel auf den freiliegenden Schelfgebieten eingeschnitten haben, belegen, daß auch während des letzten Glazials zirkumarktische Flußsysteme Süßwasser und damit große Mengen terrigenen Materials in den Arktischen Ozean eingetragen haben. Detaillierte Untersuchungen der stabilen Sauerstoff- ( $\delta^{18}\text{O}$ ) und Kohlenstoffisotope ( $\delta^{13}\text{C}$ ) an planktischen Foraminiferen untermauern diese Untersuchungsergebnisse.

### Meereis- und Eisbergtransport

Die Laptevsee als Teil der sibirischen Schelfgebiete stellt ein Hochproduktionsgebiet für arktisches Meereis dar. So wird im

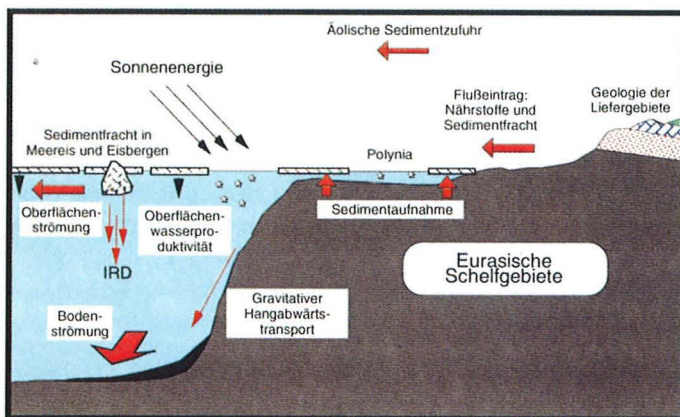


Abb. 1: Schematische Darstellung der Prozesse, die den terrigenen Sedimenteintrag in den Arktischen Ozean steuern bzw. beeinflussen.



Abb. 2: Große Flächen des arktischen Meereises sind durch oberflächen-naher Sedimenteinschlüsse verfärbt.

Bereich der Laptevsee-Polynya - einer mehrere 1000 km langen und bis zu 25 km breiten offenen Wasserfläche - während der Wintermonate bis zu  $910 \text{ km}^3$  Meereis gebildet, welches dann durch die Transpolar-drift verfrachtet wird. Dabei frieren große Mengen suspendiertes Schelfsediment in die arktische Meereisdecke ein. Sie driften anschließend über den zentralen Arktischen Ozean hinweg in die Hauptschmelzgebiete der Framstraße zwischen Grönland und Spitzbergen sowie in die Grönlandsee.

Beobachtungen in der zentralen Arktis zeigen, daß bis zu 50% der Eisdecke mit überwiegend feinkörnigen Sedimenten bedeckt sind. Dies hat entscheidenden Einfluß auf die Albedo und somit auf den Wärmehaushalt im arktischen Raum (Abb. 2). Die vom Meereis transportierten Sedimente enthalten hohe Konzentrationen des Tonminerals Smektit – ein Hinweis auf die Herkunft aus der Smektit-reichen Laptevsee (Abb. 3).

Verschiedene vom Meereis transportierte flachmarine, benthische Fossilgruppen (Foraminiferen und Ostracoden) finden sich in den Tiefseeablagerungen des zentralen Arktischen Ozeans. Dies deutet darauf hin, daß die Meereissedimente mit der Transpolar-drift nicht ausschließlich über den Arktischen Ozean hinweg in die Hauptschmelzgebiete gelangen, sondern durch Abschmelzvorgänge auch im zentralen Arktischen Ozean zur Tiefseesedimentation beitragen. Untersuchungen an Tiefseesedimentkernen aus diesem Gebiet zeigen, daß die Smektitgehalte während der Glazial/Interglazialzeiten stark geschwankt haben (Abb. 4). Vermutlich gab es Veränderungen der Meereisdecke. Denkbar wären eine verminderte Ausdehnung während



des letzten Klimaoptimums (ca. 6000 Jahren vor heute), veränderte Mechanismen des Sedimenteintrags und Liefergebiete sowie unterschiedliche Eisdriftmuster.

Das Vorkommen von Dolomit und detritischem Kalzit in den glazialen Ablagerungen des Morris Jesup Rise läßt sich den proterozoischen und paläozoischen Plattformkarbonaten der kanadischen Arktis und Alaskas zuordnen, also regional eng begrenzten Herkunftsgebieten (Abb. 3). In Eisbergen werden die z. T. sehr groben detritischen Partikel („dropstones“) aus dieser Region weit hinein in den zentralen Arktischen Ozean verfrachtet. Bei Untersuchungen an Kernprofilen lassen Schwankungen im Anteil dieser Minerale deshalb Rückschlüsse auf Intensität, Bildungsgebiete und Transportwege von Eisbergen während der Klimazyklen zu (Abb. 4).

### Hangrutschungen und Turbiditströme

Wie die Verteilungsmuster einiger Minerale in den Sedimenten zeigen, lassen sich neben den drei o. g. Prozessen weitere

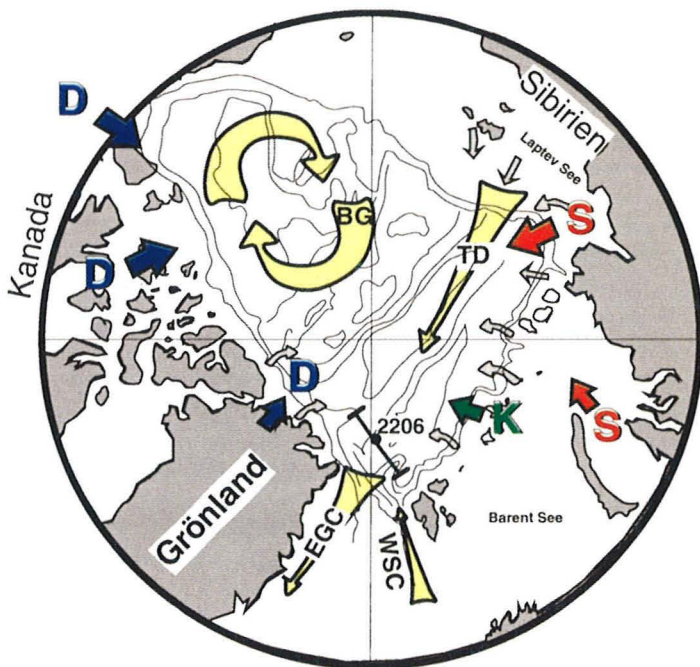


Abb. 3: Eisdriftmuster im Arktischen Ozean (TD = Transpolar drift, BG = Beaufort Wirbel, EGC = Ostgrönland Strom, WSC = Westspitzbergen Strom). Eingezeichnet sind ebenfalls Vorkommen bestimmter Minerale, die für die Rekonstruktion von Transportmechanismen und -wegen von Bedeutung sind (S = Smektit, K = Kaolinit, D = Dolomit).

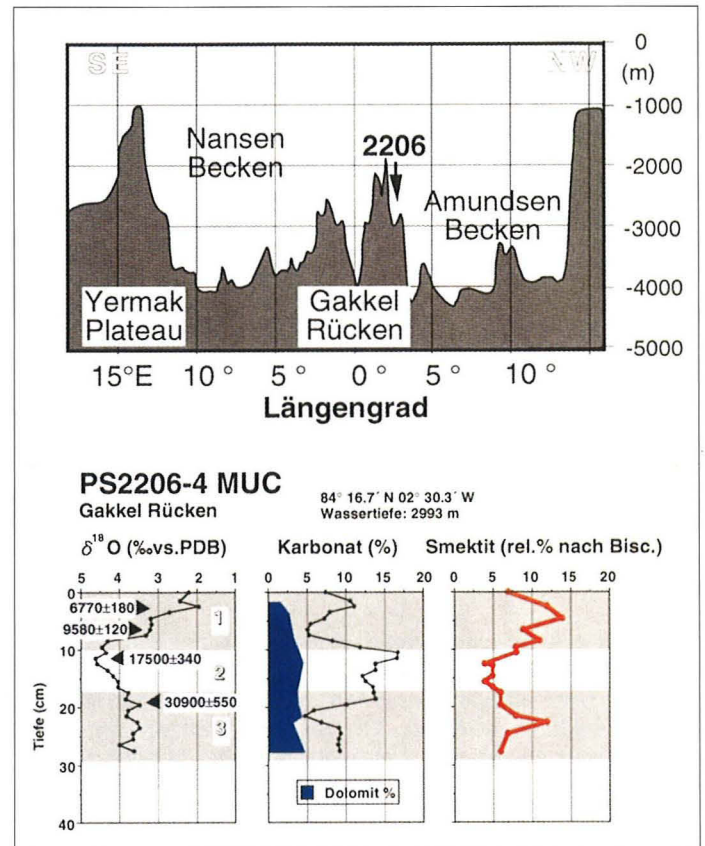


Abb. 4: Änderungen der Transportprozesse und -wege in der geologischen Vergangenheit können durch Untersuchungen an zeitlich eingestuftem Sedimentkern rekonstruiert werden. Glazial/Interglazial Änderungen der Sauerstoffisotopen, Dolomit-, Karbonat- und Smektitdaten sind für den mit absoluten Altern datierten Kern PS2206-4 vom Gakkel Rücken angegeben. Position und Tiefenlage des Sedimentkerns sind in Abb. 3 eingezeichnet.

wichtige Mechanismen rekonstruieren, die zur Tiefseesedimentation beitragen. So ist der durch Schwerkraft-bedingte Massentransport (z. B. Trübestrome) vom Schelf über den Kontinentalhang in die arktischen Becken für die Sedimentation von Kaolinit von großer Bedeutung. Analysen von Sedimentoberflächenproben zeigen, daß dieses Mineral von dem Liefergebiet Franz-Josef Land durch einen intensiven hangabwärts gerichteten Massentransport weit in das dem Kontinentalhang vorgelagerte Nansen-Becken verfrachtet wird.

### Ozeanische Strömungen und Windtransport

Ozeanographische Fronten, wie die Grenze zwischen den in den Arktischen Ozean einfließenden relativ warmen, nordatlantischen Wassermassen (Westspitzbergenstrom) und den kalten, polaren Oberflächenwassermassen, werden rezent im Sediment nachgezeichnet durch das Auftreten biogenen Karbonats, das an diese Strömungssysteme gekoppelt ist, und schwerer Werte der Sauerstoffisotopen in planktischen Mikroorganismen. Veränderungen dieser Parameter mit der Zeit lassen daher Aussagen über Änderungen der ozeanographischen Muster zu. Zudem können Strömungen einerseits bevorzugt Feinmaterial über weite Strecken transportieren. Sie führen andererseits aber auch zu

einer relativen Anreicherung der groben Sedimentanteile durch Auswaschung des Feinmaterials.

Quantitative Abschätzungen des äolischen Sedimenteintrages in den Arktischen Ozean gibt es kaum. Der direkte Eintrag von windtransportiertem terrigenen Material wird zunächst durch die ganzjährig bestehende Eisdecke reduziert bzw. unterbunden. Die relativ geringe Sedimentzufuhr von 3,3–14,0  $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{Jahr}$  in der Schneedecke zeigt zudem, daß Windtransport einen geringen Anteil zu den Meereissedimenten beiträgt. Dementsprechend steuert der Windtransport nur 1–10% der Gesamtsedimentationsrate im zentralen Arktischen Ozean bei.

## Mineralbildung in Sedimenten und Böden der Permafrostzone

Gebiete mit Permafrost nehmen etwa 25% der kontinentalen Erdoberfläche ein. In diesen Regionen reichen, trotz ausreichend niedriger Jahresmitteltemperaturen, die Niederschläge für eine Gletscherbildung nicht aus. Die oberen Schichten der Lithosphäre frieren bis in eine Tiefe von mehreren hundert Metern (maximal 900 m) und es bildet sich Grundeis in ihnen – die Kryolithosphäre der Erde.

Geologische Vorgänge wie Verwitterung, Bodenbildung, Massentransport u. a. haben in Permafrostgebieten einen besonderen Charakter. Sedimente und Böden dieser Regionen unterscheiden sich wesentlich von denen anderer Klimagebiete, sowohl durch ihren spezifischen kryogenen Aufbau, als auch durch biochemische, geochemische, mineralogische u. a. Besonderheiten. Die Böden der Permafrostzone spielen als Produzenten und Akkumulatoren der klimawirksamen Treibhausgase Kohlendioxid und Methan eine wichtige Rolle. Auch dies erklärt das steigende Interesse an den in ihnen stattfindenden geochemischen Prozessen.

Als geochemisch aktivster Teil gilt die saisonale Auftauschicht, für die große jährliche Temperaturschwankungen charakteristisch sind. Ihre Mächtigkeit erreicht in typischen Tundragebieten etwa 0,3–1,0 m, in der nördlichen Waldzone durchschnittlich 1,5 m (Abb. 1, 2). Geochemische Prozesse geringerer Intensität vollziehen sich im oberflächennahen, etwa 10–25 m

mächtigen Horizont des Permafrostes mit veränderlichem Temperaturregime, in langjährig unter Wasserbecken ausgebildeten Auftauzonen (Taliks) und in den nicht gefrierenden subaquatischen Sedimenten. Das spezifische hydrothermische Regime bestimmt maßgeblich die geochemischen und biogeochemischen Prozesse dieser Sediment- und Bodensysteme.

Durch das geringe Wärmeangebot in Permafrostgebieten bestehen zwar energetisch ungünstige Bedingungen für geochemische Prozesse. Folgende Faktoren jedoch begünstigen bestimmte Prozesse, wie beispielsweise die Bildung neuer Minerale:

- Sedimente und Böden können bei oberflächennaher Lage des Permafrostes als halboffene Systeme angesehen werden. Die Permafrosttafel bestimmt wesentlich den Stofftransport und verhindert praktisch einen vertikalen Wasseraustausch. Dadurch wird eine „kryogen-hydrogene Akkumulation“ chemischer Komponenten in Auftauböden möglich.
- Die sich vielfach wiederholenden Phasenübergänge „Wasser-Eis“ stimulieren chemische Vorgänge.
- Bei den herrschenden niedrigen Temperaturen werden exotherme Prozesse wie Ausfällung, Fixierung von chemischen Komponenten und Kristallisation begünstigt.
- Das hohe Energiepotential, das für viele geochemische Reak-



Abb. 1. Thermokar im Uferabbruch eines Thermokarstsees (Zentral-Jakutien). Das Thermokar ist durch Austauen von massiven Grundeiskörpern („Eiskeilen“) und feinverteiltem Bodeneis entstanden. Es gewährt Einblick in den charakteristischen Aufbau der oberflächennahen Permafrostschichten in spätpleistozänen Sedimentationsgebieten. Borealer Lärchenwald bedeckt das Hochufer des Sees.

tionen notwendig ist, wird in den saisonalen und langfristig existierenden Auftauböden durch die katalytische Wirkung mikrobieller Bodenprozesse geschaffen.

Permafrostlandschaften zeichnen sich durch eine starke fazielle Differenzierung und Labilität aus. Schon geringe Veränderungen der Umweltfaktoren führen zur Destabilisierung des hydrothermischen Regimes von Auftauböden und oberflächennahem Permafrost und verändern sowohl den Charakter von kryogenen, als auch geochemischen Prozessen.

Mineralogische Untersuchungen an Sedimenten aus Permafrostgebieten Sibiriens zeigen, daß Horizonte mit intensiver Mineralbildung in der Regel Grenzhorizonten von Sedimentationszyklen oder geokryologischen Faziesgrenzen entsprechen. Sie weisen auf geringe Intensität von Abtragungs- oder Ablagerungsprozessen und langfristig wirkende kryogene Bodenbildung oder Frühdiagenese hin. Solche Horizonte stehen zeitlich oft mit Klimaänderungen im Zusammenhang und können dadurch wichtige Informationen für die Umweltentwicklung der



Abb. 2. Detail der zentralen Wand des Thermokares. Spätpleistozäne geschichtete Lößlehme mit Eiskeilen werden durch etwa 2 m mächtige holozäne Lößlehme in Permafrostzustand und die 1,2–1,5 m mächtige, heller gefärbte saisonale Auftauschicht überlagert.

Region liefern. Wichtig dabei ist, daß mineralogisch-geochemische Besonderheiten, die in solchen Horizonten in einem diskreten, geologisch gesehen relativ kurzen Zeitraum entstanden sind, durch ihren Übergang in Permafrost konserviert werden. Dadurch können differenzierte Mineralassoziationen, metastabile Phasen oder Phasengleichgewichte erhalten bleiben.

In Sedimenten und Böden der Permafrostzone wurden eine Reihe von authigenen, d. h. im Sediment *in situ* gebildeten Mineralen nachgewiesen, die als Indikatoren bestimmter Landschaftsfazieller Bedingungen angesehen werden können. Dazu gehören verschiedene Karbonate, Eisensulfide wie Greigit und

Mackinavit, Phosphate der Vivianitgruppe, oxydische Minerale von Eisen, Mangan und Aluminium.

Besondere Bedeutung für das Verständnis der Besonderheiten mineralogisch-geochemischer Prozesse in Permafrostlandschaften besitzt der Nachweis von authigenen Aluminiumoxyden in spätpleistozänen und holozänen eisreichen Lößlehmen Jakutiens. In allen bearbeiteten Sedimentprofilen sind diese Neubildungen an Horizonte gebunden, die durch hydromorphe Bodenbildung überprägt wurden. Detaillierte mineralogische Untersuchungen ergaben, daß die Aluminiumoxide strukturell den Modifikationen  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Korund),  $\delta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\Theta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$

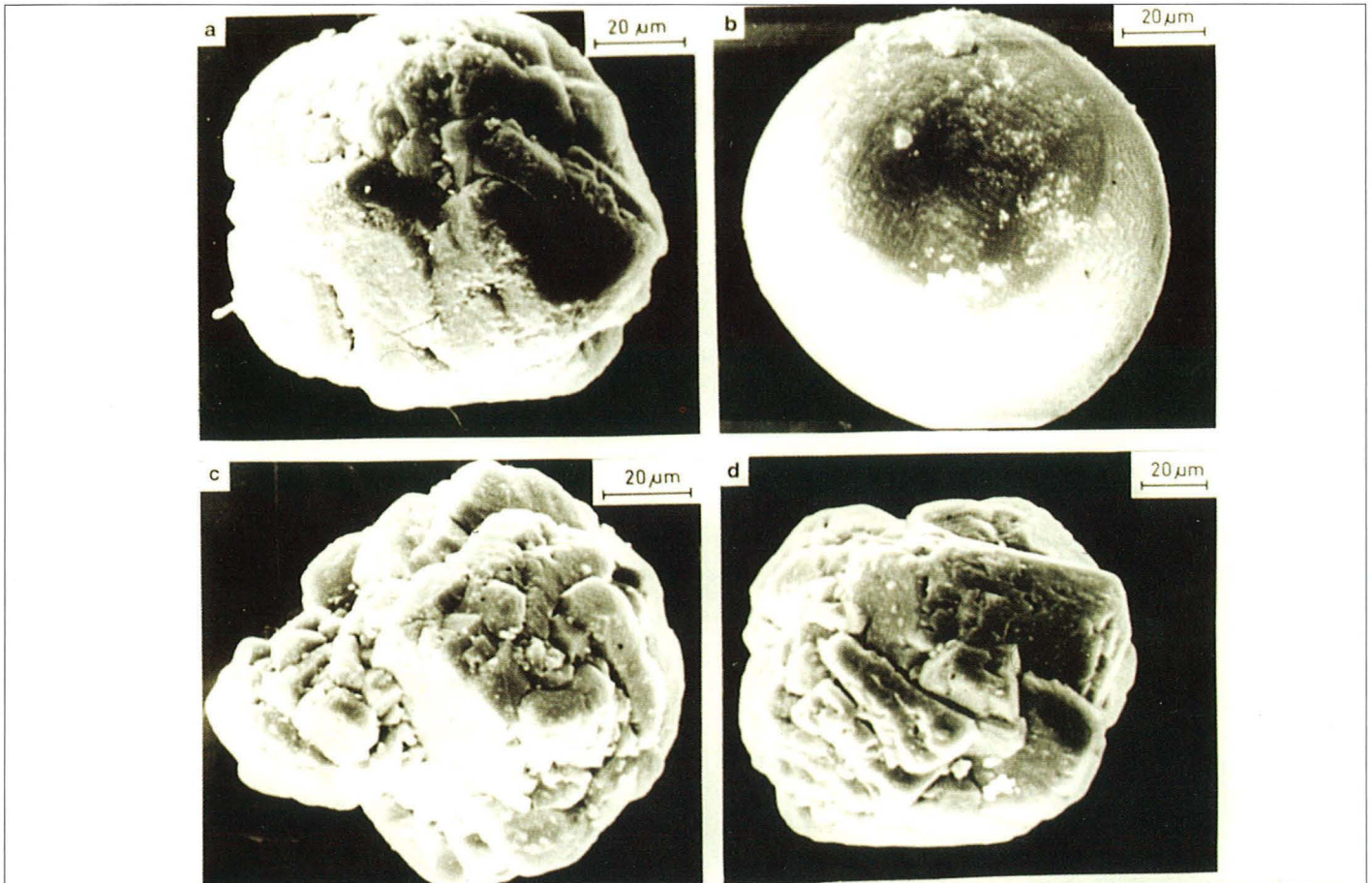


Abb. 3. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Aluminiumoxyd-Körnern aus Permafrostsedimenten Jakutiens. a und b - Korund, c und d - metastabile  $Al_6O_3$ -Modifikationen.

zuzuordnen sind (Abb. 3). Der thermodynamische Stabilitätsbereich aller drei Phasen liegt bei hohen Temperaturen. Korund ist als typisches Mineral magmatischer und metamorpher Gesteine bekannt. Es gibt allerdings bereits Hinweise zum Vorkommen von kolloidalem „Tieftemperatur-Korund“ in hochverwitterten Böden. Die Modifikationen  $\delta-Al_2O_3$  und  $\Theta-Al_2O_3$  waren bisher nur als künstliche metastabile Produkte nachgewiesen, die durch Dehydratation von Alumogelen oder Aluminiumhydroxiden bei hohen Temperaturen entstehen. Die Kristallisation dieser Phasen in spätquartären Sedimenten der Permafrostzone vollzog sich also unter sehr ungewöhnlichen thermodynamischen Bedingungen. Nach dem heutigen Wissensstand kann die

Bildung dieser Phasen nur durch kryogene Dehydratation von frisch ausgefallenen Alumogelen beim Übergang der Böden in Permafrost erklärt werden.

Die zur Mineralbildung in Sedimenten und Böden der Permafrostzone gewonnenen Daten zeigen, daß sie effektiv für eine Rekonstruktion der landschaftsfaziellen Bildungsbedingungen von Sedimentserien genutzt werden können. Sie liefern Informationen über die Besonderheiten von Migration, Umlagerung und Ausscheidung chemischer Komponenten unter Permafrostbedingungen, die für die Beurteilung des Einflusses antropogener Schadstoffeinträge, z. B. von Schwermetallen auf Böden und andere Ökosysteme dieser Regionen wichtig sind.

## Seismische Untersuchungen im eurasischen Becken (Arktischer Ozean)

Der Arktische Ozean ist wegen seiner permanenten Eisbedeckung geowissenschaftlich wenig erforscht. Im Sommer 1991 gelang es mit Hilfe des Forschungseisbrechers „Polarstern“ und des schwedischen Eisbrechers „Oden“ erstmals, kontinuierliche, mehrkanalige reflexionsseismische Messungen vom Schiff aus im eurasischen Becken durchzuführen (Abb.1). Diese Aufzeichnungen geben Auskunft über die Struktur des tieferen Untergrundes (2–3 km).

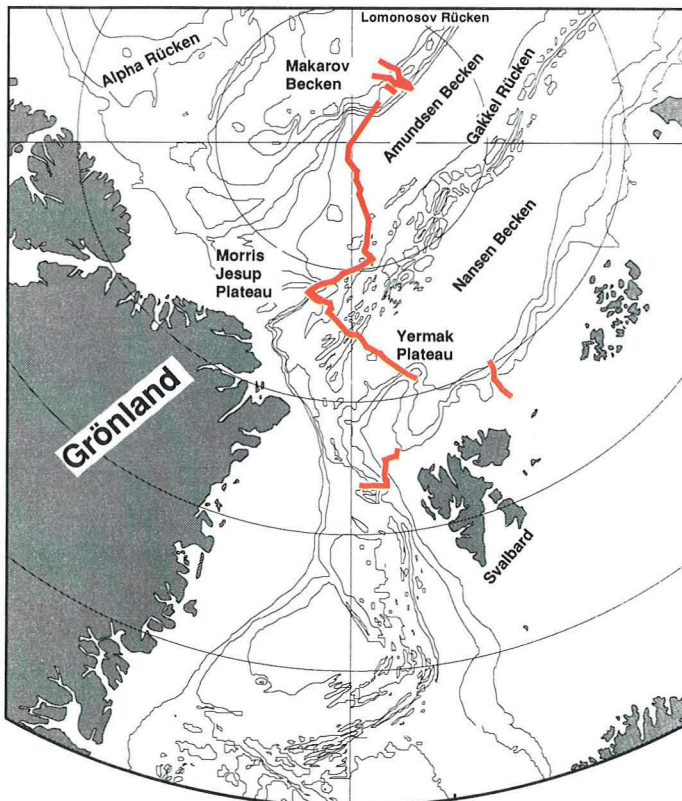


Abb. 1: Seismische Profile der Expedition ARCTIC 1991.

Zusätzlich konnten refraktionsseismische Daten mit Hilfe von Sonobojen und Registrierstationen auf dem Eis gewonnen werden. Sie geben Aufschluß über die Geschwindigkeit der Kompressionswellen (P-Wellen) und damit der Dicke der Sedimentschichten im Untergrund. Zusammen mit den Informationen aus den insgesamt 1.500 km langen reflexionsseismischen Profilen steht damit ein einzigartiger Datensatz zur Verfügung, der zum Verständnis der geodynamischen Entwicklung des eurasischen Beckens, sowie der Geschichte des Lomonosov Rückens beiträgt.

Der Lomonosov Rücken teilt den Arktischen Ozean in einen amerasischen und eurasischen Bereich. Der Rücken ist ca. 1.500 km lang, 50–80 km breit und ragt 3 km über das angrenzende Makarov- und Amundsen Becken hinaus. Bisherige wissenschaftliche Untersuchungen haben ergeben, daß der Rücken ein kontinentales Fragment darstellt, das bei der Öffnung des eurasischen Beckens vor ca. 60 Mio. Jahren vom Barents-Kara-Schelf getrennt wurde und im Laufe der Zeit unter den Meeresspiegel absank.

Das reflexionsseismische Profil AWI-91091 (Abb.2) zeigt, daß der Rücken in Richtung des Amundsen Beckens leicht geneigt ist und von einer Abfolge horizontaler Sedimentschichten bedeckt wird. Aus den Auswertungen der refraktionsseismischen Messungen ergeben sich für diese Schichten niedrige seismische P-Wellen Geschwindigkeiten von 1.7–2.3 km/s und eine Mächtigkeit von insgesamt 500 m. Diese Schichten werden als marine Sedimente interpretiert, die nach dem Absinken des Rückens unter den Meeresspiegel abgelagert wurden.

Darunter sind schwache, ebenfalls horizontale Reflektoren zu erkennen, die auf der Seite des Amundsen Beckens von Verwerfungen und Halbgräben begrenzt sind. Sie dokumentieren den Einfluß einer Dehnungsbewegung während des Wegdriftens des Lomonosov Rückens vom Barents-Kara Schelf.

Die Ergebnisse der Messungen ergeben für diese unteren Reflektoren Ausbreitungsgeschwindigkeiten der seismischen Signale von 4.0 bis 5.8 km/s. Daraus ergibt sich für diese Schich-

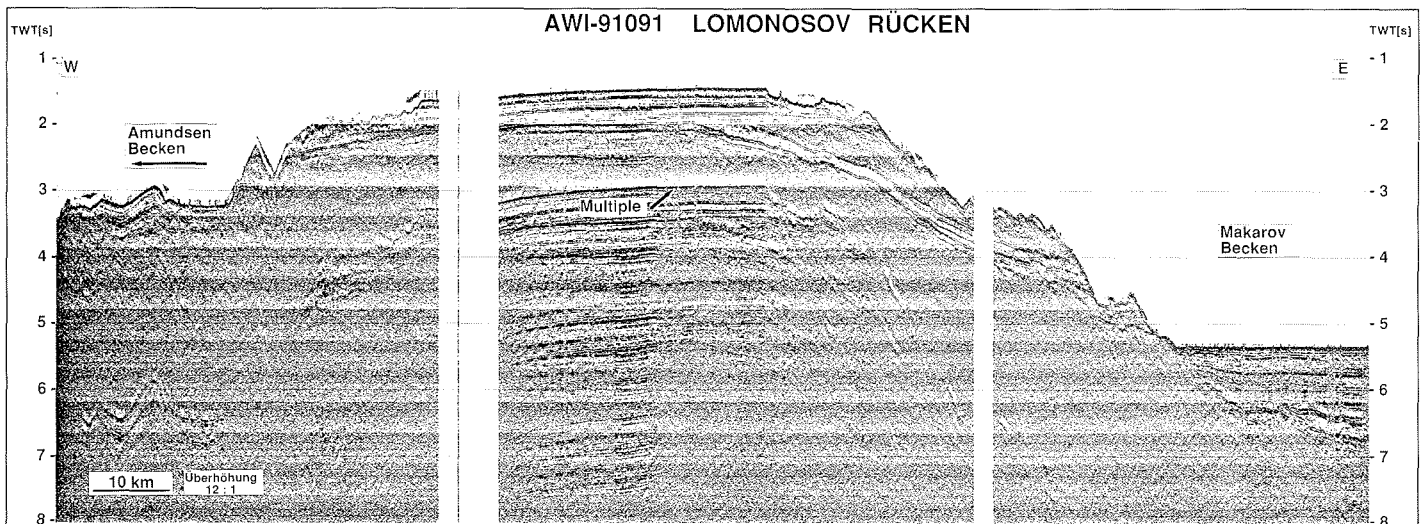


Abb. 2: Reflexionsseismisches Profil AWI-91091 über den Lomonosov Rücken.

ten eine Gesamtmächtigkeit von rund 1800 m. Sie werden als stark kompaktierte, terrestrische Sedimente aus mesozoischer Zeit (älter als 65 Mio. Jahre) interpretiert, die vor der Abtrennung des Lomonosov Rückens vom Schelf abgelagert wurden. Auf der dem Makarov Becken zugewandten Seite sind diese Schichten von progradierenden Lagen bedeckt, die offensichtlich Ablagerungen des ehemaligen Kontinentalschelfes darstellen. Eine Diskordanz zu den darüberliegenden Schichten zeigt, daß beim Absinken des Lomonosov Rückens Material erodiert wurde. Später, als der Rücken noch weiter unter den Meeresspiegel absank, wurde diese Schichtgrenze wieder mit marinen Ablagerungen bedeckt.

Pärallel zum Lomonosov Rücken zieht sich der Gakkel Rücken durch das eurasische Becken und untergliedert dieses in das Amundsen und Nansen Becken (Abb.1). Bei diesem Rückensystem handelt es sich um einen aktiven, mittelozeanischen Rücken, der durch die Spitzbergenbruchzone mit dem atlantischen Rückensystem verbunden ist.

Auf allen reflexionsseismischen Profilen über das Amundsen und Nansen Becken hinweg ist deutlich eine rauhe Topographie der ozeanischen Kruste zu erkennen wie auch gut korrelierbare Reflektoren in den Sedimenten.

Mit den Aufzeichnungen der Sonobojen war es möglich, einen Tiefenschnitt durch das Amundsen Becken darzustellen

(Abb. 3). Zusätzlich wurden die Kreuzungspunkte der Profile mit den magnetischen Anomalien, die parallel zu den mittelozeanischen Rücken verlaufen, bestimmt (Pfeile in Abb. 3), um das Alter der abgelagerten Schichten grob abzuschätzen.

Die Sedimentschichten lassen sich in drei Einheiten gliedern (AB-1 bis AB-4, AB-5.1 bis AB-5.2, AB-6 bis AB8). Damit wurde die folgende Vorstellung zur Entwicklung des Amundsen Beckens erarbeitet:

Die unterste bis zu 900 m mächtige Lage (AB-1) der ersten Einheit besteht aus erodiertem terrestrischen Material des Lomonosov Rückens, das bei der Öffnung des eurasischen Beckens ab 60 Mio. Jahre abgelagert wurde (Synrift Sedimente).

Die folgenden Schichten (AB2, AB3 und AB4) liegen auf der Flanke des Lomonosov Rückens auf. Sie nehmen zum Gakkel Rücken hin an Mächtigkeit bis auf 1200 m zu. Das deutet darauf hin, daß die Sedimente anfangs aus terrigenem Material des Lomonosov Rückens und flach marinen Ablagerungen bestehen. Die nach dem Absinken des Rückens unter den Meeresspiegel vor ca. 50 Mio. Jahre gebildeten Schichten bestehen wahrscheinlich zunehmend aus eingetragenen Sedimenten und Turbiditen der umliegenden Schelfe und des Gakkel Rückens.

Darüber folgt eine 400 m mächtige Einheit von Schichten (AB-5.1 und AB-5.2), die stark zum Lomonosov Rücken hin aus-

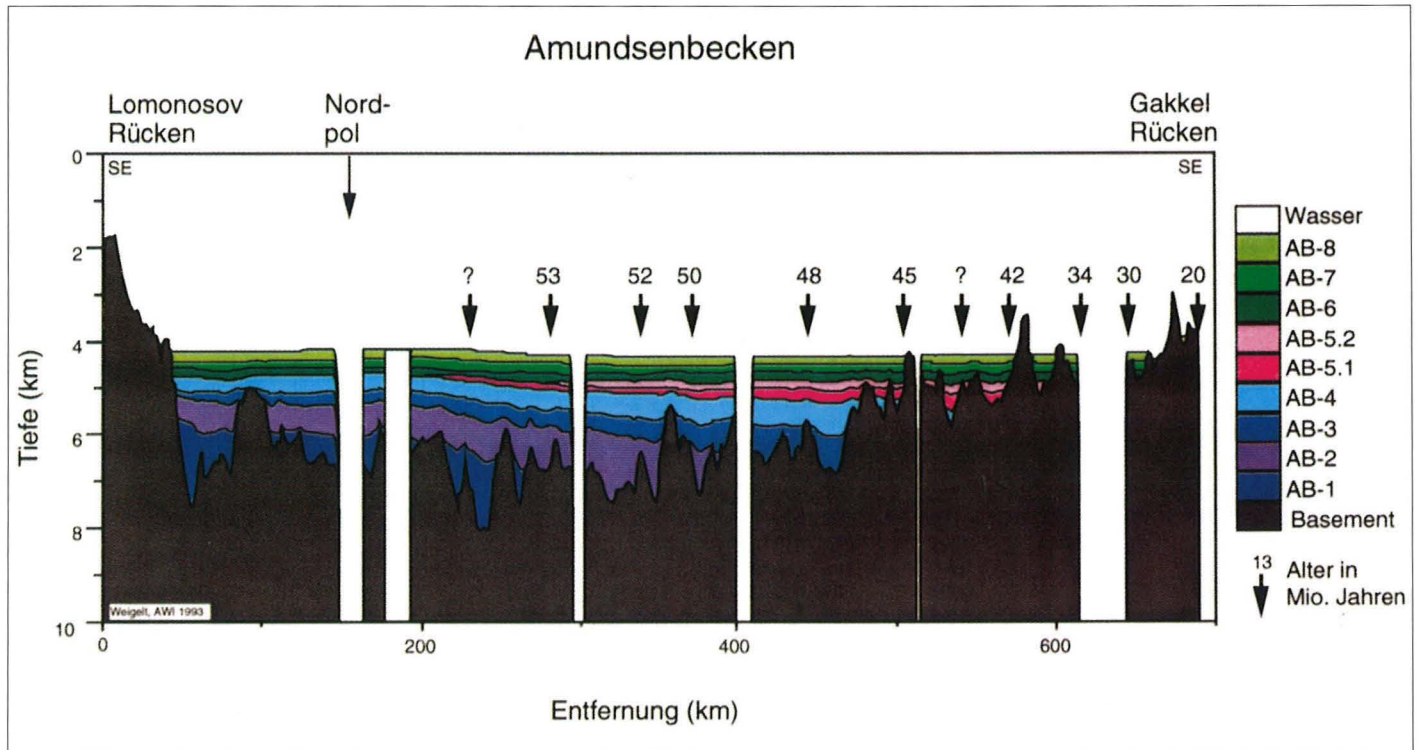


Abb. 3: Tiefenschnitt durch das Amundsen Becken. Die Pfeile markieren das aus den magnetischen Anomalien abgeleitete Alter.

keilen. Sie zeigen, daß ab ungefähr 45 Mio. Jahren der Rücken soweit unter den Meeresspiegel abgesunken ist, daß er keinen wesentlichen Sedimenteintrag mehr liefert. Das abgelagerte Material stammt hauptsächlich aus Turbiditen des Gakkel Rückens und der umliegenden Schelfe.

Aus dem geschätzten Alter und der Mächtigkeit der Schichten läßt sich eine Sedimentationsrate von 10-15 cm/ky für die beiden ersten Einheiten (AB-1 bis AB-4, AB-5.1 bis AB-5.2) errechnen. Das belegt den hohen Materialeintrag in das Amundsen Becken durch Erosion des Lomonosov und Gakkel Rückens während des Absinkens unter den Meeresspiegel.

Die dritte Einheit (AB-6 bis AB-8) ist jünger als 36 Mio. Jahre und zieht sich mit einer gleichmäßigen Mächtigkeit von 500 m durch das gesamte Amundsen Becken. Die Sedimentationsrate beträgt hier nur noch 2 cm/ky. Das bedeutet, daß sich von die-

sem Zeitpunkt an auch der Gakkel Rücken unter dem Meeresspiegel befindet und von dort kaum mehr Material eingetragen wird. Die Ablagerungen sind nun vorwiegend pelagischer Art.

Während die gesamte Sedimentdecke im zentralen Amundsen Becken bis zu 3200 m mächtig ist, beträgt sie im südlichen Bereich nur wenige 100 m.

Die Abbildung 4 zeigt einen Schnitt durch das eurasische Becken vom Morris Jesup Plateau zum Yermak Plateau. Dieser Teil wurde erst vor 34 Mio. Jahren durch ‚seafloor spreading‘ geöffnet. Deshalb ist dort nur eine ca. 500-1000 m mächtige Sedimentbedeckung zu beobachten, die stark von Meeresströmungen beeinflusst scheint.

Gut zu sehen ist die rauhe Topographie des ozeanischen Basements, sowie das tiefe Zentraltal (durchschnittlich 4000 m)



des Gakkel Rückens. Der Rücken stellt mit einer Dehnungsrate von nur 1,2 – 0,5 cm/Jahr eines der langsamsten Dehnungszentren der Welt dar.

Parallel zu den seismischen Aufzeichnungen wurden Schwere-messungen mit Hilfe des auf „Polarstern“ installierten Seegravimeters durchgeführt. Die weitere Auswertung dieser Daten soll eine genauere Information über die Krustenstruktur des Gakkel

Rückens, des eurasischen Beckens, sowie des Lomonosov Rückens geben.

Zum Schluß sei bemerkt, daß die umfangreichen und guten Messungen der ARCTIC' 91 Expedition nur durch internationale Zusammenarbeit gewonnen werden konnten. Das gibt Anreiz, durch zukünftige, ähnliche Kooperationen die Erforschung des Arktischen Ozeans zu ermöglichen.

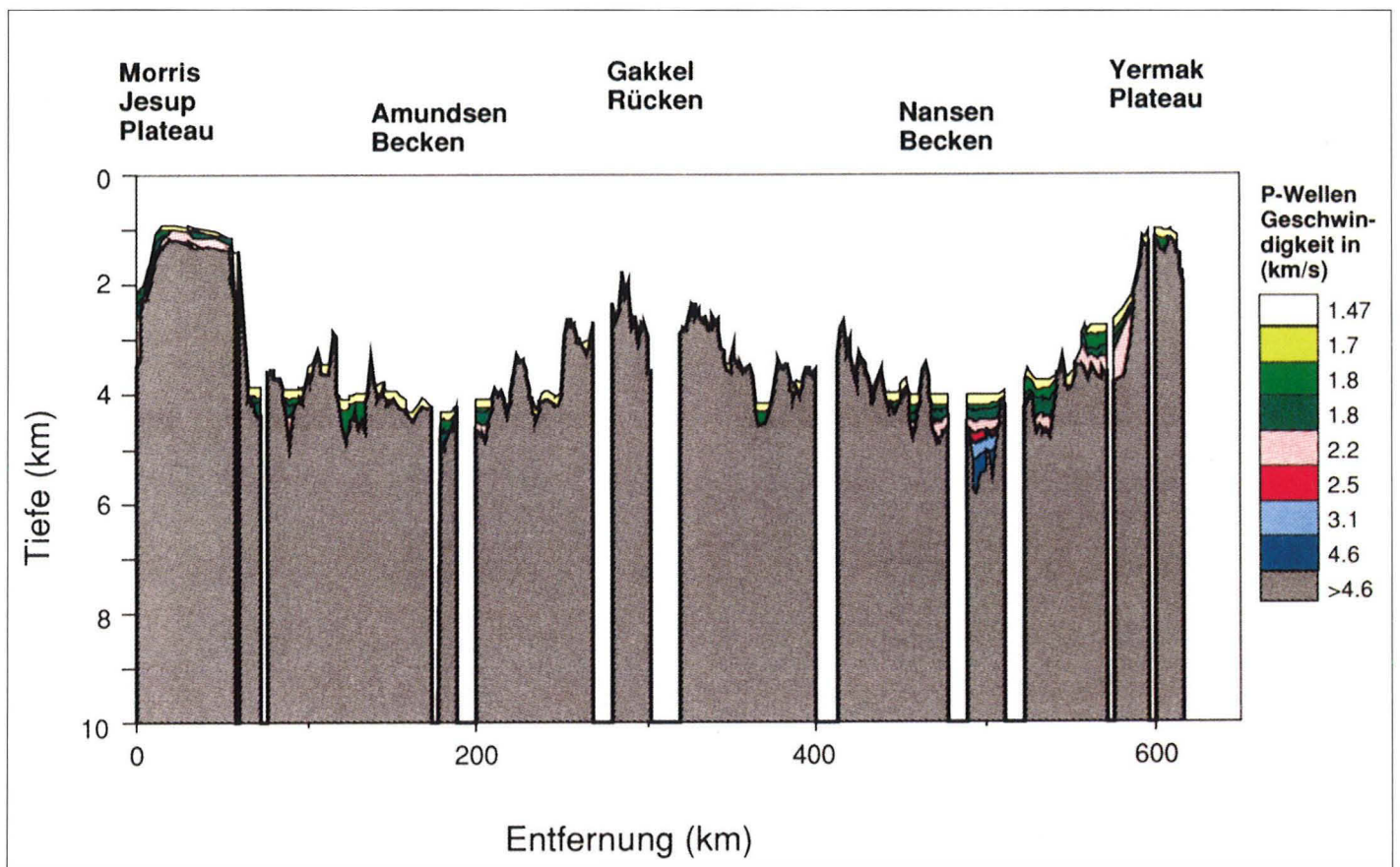


Abb. 4: Tiefenschnitt durch das südliche eurasische Becken mit den Positionen der magnetischen Anomalien.

## Untersuchungen zum Massenhaushalt des Inlandeises in Nordostgrönland

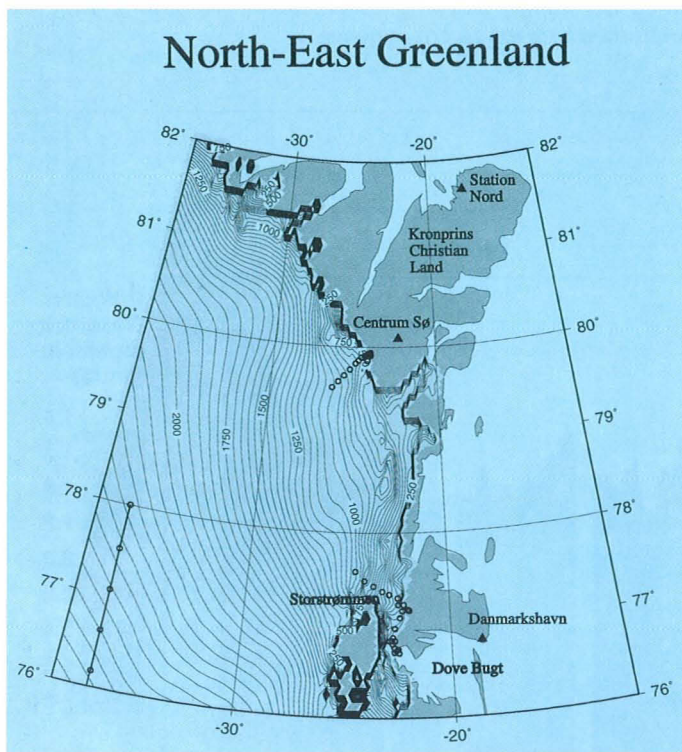


Abb. 1: Kartenskizze von Nordostgrönland. Die offenen Kreise markieren Meßpunkte auf dem Eis in den Untersuchungsgebieten Storstrømmen und Kronprins Christian Land, nahe Centrum Sø. Im südwestlichen Teil der Karte ist ein Teil der Trasse der Summit-Thule-Traverse eingetragen. Die hell gerasterten Flächen stellen das Inlandeis dar, die dunklen Flächen unvergletschertes Land und die weißen Flächen Meer. Für das Inlandeis sind Höhenlinien (m über dem Meeresspiegel) eingezeichnet.

Auf Grönland liegt die größte zusammenhängende Eismasse der Nordhalbkugel. Das Grönländische Inlandeis erstreckt sich über eine Fläche von  $1,676 \cdot 10^6 \text{ km}^2$  und ist im Mittel 1.560 m dick. Zu 81 % wird Grönland durch das Inlandeis und kleinere Eiskappen sowie lokale Gletscher bedeckt. Nordostgrönland, seit 1977 als der Welt größter Nationalpark ausgewiesen, ist

schwer zugänglich. Daher ist auch das Inlandeis in diesem Bereich noch wenig erforscht. In Germania Land, am Gletscher Storstrømmen (ca. 77° N), wo Alfred Wegener 1912/13 auf dem Eis überwinterte (Station Borg, s. Abb. 4) und anschließend zu seiner Inlandeisdurchquerung aufbrach, hat das AWI gemeinsam mit dem Geologischen Dienst von Grönland (Grønlands Geologiske Undersøgelse), Kopenhagen, 1989 mit glaziologischen Arbeiten am Eisrand begonnen. Diese Arbeiten haben wir seither fortgesetzt und 1993 das Forschungsprogramm mit glaziologischen Arbeiten am Eisrand in Kronprins Christian Land (ca. 80° N) erweitert (s. Abb. 1).

Diese Arbeiten leisten einen Beitrag zur Massenbilanz des Grönländischen Inlandeises, d.h. zu der Frage, ob das Inlandeis wächst oder abnimmt. Ein Gletscher und auch das Inlandeis wird durch den jährlich fallenden Schnee im sog. Akkumulationsgebiet genährt (Nährgebiet). Im Gegensatz dazu verringert sich die Eismasse im sog. Ablationsgebiet (Zehrgebiet) durch die sommerliche Abschmelzung an der Eisoberfläche und dort, wo das Eis im Meer aufschwimmt, durch Abbrechen großer Eismassen (Kalben). Die abgekalbten Eismassen driften als Eisberge in das Meer. Abschmelzung und Kalbung machen in Grönland schätzungsweise je 50 % der Gesamtablation aus.

Am Storstrømmen und in Kronprins Christian Land wird die Abschmelzung an der Eisoberfläche gemessen, um die für dieses Gebiet typische Beziehung zwischen Witterung und Ablation zu finden. Hierzu wurde auf dem Storstrømmen ein über ca. 100 km langes Pegelnetz in Höhen zwischen 50 bis 1100 m über dem Meeresspiegel eingebohrt. 1993 wurden 35 Pegel abgelesen. In Kronprins Christian Land ist das Pegelnetz ca. 60 km lang und erstreckt sich von 180 bis 1100 m über dem Meeresspiegel (Abb.1). Die Positionen der Pegelstangen werden jährlich mit Hilfe von GPS (Global Positioning System, ein satellitengestütztes Ortungsverfahren) mit Dezimetergenauigkeit bestimmt, so daß dort auch die Fließgeschwindigkeit des Eises bekannt ist.

Für das Untersuchungsgebiet Storstrømmen sind in der Abbildung 2 die Abschmelzbeträge für drei Jahre von Sommer zu Sommer dargestellt. Man erkennt, daß die Abschmelzung zwar generell mit zunehmender Höhe abnimmt, aber einige Pegel deutlich von diesem Trend abweichen. Dies ist auf den Einfluß

von unterschiedlichen Albedowerten an der Gletscheroberfläche, der Geländeneigung, der vorherrschenden Windverhältnisse und der davon beeinflussten Schneeablagerung sowie von großen Schmelzwasserseen auf der Eisoberfläche zurückzuführen. Der Betrag der jährlichen Schmelzbeträge variierte in dem Beobachtungszeitraum ebenfalls beträchtlich.

Rechnet man die während des Sommers 1993 in Kronprins Christian Land gemessenen Beträge auf ein volles Jahr hoch, so wird deutlich, daß die Abschmelzung im nördlichen Nordostgrönland nicht wesentlich geringer ist als in weiter südlich gelegenen Gebieten. Die Abbildung 3 zeigt den Eisrand in Kronprins Christian Land. Auf dem Bild sind die Oberflächenstrukturen, die das abfließende Schmelzwasser geformt hat, gut zu erkennen. Im Laufe des Sommers entwickeln sich dort ausgedehnte Flußsysteme. Die wechselnde Verfärbung der Oberfläche ist auf den unterschiedlichen Gehalt mineralischer Einschlüsse im Eis zurückzuführen, die sich beim Schmelzen an der Oberfläche anreichern.

Aus tiefen Eisbohrungen wissen wir, daß der Staubgehalt in der Atmosphäre während der Eiszeiten höher als heute gewesen ist. Tatsächlich läßt sich zum Beispiel der randnächste Saum aufgrund von  $^{18}\text{O}$ -Untersuchungen dem Eis der letzten Eiszeit zuordnen. Die Verfärbung des Eises verändert das Reflexionsver-

mögen der Oberfläche, die sog. Albedo, und hat somit auch direkten Einfluß auf die Abschmelzbeträge.

Um Ablation und Witterungsverlauf korrelieren zu können, werden gleichzeitig meteorologische Messungen durchgeführt. Ein wesentlicher Parameter ist dabei die Lufttemperatur. Unter Zuhilfenahme der Temperaturreihe an der Wetterstation Danmarkshavn (Lage s. Abb. 1) wurde eine Rekonstruktion des Massenhaushaltes des Storstrømmens im Höhenintervall 0 – 1400 m für die Jahre 1949 – 1992 gerechnet. Dabei zeigte sich, daß in diesem Zeitraum zwar zwei Perioden mit stark negativer Massenbilanz gelegen haben, im Mittel gesehen die Massenbilanz jedoch ausgeglichen war.

Ein interessantes, unerwartetes Ergebnis der Untersuchungen am Storstrømmen ergab sich aus den Messungen zur Eisbewegung und der Auswertung von älteren Luftbildern: Dieser Gletscher hat offensichtlich zwischen 1978 und 1984 seine Geschwindigkeit drastisch erhöht und ist ca. 12 km weit in die Dovebucht vorgestoßen. Er hat dabei ungefähr wieder die Ausdehnung erreicht, die von Koch und Wegener 1912/13 beschrieben wurde. Die jüngsten Messungen zeigen, daß sich die Geschwindigkeit nun wieder deutlich verringert, und sich im mittleren Teil des Gletschers die eingesunkene Eisoberfläche allmählich anhebt. Dabei geht auch die Eisfront durch starke Kalbungsvorgänge langsam zurück.

Um die Massenbilanz komplett beschreiben zu können, müssen auch die Akkumulationsbeträge bekannt sein. Diese Zielsetzung wird entlang einer Traverse (Abb. 1) verfolgt, die im Sommer 1993 am höchsten Punkt des Grönländischen Inlandeises, dem sog. Summit, begann und entlang des 36. Längengrades bis 78° nördlicher Breite führte. Von dort wird sie im Sommer 1994 nach Westen fortgesetzt, um später in Thule, Nordwestgrönland, zu enden.

Die im Zweijahresbericht 1990/91 beschriebenen Arbeiten zur Modellierung des gesamten Grönländischen Inlandeises wurden mit dem Ziel weitergeführt, die Höhenänderungen der Oberfläche des Inlandeises seit der letzten Eiszeit zu simulieren. Dabei ergab sich für die letzten hundert Jahre im Mittel zwar nur eine geringfügige Erhöhung um 1 cm pro Jahr, die Modellergebnisse weisen jedoch größere räumliche Unterschiede aus. Für das zentrale und nördliche Akkumulationsgebiet ergibt sich eine leichte Ausdünnung als Folge der basalen Erwärmung seit der letzten Eiszeit. Die Erwärmung während des letzten Jahrhunderts bewirkte offensichtlich im Randbereich, besonders im Nordosten und Westen, ebenfalls eine Ausdünnung. Im Gegensatz dazu ergeben sich für den Südwesten Hebungsbeträge von bis

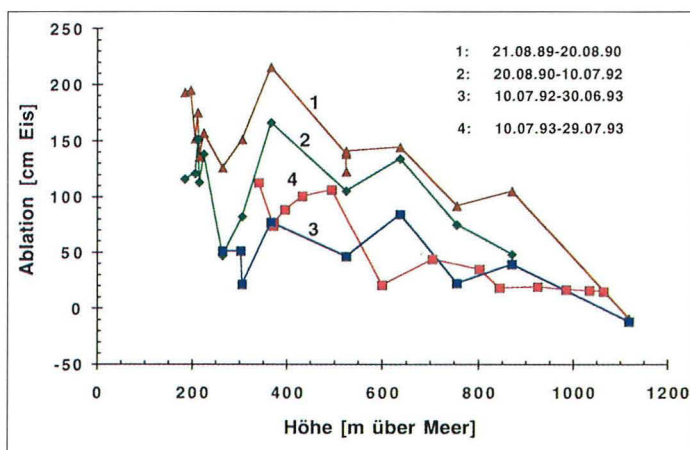


Abb. 2: Ablationsbeträge in den Untersuchungsgebieten Storstrømmen (1–3) und Kronprins Christian Land (4) für die angegebenen Zeiträume. Unter Berücksichtigung von tatsächlichem Beginn und Ende der Ablation in den einzelnen Jahren, entsprechen die Werte der Kurven 1, 2, 3 weitgehend den jährlichen Ablationsbeträgen für die Massenhaushaltsjahre 1989/90, 1990/91 und 1991/92.

5. Ausgewählte Forschungsthemen



zu 30 cm pro Jahr, die, offensichtlich unbeeinflusst von jüngeren klimatischen Veränderungen, immer noch eine dynamische Reaktion des Eisschildes auf das Ende der letzten Eiszeit darstellen.

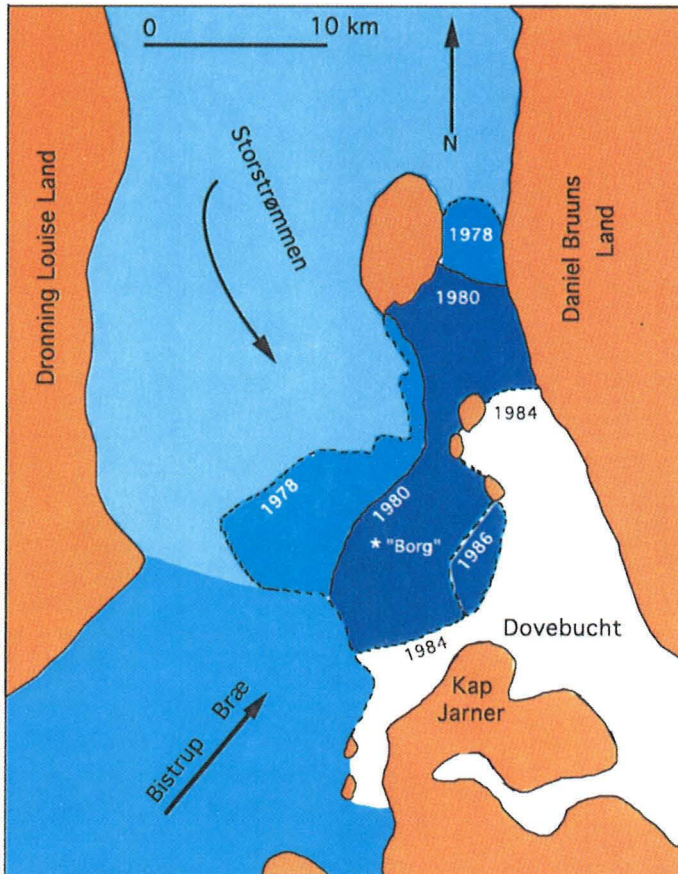


Abb. 4: Lageskizze zum rapiden Vorstoß der Gletscherfront des Storstrømmen, Germania Land, Nordostgrönland. Dargestellt sind der aus Luft- und Satellitenbilddaten rekonstruierte minimale Gletscherstand für das Jahr 1978, der Vorstoß bis zur maximalen Ausdehnung 1984 sowie der beginnende Rückzug bis 1986. Die maximale Ausdehnung 1984 entspricht weitgehend dem Zustand, den Koch und Wegener für das Jahr 1912/13 beschrieben. Die blauen Farben zeigen Eis, das eisfreie Gebiet ist braun und das Meer (Dovebucht) weiß dargestellt. Die Pfeile markieren die Hauptfließrichtungen der Gletscher.

\* „Borg“: Lage der Überwinterungsstation „Borg“ von Koch und Wegener auf dem Eis 1912/13.

← Abb. 3: Blick auf den Eisrand von Kronprins Christian Land.

## Wassermassenbildung im Storfjord – ein Modell arktischer Schelfgebiete

Die Modifizierung von Schelfwasser und dessen Abfließen in die tiefen Becken sind die wichtigsten Beiträge zur Erneuerung der Wassermassen in beiden Polargebieten.

Das Nordpolarmeer besteht zu einem Drittel der Fläche aus flachen Schelfmeeren. Durch das jahreszeitliche Schmelzen des Meereises findet dort ein größerer Wärmeaustausch mit der Atmosphäre statt als in den ständig eisbedeckten Tiefseebecken. Bei den niedrigen Temperaturen im Nordpolarmeer hängt die Dichte des Meerwassers vor allem vom Salzgehalt ab. Da das Salz beim Gefrieren des Meerwassers nicht in das Eiskristall eingebaut wird, bleibt Salzlake in den Hohlräumen zurück und erreicht über feine Kanäle das Wasser unter dem Eis. Diese Salzzufuhr an der Wasseroberfläche wird konvektiv in der darunterliegenden Wassersäule vermischt. Wenn sich die Dichte bis hin zum Schelfboden ausreichend erhöht hat, kann das Wasser vom Schelf in die Tiefseebecken abfließen. Besonders günstige Voraussetzungen für die Eisbildung und damit für die Wassermassenbildung bieten die windabgewandten Seiten von Inseln oder Festlandsküsten, wie z. B. im Storfjord im südlichen Svalbard. Deshalb haben wir dort beispielhaft für die arktischen Schelfe die Wassermassenbildung und -ausbreitung untersucht.

Am Ausgang des Storfjords wurde im Winter 1991/92 erstmalig mit verankerten Geräten der Ausstrom von kaltem, salzreichem Bodenwasser auf dem Schelf gemessen (Abb. 1). Der bodennahe Ausstrom mit Temperaturen um den Gefrierpunkt begann im Februar und dauerte fünf Monate an (Abb. 2). Während dieser Zeit stieg der Salzgehalt von 34,4 psu auf über 35,1 psu und die Geschwindigkeit im Mittel auf das Doppelte gegenüber den Sommermonaten (Abb. 2). Insgesamt strömte während der Meßphase ein Volumen von  $1,6 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$  aus dem Storfjord in die Norwegische See.

Das Entstehungsgebiet des aus dem Storfjord ausströmenden Schelfbodenwassers (Abb. 1) ist durch die topographischen Verhältnisse begrenzt. Aus meteorologischen Daten und der Eisbe-

5. Ausgewählte Forschungsthemen

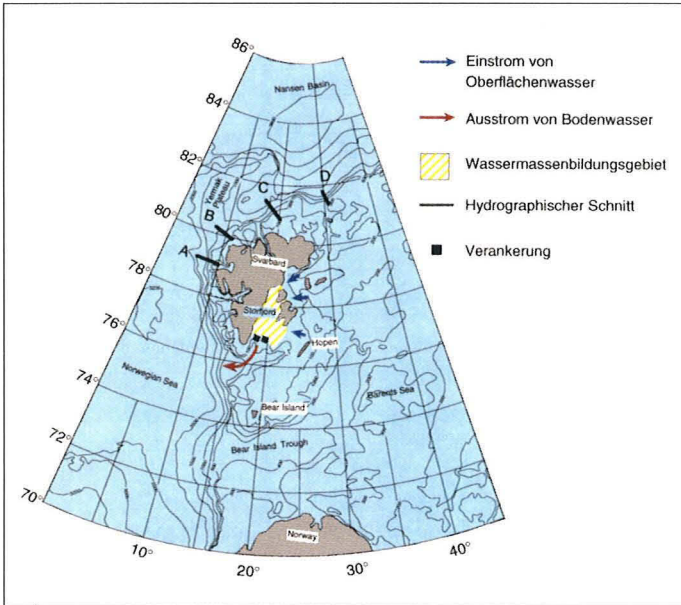


Abb. 1: Untersuchungsgebiet während der Reise ARK VIII/2 mit „Polarstern“ in die Gewässer um Svalbard im Sommer 1991.

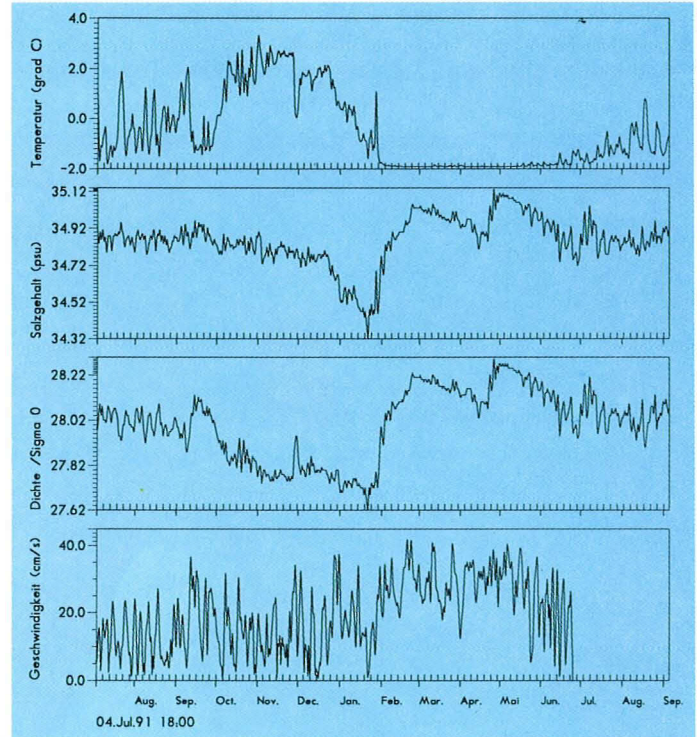


Abb. 2: Zeitreihen der Temperatur, des Salzgehalts, der Dichte und der Strömungsgeschwindigkeit gemessen mit verankerten Geräten in 15 m Bodenabstand im westlichen Storfjord.

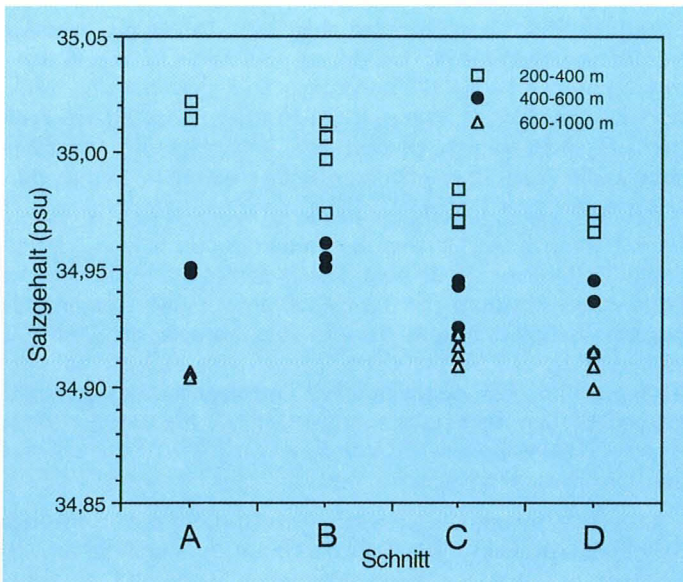


Abb. 3: Vertikal gemittelter Salzgehalt in unterschiedlichen Schichten gemessen mit „Polarstern“ im Sommer 1991 an verschiedenen Stationen auf den Schnitten A bis D (Abb. 1) am Kontinentalhang von Svalbard im Bereich des Atlantischen Wassers.

deckung wurde der Wärmefluß zwischen Ozean und Atmosphäre im Laufe des Winters 1991/92 bestimmt. Daraus ergab sich, daß in diesem Gebiet  $6 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$  Eis gebildet wurden, wodurch der Salzgehalt des Wassers im Storfjord um 0,3 psu stieg. Der Salzgehalt des Oberflächenwassers östlich von Svalbard, das über flache Bänke in das Entstehungsgebiet einströmen kann, beträgt aber 34,3 psu. Daher ist der am Ende des Winters im Ausstrom gemessene Salzgehalt von 35,1 psu (Abb. 2) nur zu erklären, wenn außerdem salzreiches atlantisches

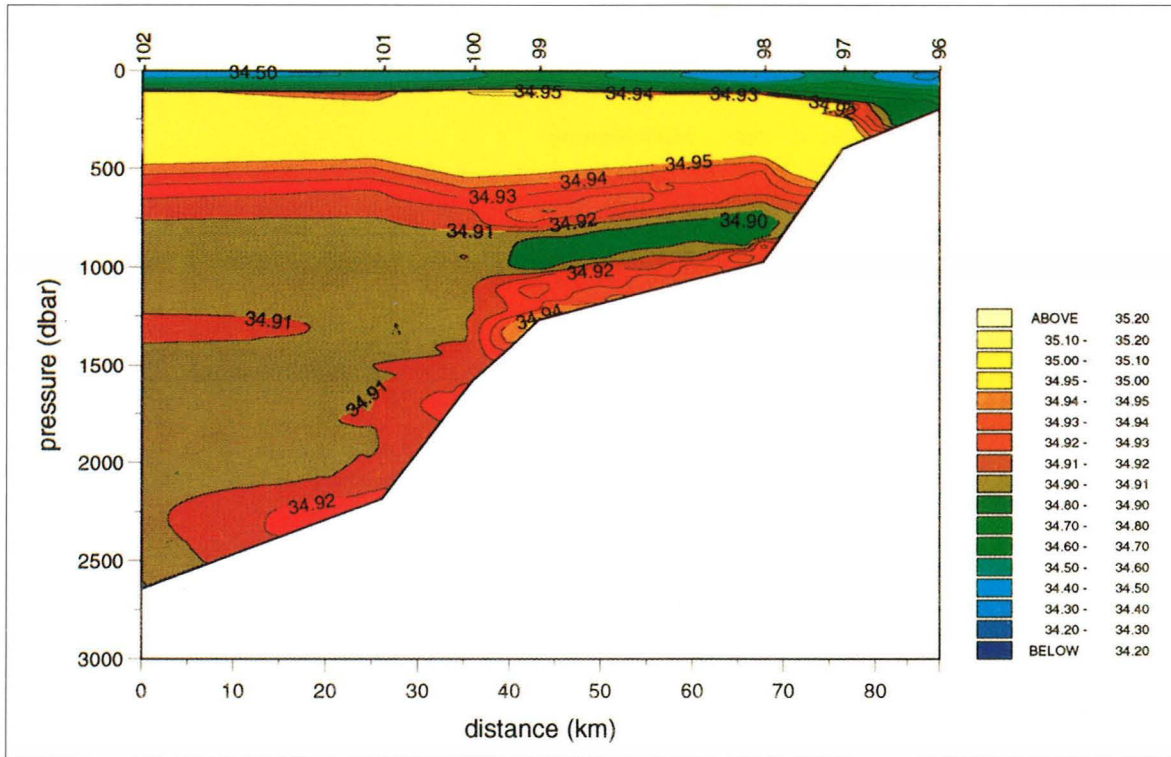


Abb. 4:  
Vertikale Salzgehalts-  
verteilung auf einem  
Schnitt durch die  
Framstraße westlich  
von Svalbard (Schnitt A  
in Abb. 1) gemessen  
mit „Polarstern“ im  
Sommer 1988

Wasser durch winterliche Konvektion nach oben gemischt wurde und in das Entstehungsgebiet eingeströmt ist.

Das Schelfbodenwasser breitet sich zum Kontinentalabhang hin aus und sinkt dort ab. Mit zunehmender Tiefe nimmt der Dichteunterschied zum Umgebungswasser ab, und der Strom dreht unter dem Einfluß der Corioliskraft in hangparallele Richtung ein. In der Norwegischen See trifft das Schelfbodenwasser in den oberen Schichten auf warmes, salzreiches Atlantikwasser, und darunter auf das kalte, salzarme Tiefenwasser aus der Grönlandsee (Abb. 4). Aufgrund seiner geringeren Dichte schichtet sich die salzarme Fraktion des ausströmenden Schelfbodenwassers im oberen Teil der Wassersäule ein und vermischt sich mit dem salzreichen Kern des Atlantikwassers, was dessen Salzge-

halt verringert. Die salzreichen Fraktionen können tiefer absinken und erhöhen damit den Salzgehalt des Tiefenwassers.

Auf einem Schnitt durch die Framstraße westlich von Svalbard zeigen horizontale Intrusionen von salzarmem und salzreichem Wasser in unterschiedlicher Tiefe, daß die Grenze zwischen positivem und negativem Salzfluß etwa bei 1000 m liegt (Abb. 4). Derartige Intrusionen bestimmen im weiteren Verlauf des Stromes entlang des Kontinentalhangs den Salzgehalt. In der Schicht zwischen 200 und 400 m nimmt der Salzgehalt des salzreichen Kerns des atlantischen Wassers kontinuierlich nach Nordosten ab (Abb. 3). Diese Abnahme wird mit wachsender Tiefe geringer und ist unterhalb von 600 m nicht mehr nachweisbar.

## Atmosphärische Rollenkonvektion in der Framstraße

Der Nordatlantik im Bereich der Framstraße gehört zu den Meeresgebieten mit den größten Energieverlusten an die Atmosphäre. Besonders große Wärmemengen werden dem Ozean durch Ausbrüche polarer Kaltluft entzogen, wenn diese von Grönland und den Eismeeren kommend über den wärmeren Ozean strömt. Nach Überqueren der Eiskante passieren diese  $-10$  bis  $-40$  °C kalten Luftmassen das wesentlich wärmere Meerwasser (mindestens  $-1,8$  °C an der Oberfläche). Unter Ausbildung einer konvektiven Grenzschicht wird die Atmosphäre dann nach Süden hin rasch erwärmt. Die Abkühlung des Ozeans führt zu erheblicher Neueisbildung und zum Absinken kalten Wassers. Die Grönlandsee stellt damit eine wichtige Quelle für atlantisches Tiefenwasser dar.

Die Wechselwirkungen zwischen Ozean, Eis und Atmosphäre beeinflussen also sowohl die großräumigen Meeres- als auch Luftströmungen. Für die Klimamodellierung ist es wichtig, die beschriebenen Prozesse richtig zu behandeln. Das AWI setzt daher die Polarflugzeuge ein, um atmosphärische Turbulenz und Konvektion über Eis und Wasser zu vermessen und betreibt das mesoskalige Modell METRAS, um die Entstehung der konvektiven Grenzschicht zu berechnen.

### Messung

Im folgenden wird ein Kaltluftausbruch beschrieben, der sich während des Feldexperimentes REFLEX I im Herbst 1991 westlich von Spitzbergen ereignete. Über einen Bereich von mehreren tausend Quadratkilometern traten dabei turbulente Wärmeströme von mehr als  $400 \text{ W/m}^2$  auf.

Einen Querschnitt durch den Aufbau der konvektiven Grenzschicht zeigt die Abbildung 2. Dargestellt sind die Felder der spezifischen Feuchte und der äquivalent potentiellen Temperatur. Diese in der Meteorologie häufig verwendete Temperatur berücksichtigt im Unterschied zur sonst üblichen Definition auch die latente Wärme des in der Luft enthaltenen Wasserdampfs. Dieses Temperaturmaß wurde hier gewählt, um den Vergleich mit den unten beschriebenen Modellergebnissen zu erleichtern. Das abgebildete Gebiet wurde von links nach rechts durchströmt. Die Abbildung verdeutlicht die Erwärmung der Atmosphäre südlich des Meereisrandes. Man sieht, daß es über dem Ozean einen Bereich gibt, in welchem die äquivalent potentielle Temperatur höhenkonstant bleibt. Dies kennzeichnet eine konvektive Grenzschicht. Sie ist im betrachteten Fall am Meereisrand sehr flach und erreicht in 200 km Entfernung eine Schichtdicke von ca. 1000 m.

### Modellierung

Zur Modellierung dieses Kaltluftausbruches wurde das Modell METRAS mit einer Turbulenzparametrisierung benutzt, die im Unterschied zu früheren Ansätzen auch bei starker Konvektion anwendbar ist. Als Eingangsdaten dienten die vom Flugzeug über dem Eis gemessenen Profile von Temperatur, Feuchte und Wind.

Die Abbildung 3 zeigt den Nord-Süd-Schnitt der vom Modell gelieferten Ergebnisse für die spezifische Feuchte und die äquivalent potentielle Temperatur. Das Modell erfaßt die Grenzschichtentwicklung in guter Übereinstimmung mit den Messungen. Die im Vergleich zu den Messungen etwas höhere Temperatur am rechten Rand des Gebietes ist auf die höheren Werte

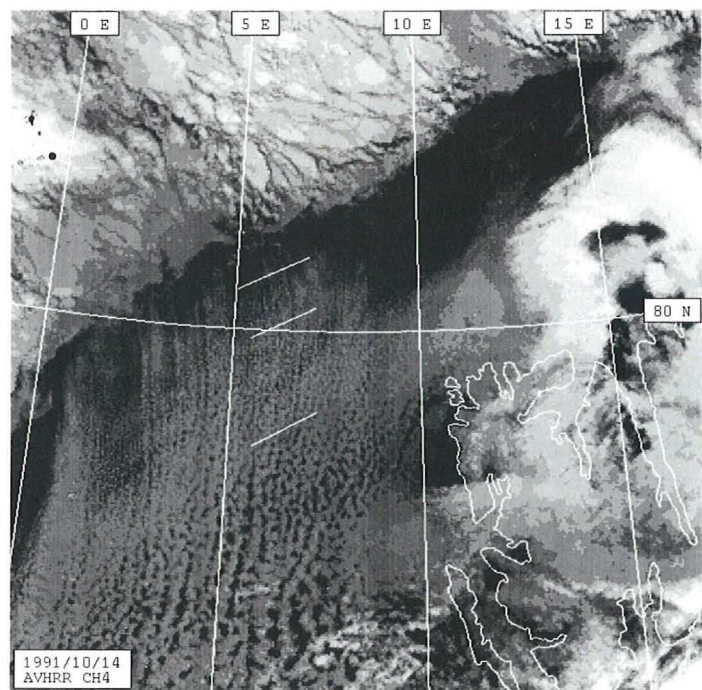


Abb. 1: Satellitenbild des nördlichen Spitzbergens und des östlichen Teils der Framstraße, aufgenommen von NOAA 11 (Kanal 4) am 14. 10. 1991. Über dem schwarz dargestellten Ozean sind die Konvektionsrollen als hellgraue, meridionale Wolkenstreifen erkennbar.



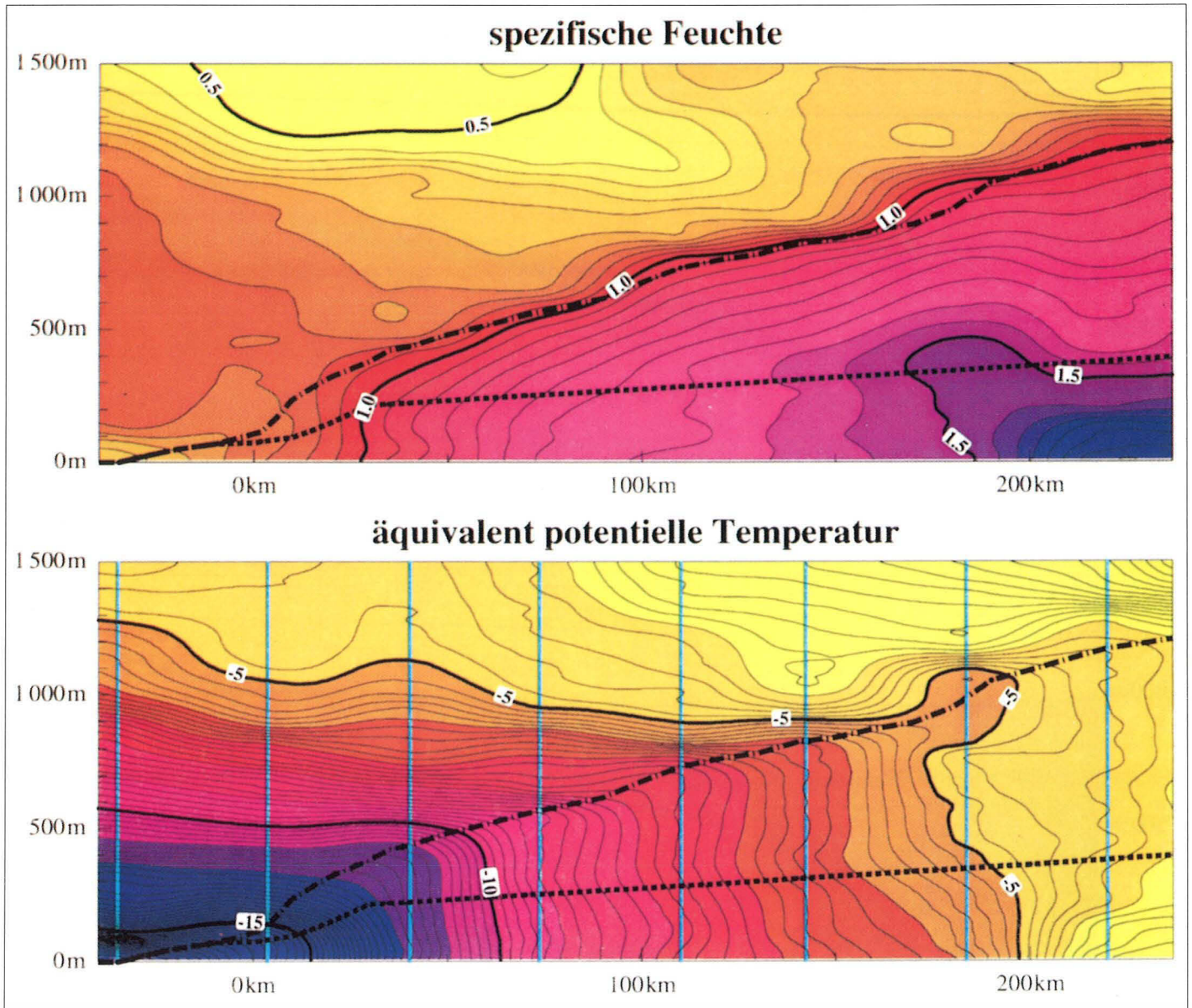


Abb. 2: Querschnitt durch den Aufbau einer konvektiven Grenzschicht über der Grönlandsee bei Nordströmung. Der Ursprung der Abszisse bezieht sich auf den Meeresrand. Die Felder wurden mit einer Serie von Fallsonden vermessen, die aus der „Polar 2“ abgeworfen wurden. Vertikale, blaue Linien geben die Positionen der Sonden an. Die spezifische Feuchte ist in g/kg und die potentielle Temperatur in Grad C angegeben. Die fette, strichpunktete Linie gibt die Obergrenze der thermisch durchmischten Grenzschicht an, die gestrichelte Linie die Untergrenze der Konvektionsbewölkung.

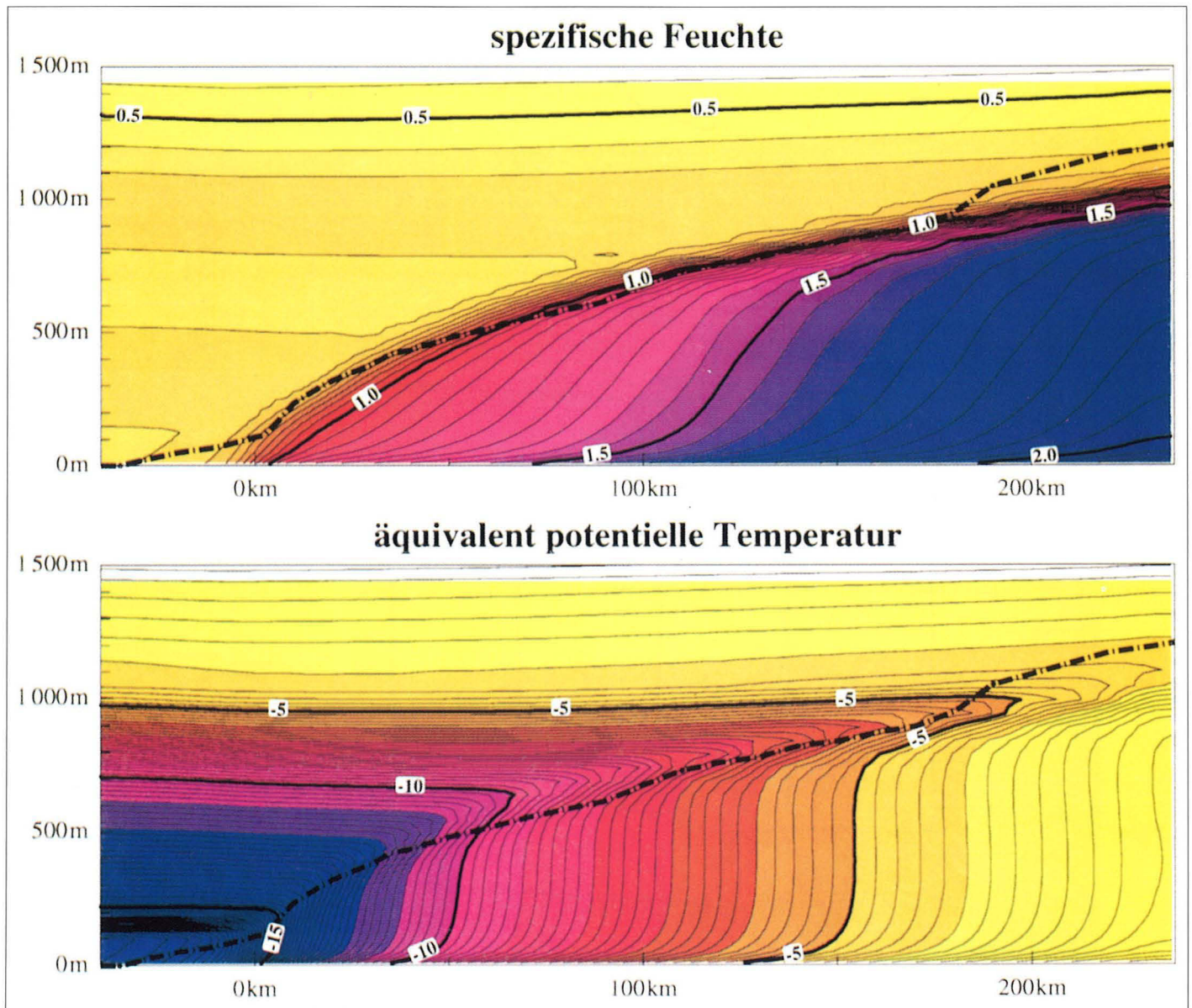


Abb. 3: Modellierung des in Abb. 2 gezeigten Meßfalles.

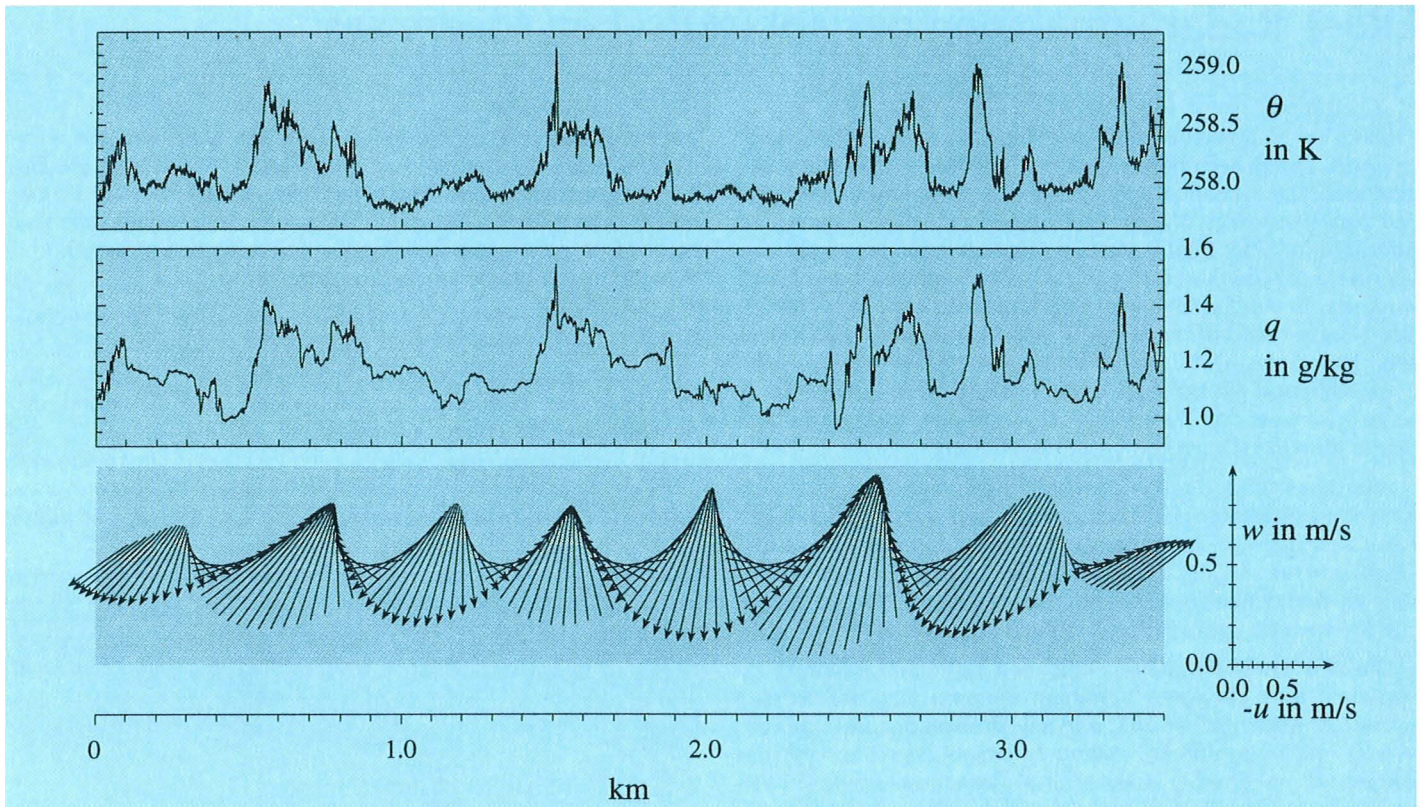


Abb. 4: Zeitserien von  $\theta$ ,  $q$  und der zu den Rollenachsen orthogonalen Windkomponenten  $u$  und  $w$ . Der Flugabschnitt wurde in 67 m Höhe und in 24 km Abstand von der Eiskante quer zu den Rollenachsen geflogen. Die Windkomponenten wurden mit einem Bandpassfilter behandelt, der nur Perioden zwischen 0,7 km und 1,7 km Länge passieren läßt. Dieser Periodenbereich entspricht dem aus der Spektralanalyse ermittelten Skalenbereich der Rollen für diesen Flugabschnitt.

der spezifischen Feuchte zurückführbar. In der hier verwendeten Version des Modells werden keine wolkenphysikalischen Effekte berücksichtigt, so daß die Feuchte nicht wie in der Natur als Niederschlag ausfallen kann, sondern sich in der Grenzschicht anreichert.

#### Rollenstruktur

Beobachtungen sowie Ergebnisse numerischer Modelle zeigen, daß sich die Konvektion bei einer ausreichend hohen Windgeschwindigkeit in einer zur Windrichtung parallelen Rollenstruktur organisiert. Auf Satellitenbildern lassen sich die bis zu einigen hundert Kilometern langen Rollen als Wolkenstreifen erkennen (Abb. 1).

Zur Bestimmung von Details der Konvektionstruktur wurden

in niedriger Höhe Flugabschnitte quer zur Strömungsrichtung geflogen. Eine Spektralanalyse der turbulenten Größen ergibt, daß 25 % des Wärmeflusses im Größenbereich der Rollen stattfindet. Das Seitenverhältnis der Rollen steigt von 3 am Eisrand auf 7 in 100 km Entfernung an. In der Abbildung 4 wird die Rollenzirkulation aus den Geschwindigkeiten deutlich. Die hohe positive Korrelation zwischen der potentiellen Temperatur  $\theta$ , der spezifischen Feuchte  $q$  und der Vertikalgeschwindigkeit  $w$  veranschaulicht die großen turbulenten Energieströme.

Im Modell sind die Konvektionsrollen nicht auflösbar, so daß die damit verbundene Vertikalbewegung als subskalige Turbulenz erfaßt werden muß. Die Messungen dienen daher als Test für die im Modell notwendigerweise enthaltene Turbulenzparametrisierung.

## ERS-1 Radaraufnahmen des antarktischen Meereises

Das Meereis spielt für die Entwicklung des Klimas eine wichtige Rolle. Durch sein hohes Reflexionsvermögen und seine isolierenden Eigenschaften verändert es die Strahlungsbilanz und den Austausch von Wärme und Impuls zwischen Ozean und Atmosphäre. Über dem Packeis ist die Luft bedeutend kälter als über dem offenen Meer. In den Gebieten, wo Meereis entsteht, wird durch die Salzabgabe beim Gefrierprozeß (Meereis hat einen Salzgehalt von etwa 0,5%, das Meerwasser, aus dem es gebildet wurde, 3,4%) dichteres Wasser produziert, das nach unten sinkt und die Tiefenzirkulation der Ozeane antreibt. Beobachtungen über den Zustand der Meereisbedeckung sind daher für die Klimaforschung von großer Bedeutung.

Allerdings sind direkte Beobachtungen der Packeisgebiete schwer zu realisieren. Eine Reihe wichtiger Merkmale des Meereises – wie z. B. Ausdehnung, Bedeckungsgrad, Bewegung, Oberflächenrauigkeit und Größenverteilung der Schollen – sind glücklicherweise mit Messungen im optischen, infraroten und Mikrowellenbereich von Satelliten aus zu erfassen.

Die Mikrowellenverfahren zeichnen sich im Gegensatz zu optischen und infraroten Verfahren dadurch aus, daß sie das ganze Jahr über nutzbar sind, und daß Wolken den Blick auf das Meereis nicht behindern. Aktive Mikrowellengeräte, wie das Radar mit synthetischer Apertur (SAR) des europäischen Fernerkundungssatelliten ERS-1, welche Radarwellen aussenden und das zurückgestreute Signal untersuchen, sind außerdem durch eine hohe räumliche Auflösung gekennzeichnet.

Die Abbildung 1 zeigt ein Radarbild aus dem meereisbedeckten westlichen Weddellmeer, das am 17. Juli 1992 von der O'Higgins-Station aufgenommen wurde. Es besteht aus zwei SAR-Szenen, die zusammen 100 km x 200 km überdecken, wobei die maximale Auflösung, d.h. die Bildelementgröße, 12,5 m x 12,5 m beträgt. Die hellsten Bereiche, das heißt die mit der höchsten Rückstreuung, sind Tafelbergberge. Ihre Größe liegt zwischen 0,4 und 1,5 km<sup>2</sup>. Da das Radar die Erdoberfläche nicht senkrecht, sondern unter einem Winkel von 23° beleuchtet, läßt sich die Höhe der Eisberge anhand ihres Schattens aus den Bildern abschätzen. Berücksichtigt man noch den Tiefgang der Eisberge, erhält man eine Gesamthöhe von 180 – 200 m.

Der Vergleich mit einer Aufnahme vom Oktober 1991 zeigt, daß die Lage der Eisberge sich seitdem nicht verändert hat. Vermutlich saßen sie auf dem Meeresboden fest. Die Radarbilder

geben daher indirekt Aufschluß über die Lage und die Mindesthöhe des untermeerischen Gebirgrückens, an dem die Eisberge hängengeblieben sind. In späteren Aufnahmen (Dezember 1992) fehlen diese Eisberge. Sie waren inzwischen offenbar soweit abgeschmolzen, daß sie über den Rücken gelangen und ihre Drift nach Norden fortsetzen konnten.

Im überwiegend dunkleren Teil der Abbildung 1 ist die Schollenstruktur des Meereises zu erkennen. Da Meereis salzig ist, hat es einen weitaus geringeren Rückstreckkoeffizienten als das Süßwassereis der Eisberge. Normalerweise treibt der Wind das Meereis im westlichen Weddellmeer entlang der Küste der Antarktischen Halbinsel nach Norden. Während der stationären Lage der Eisberge wurde es durch den starken Windschub zwischen den Eisbergen hindurch nordwärts gedrückt. In Lee hinter

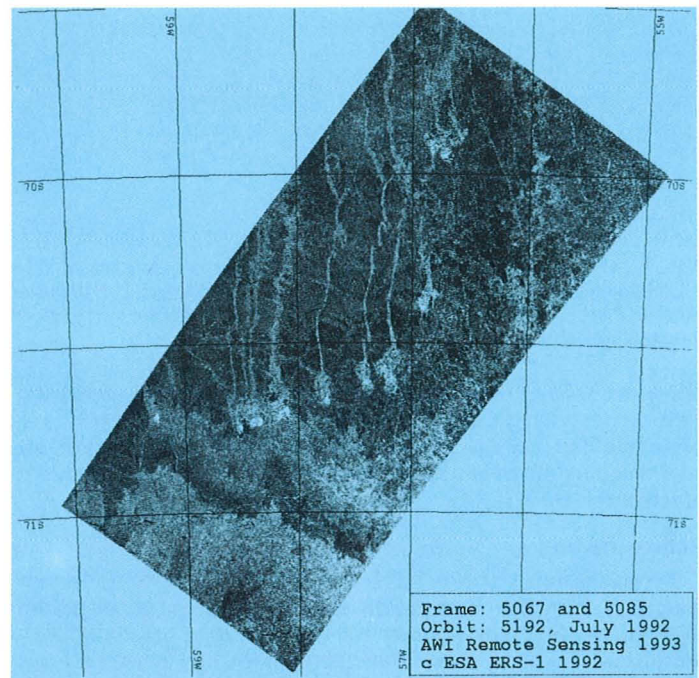


Abb.1: Aufnahme des Radars mit synthetischer Apertur (SAR) auf dem europäischen Fernerkundungssatelliten ERS-1 vom meereisbedeckten westlichen Weddellmeer am 17. Juli 1992.

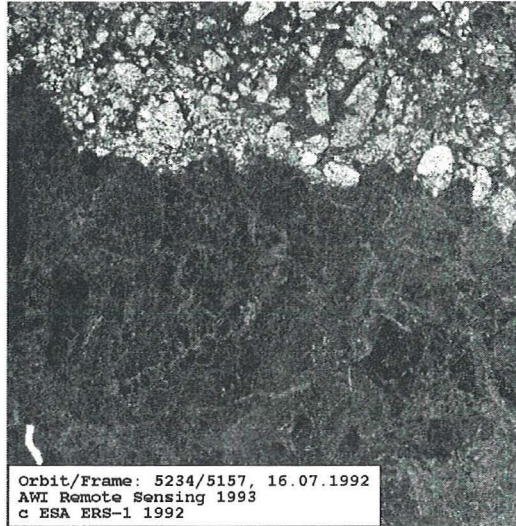


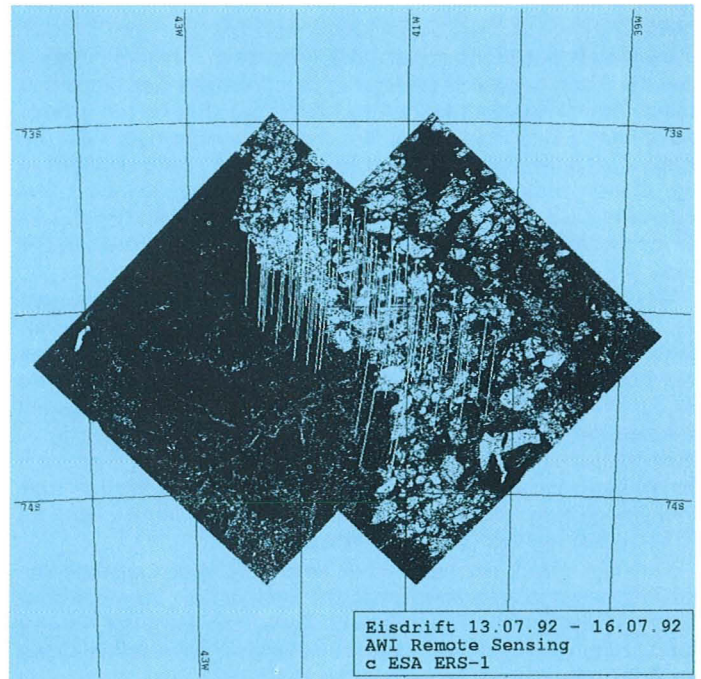
Abb.2:  
SAR-Bildpaar aus dem südwestlichen Weddellmeer vom 13. (links) und 16. Juli 1992 (rechts).

den Eisbergen entstanden offene Rinnen, die sich rasch mit dünnem Eis bedeckten. Dieses wurde auf dem Wege nach Norden durch die Bewegung des Meereises stark deformiert. Wegen seiner rauheren Oberfläche und dementsprechendem größerem Rückstreuvermögen erscheint es daher als helle Streifen im Radarbild. Der nahezu parallele Verlauf der Streifen zeigt, daß die Bewegung des Meereises in diesem Bereich des Weddellmeeres relativ homogen ist. Diese Tatsache bestätigen auch andere Satellitendaten und Trajektorien von Bojen, die auf dem Meereis ausgesetzt wurden.

Das Bewegungsfeld des Meereises läßt sich aus Satellitenbildern bestimmen, wenn eine Reihe von zeitlich dicht aufeinanderfolgenden Aufnahmen vorhanden ist. Durch automatisierte Korrelationsverfahren lassen sich dann die Verlagerungen der Schollen von einem Bild zum nächsten ermitteln. Im Gegensatz zu Trajektorien einzelner Bojen erhält man so das gesamte Geschwindigkeitsfeld über einem größeren Bereich, von dem man horizontale Unterschiede leicht bestimmen und damit Informationen über die Meereisdynamik erhalten kann. Die Abbildung 2 zeigt als Beispiel ein SAR-Bildpaar vom südwestlichen Weddellmeer am 13. und am 16. Juli 1992. Die berechneten Driftvektoren sind in der Abbildung 3 dargestellt. Die mittlere Driftgeschwindigkeit beträgt 9 cm/s, d. h. das Meereis legt pro Tag etwa 8 km zurück. Die horizontale Struktur des Geschwindigkeitsfeldes ist ein wichtiger Datensatz zur Optimierung und Verifikation von numerischen Meereismodellen, die zur Zeit für verbesserte Klimavorhersagen mit gekoppelten Zirkulationsmo-

dellen für Atmosphäre, Ozean und Meereis entwickelt werden.

Abb.3:  
Meereis-Driftvektoren bestimmt mit Hilfe des Bildpaares aus Abb.2, unterlegt mit dem Radarbild vom 13. Juli 1992.



## Der Einfluß von Algen auf die physikalischen Prozesse im Meereis: ein Modell

Im arktischen wie im antarktischen Meereis werden vor allem im Sommer hohe Konzentrationen von einzelligen Kieselalgen (Diatomeen) beobachtet. Die Algen wachsen im Eis trotz geringen Lichtangebots und geringer Temperaturen. Während der Algenblüte in den Sommermonaten können Chlorophyllwerte bis zu 1000 mg pro m<sup>2</sup> erreicht werden. Durch die Absorption von Licht und dessen Umwandlung in Wärme haben die Algen Einfluß auf die im Eis vorhandene Strahlung und damit auf den Wärmehaushalt.

Obwohl Feldbeobachtungen darauf hindeuten, daß die erhöhte Strahlungsabsorption zu einer Beschleunigung der sommerlichen Eisschmelze führen kann, gibt es bislang keine quantitative Abschätzung dieses Effekts. Modellrechnungen, die wir zu diesem Zweck durchgeführt haben, zeigen, daß die Auswirkungen eher gering sind, wenn sich die Algen bei großräumiger Schneebedeckung in den unteren Eisschichten konzentrieren. Bei geringer Schneeeauflage bzw. oberflächlichen Algenanreicherungen unter gering bewölktem Himmel können jedoch beachtliche Effekte auftreten.

Im Festeis des McMurdo-Sundes (Rossmeer, Antarktis, Abb.1) sind die Algen beispielsweise nur in den untersten Eisschichten in extrem hohen Konzentrationen zu finden. Sie absorbieren nahezu das gesamte Licht (bis zu 95 %), das bis dorthin durch das Eis dringt (Spitzenwerte über 10 W/m<sup>2</sup>). Sind die Algen dagegen in den oberen Schichten, wird die Albedo drastisch reduziert und durch die Erwärmung und den damit verbundenen Anstieg des im Eis eingeschlossenen Solevolumens erhöht sich die Porosität des Eises.

Wir haben versucht, diese Prozesse durch ein eindimensionales, thermodynamisches Eismodell und ein daran gekoppeltes Strahlungsmodell zu beschreiben. Das Eismodell geht auf Maykut und Untersteiner zurück und löst die Wärmeleitungsgleichung im Eis durch ein Finite-Differenzen-Verfahren. Das Strahlungsmodell simuliert den kurzwelligen Strahlungsfluß an der Eisoberfläche zu einer bestimmten Jahres- und Tageszeit. Die Strahlung wird nach der Wellenlänge aufgelöst. Die Lichtabsorption einer Wellenlänge erfolgt nach dem Lambert-Beerschen Gesetz. Das Modell wird auf einem Vektorrechner (Cray) am AWI integriert.

Von den verschiedenen, bisher durchgeführten Experimenten hat insbesondere eine Simulation der Verhältnisse im McMurdo-Sund wichtige Erkenntnisse erbracht. Zur Bestimmung der Absorption von kurzwelliger Strahlung durch Mikroalgen wurden Daten aus *in situ* Messungen benutzt (siehe Abb. 2d).



Abb.1: Unterwasseraufnahme der Eisunterseite im McMurdo-Sund, Rossmeer, Antarktis. Im oberen Teil des Bildes sieht man mit Algen durchsetztes Plättcheneis. Unterhalb der Grenze zwischen Eis und Wasser (dunkler Streifen im unteren Drittel) ist der Meeresboden zu erkennen.

In der Abbildung 2 ist für den 21. Dezember bei leichter Bewölkung die Absorption der Strahlung im optischen Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm innerhalb des Eises sowie in der Algenschicht (unterste 20 cm des Eises) dargestellt. Der schraffierte Bereich in den Diagrammen 2a und 2b zeigt jeweils die Fläche der darunter folgenden Kurven. An der Oberfläche ist die Spektralverteilung relativ ausgeglichen mit einer Strahlungsleistung von etwa 700  $\mu\text{Ein}/\text{m}^2\text{s}$  (entspricht etwa 150 W/m<sup>2</sup>). Infolge des hohen Absorptionskoeffizienten des Eises im langwelligen Bereich liegt das Maximum des Spektrums in 1,6 m Tiefe bei etwa 500 nm, entsprechend einer Leistung von 4 W/m<sup>2</sup>. Unterhalb der Algenschicht ist das Spektrum in den langwelligen Bereich verschoben, entsprechend einer Leistung von nur 0,1 W/m<sup>2</sup>. Das hier auftretende Maximum um 600 nm (man beachte, daß die gesamte transmittierte Leistung nur ca. 0,5  $\mu\text{Ein}/\text{m}^2\text{s}$  beträgt), erklärt sich durch die hohe Absorption der Algen zwischen 400 nm und 550 nm (siehe Abb. 2d).

Die Integration über ca. 100 Modelltage (Ende Oktober bis Anfang Februar) zeigt, daß die Schmelzrate an der Unterseite der Eisscholle aufgrund der erhöhten Erwärmung durch die Algen ansteigt. Die Schneehöhe wurde in Übereinstimmung mit Feldbe-

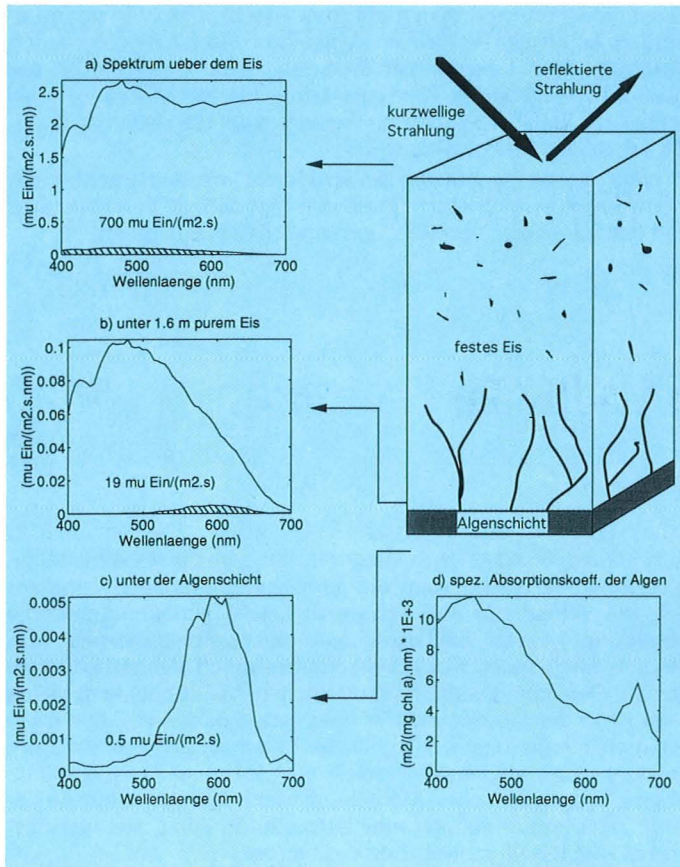


Abb.2: Lichtabsorption im Eis und durch Algen: Photonenfluß (Strahlungsflußdichte) an der Eisoberseite (a), unmittelbar oberhalb der Algenschicht in 1,6 m Tiefe (b) und unter der Algenschicht (c), man beachte die Einheiten. Der gesamte verfügbare Photonenfluß im sichtbaren Bereich (400 nm bis 700 nm) beträgt in (a) 700  $\mu\text{Ein}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , in (b) 19  $\mu\text{Ein}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  und in (c) 0,5  $\mu\text{Ein}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . Der schraffierte Bereich in Abb. 2a und 2b zeigt jeweils die Fläche der darunter folgenden Kurven. (d) Spezifischer Absorptionskoeffizient der Algen aus *in situ* Messungen. Gezeigt sind Tagesmittelwerte für die Verhältnisse im McMurdo-Sund am 21. Dezember bei leichter Bewölkung. Die Schneebedeckung beträgt 0 cm.

obachtungen im McMurdo-Sund zu 10 cm bis Anfang Dezember und 0 cm ab diesem Zeitpunkt angenommen. Das Algenwachstum erfolgte linear bis zu einem maximalen Wert von 300  $\text{mg Chlorophyll a}/\text{m}^2$  (Anfang Dezember). Die Algen befanden sich stets 20 cm oberhalb der Eisunterseite, bei Schmelzen verringerte sich die Dicke der Algenschicht entsprechend.

Die Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der Eisdicke von Ende Oktober bis Anfang Februar, jeweils mit und ohne Berücksichtigung der Algenschicht. Die Eisdicke nimmt bis Anfang Dezember zu (Tag 340, Dicke ca. 182 cm), danach setzt das Abschmelzen an der Unterseite des Eises ein. Für den Fall des algenfreien Eises beträgt die Dicke am 4. Februar 176,6 cm. Bei einem Chlorophyllbestand von 300  $\text{mg}/\text{m}^2$  verringert sich die Dicke auf 170,3 cm. Der Unterschied beträgt also ca. 6 cm. Das Modell zeigt damit eine deutlich erhöhte Schmelzrate an der Unterseite der Eisscholle, wenn Algen vorhanden sind. Physikalisch ist dies so zu verstehen: Der Temperaturgradient in den untersten Schichten des Eises bestimmt die Schmelzrate. Durch die erhöhte Absorption von Licht und dessen Umwandlung in Wärme wird der Temperaturgradient vergrößert und somit die Schmelzrate erhöht.

Für den Massenhaushalt des Meereises ist dieses Abschmelzen weitgehend zu vernachlässigen. Für die biologischen Prozesse unter dem Eis jedoch ist es wichtig: In den untersten Zentimetern des Eises befindet sich eine erhebliche Menge an Biomasse. Schmilzt nun der untere Teil der Eises ab, verteilt sich die gesamte Biomasse in das Meer und kurbelt das Leben an. Zum Vergleich: In wenigen Zentimetern Eis befindet sich mitunter genau soviel Biomasse wie in mehreren 100 Metern Wassersäule. Zusätzlich

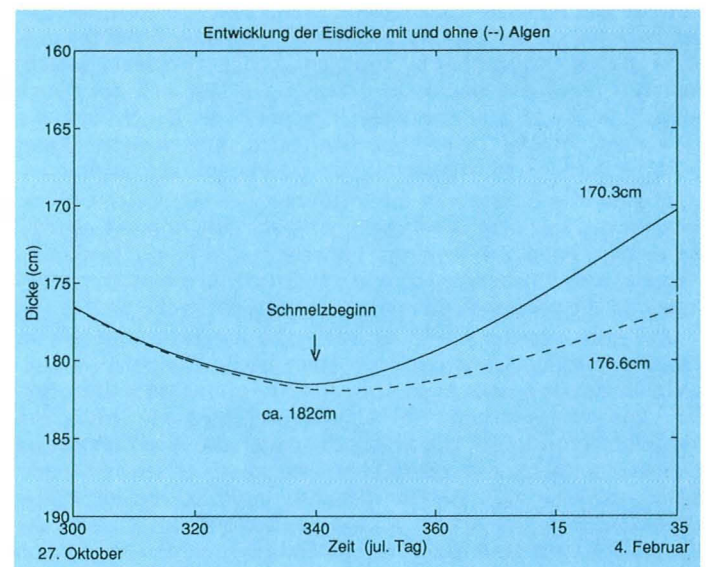


Abb.3: Entwicklung der Eisdicke in Modellrechnungen für Meereis im McMurdo-Sund. Die Eisdicke nimmt bis Anfang Dezember zu (Tag 340), von da ab setzt das Abschmelzen an der Eisunterseite ein. Man sieht eine deutlich höhere Schmelzrate in dem Modell-Lauf mit einem Chlorophyllbestand von 300  $\text{mg}/\text{m}^2$  gegenüber dem Lauf mit algenfreiem Eis.

kann den im Eis überdauernden Zellen eine wichtige Funktion als „Saatgut“ für Algenblüten im Wasser zukommen.

Dies zeigt, daß selbst ein Abschmelzen, dessen Größenordnung für die Energie- und Massenbilanz des Meereises unerheblich ist, ökologisch von großer Bedeutung sein kann. Die Algen können als Folge der erhöhten Absorption kurzwelliger Strahlung die Zerstörung ihres Lebensraums im Eis herbeiführen oder beschleunigen.

Überdies deuten weitere Modellrechnungen darauf hin, daß

Algenanreicherungen in den obersten Eisschichten, wie sie insbesondere im Eis des westlichen Weddellmeeres häufig sind, durch Absorption von kurzwelliger Strahlung, lokal die Porosität des Eises erhöhen können (Voraussetzung hierfür ist eine geringe Schneeeauflage). Dies wirkt sich wiederum auf die Eisfestigkeit aus, die mit steigender Porosität sinkt.

Weitere Untersuchungen sollen klären, inwieweit gerade die indirekten Auswirkungen in größerem Maßstab die Beschaffenheit und das Schmelzen antarktischen Meereises beeinflussen.

## Die Bestimmung der Zirkulation im Weltmeer aus hydrographischen Daten

Ein klassisches Problem in der physikalischen Ozeanographie besteht darin, aus gemessenen hydrographischen Daten (Temperatur und Salzgehalt) Strömungen abzuschätzen. Für großskalige Strömungen herrscht das als Geostrophie bezeichnete Gleichgewicht zwischen der Coriolis- und der Druckgradientkraft, mit dessen Hilfe man horizontale Strömungen aus dem Druckfeld berechnet. Aus den hydrographischen Messungen läßt sich der Druck jedoch nicht vollständig ermitteln. Der Anteil des Drucks, den die freie Ozeanoberfläche erzeugt, wird nicht mitgemessen. Daher lassen sich die Strömungen zunächst nicht vollständig bestimmen.

Es sind also zusätzliche Informationen wie die Erhaltung von Wärme und Salz oder Drehimpuls nötig, um die Strömung eindeutig zu berechnen. Am weitesten entwickelt sind hierfür mathematische Inversmodelle, die außer der Geostrophie die Massenerhaltung und die vollständige Impulsdynamik berücksichtigen.

Ziel von inversen Modellen ist es, die Meeresströmungen in einem sinnvollen Kompromiß zwischen der Erfüllung der Modellgleichungen und einer Anpassung an gemessene Daten darzustellen. Die von uns benutzte „adjungierte“ Methode erfüllt die Modelldynamik exakt. Die Kräfte, mit denen die Atmosphäre den Ozean antreibt, also Windschub, Wärmeaustausch sowie Niederschlag-Verdunstung, werden dabei in einer optimalen Weise gefunden. Es ergibt sich insgesamt ein Zustand des Ozeans der dynamisch balanciert ist und der im Einklang mit den Messungen steht.

Als globales Ozeanmodell, das für Zeiträume von Hunderten von Jahren geeignet und das gut erprobt ist, steht uns das in Hamburg entwickelte großskalige Modell LSG zur Verfügung. Das Modell wurde auf dem Computer mit gemessenen Daten der

Atmosphäre für 5000 Jahre integriert. Der gerechnete klimatologische Referenzzustand kann die gemessenen globalen Verteilungen von Temperatur und Salzgehalt bereits gut simulieren. Die Abbildung 1 zeigt die berechnete Jahresmitteltemperatur des Modells längs eines Nord-Süd-Schnittes durch den Atlantischen Ozean. Der Schnitt verläuft im westlichen Teil des Beckens. Seine Lage ist in der Übersichtskarte links unten dargestellt. Die roten Isolinien beschreiben das langjährige Mittel der gemessenen Temperaturen. Die allgemeine Verteilung wird recht gut modelliert. Abweichungen zwischen Modell und Messungen vor allem im tiefen Ozean und in den Polargebieten sind sichtbar, aber geringer als bei anderen Klimamodellen des Ozeans.

Eine wichtige Erfahrung bei der Entwicklung des Modells war, daß die niedrigen Temperaturen im tiefen Ozean nur zu erhalten sind, wenn man den Jahresgang des Antriebs durch die Atmosphäre einbezieht. Dies wurde berücksichtigt und dementsprechend bei der Modellierung eine Lösung gesucht, die den Jahresgang der hydrographischen Messungen wiedergibt. Von dem schon berechneten Zustand des Ozeans ausgehend wurde das Modell für mehrere Jahre angepaßt. Bei einem optimierten Jahresgang findet man einen Zustand, der den Messungen nahekommt und nur eine geringe zeitliche Tendenz aufweist. Die Abbildung 2 zeigt den der Abbildung 1 entsprechende Temperaturschnitt mit den neu berechneten Werten. Die Temperaturverteilung im tiefen Ozean ist deutlich besser.

Die Abbildung 3 zeigt die klimatologisch mit dem LSG Modell berechnete allgemeine Zirkulation in einer Wassertiefe von 75 Metern. Die Farbe gibt den Betrag und die Pfeile geben die Rich-



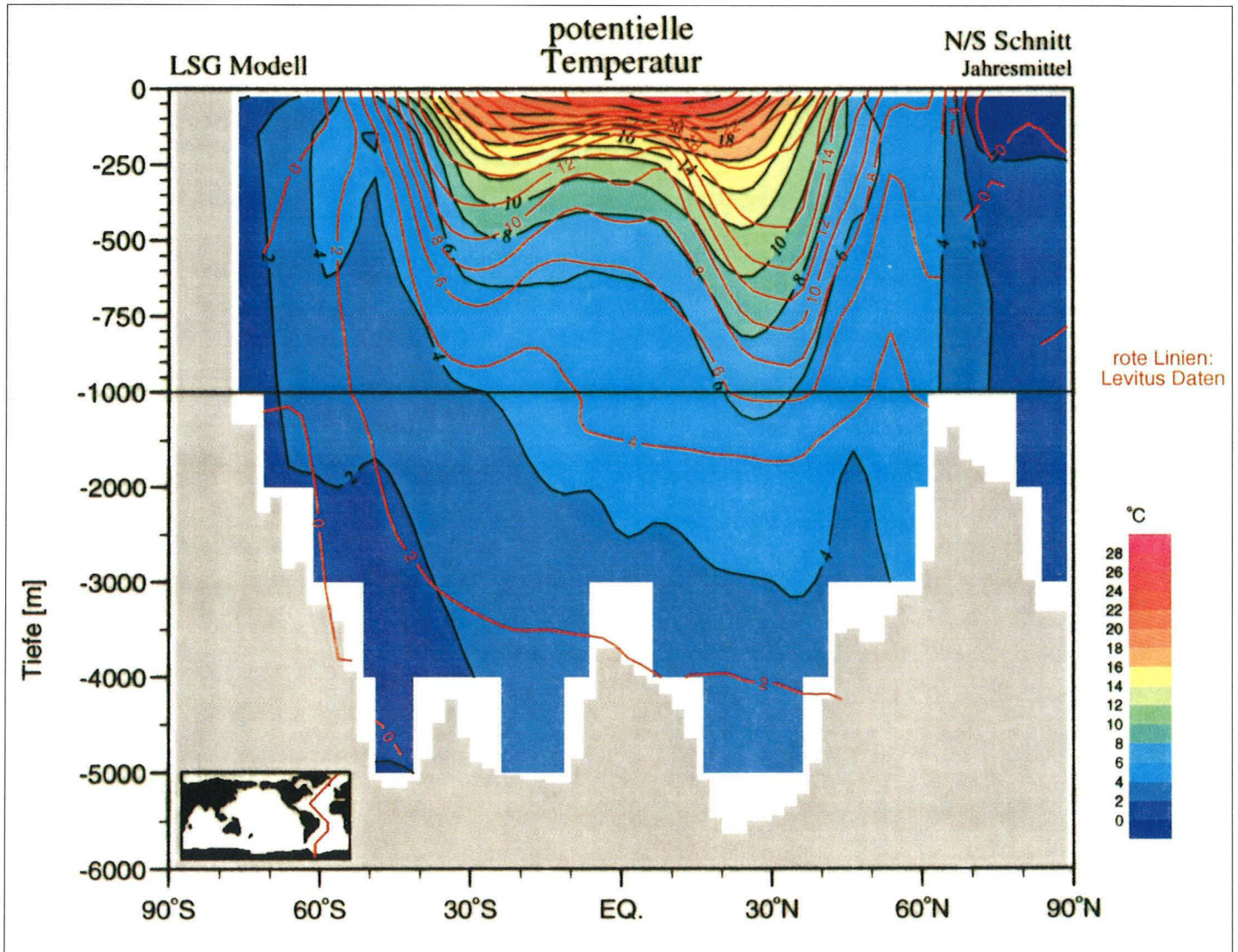


Abb. 1: Mit dem Klimamodell berechnete Temperaturverteilung entlang eines Nord-Süd-Schnittes durch den Atlantischen Ozean. Die Lage des Schnittes ist in der Übersichtskarte dargestellt. Deutlich erkennbar sind die niedrigen Temperaturen in den polaren Gebieten und im tiefen Ozean. Wärmere Temperaturen findet man in den subtropischen Wirbeln. Die roten Isolinien beschreiben Meßwerte.

tung der Strömung an. Klar erkennbar ist das äquatoriale Stromsystem und die westlichen Randströme Kuroshio und Golfstrom. Der Antarktische Zirkumpolarstrom dagegen ist sehr breit und stellenweise unterbrochen modelliert worden.

Die neu berechneten Meeresströmungen mit der Einbeziehung der Daten nach der oben beschriebenen Methode ist in der Abbildung 4 dargestellt. Sie zeigt deutliche Verbesserungen im Südlichen Ozean. Der Zirkumpolarstrom ist stärker, wesentlich schärfer

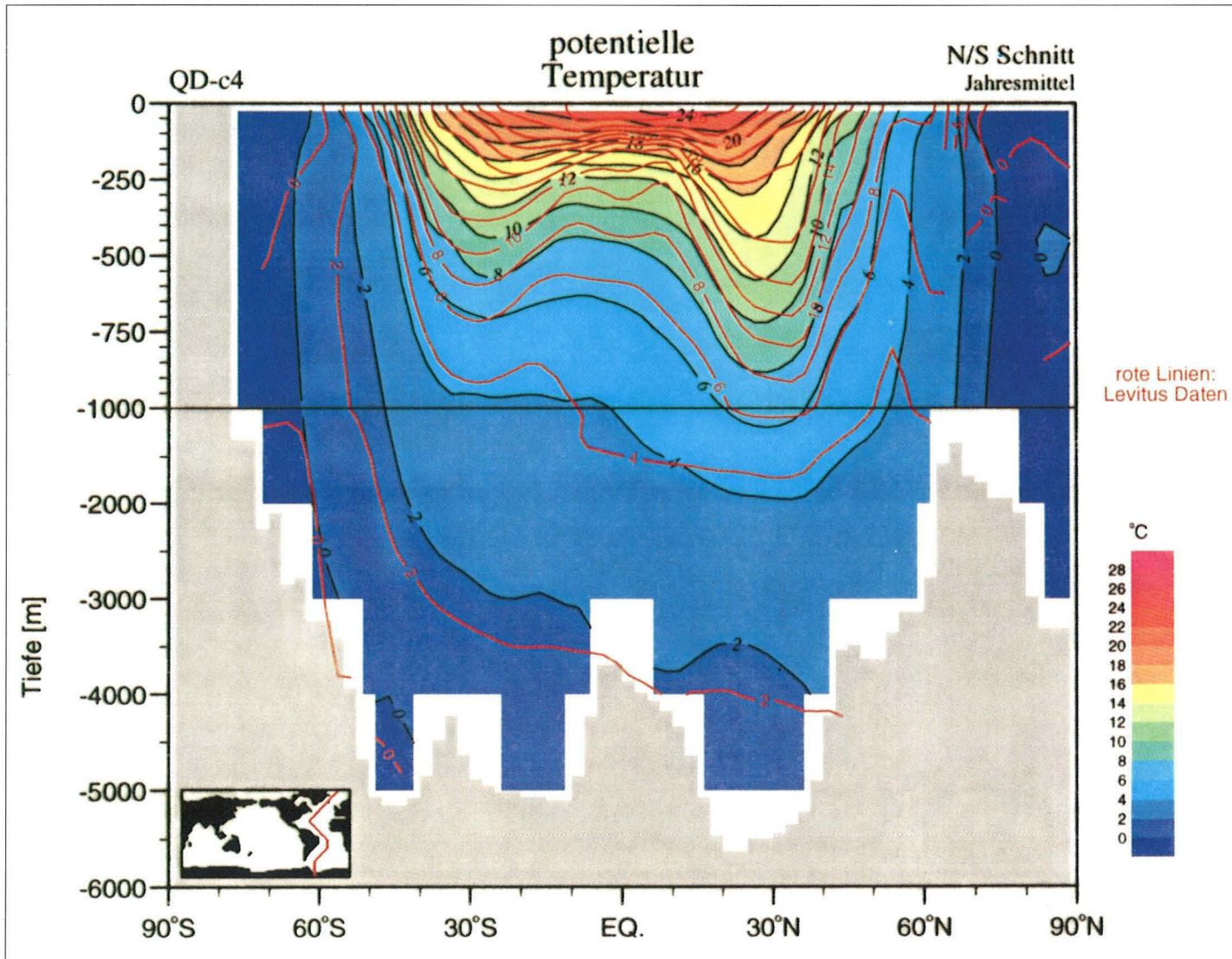


Abb. 2: Neu berechnete Temperaturverteilung im Atlantischen Ozean. Die Ergebnisse liegen wesentlich näher an den Meßwerten als beim Klimamodell.

gebündelt und nicht mehr unterbrochen. Der Weddellwirbel ist gut ausgeprägt mit einer intensiven westwärtigen Strömung entlang der Antarktis. Allerdings ergab die Neuberechnung auch eine

schlechtere Darstellung der Zirkulation im Nordatlantik. Zur weiteren Verbesserung des Modells sollen daher zusätzliche Daten einbezogen werden.

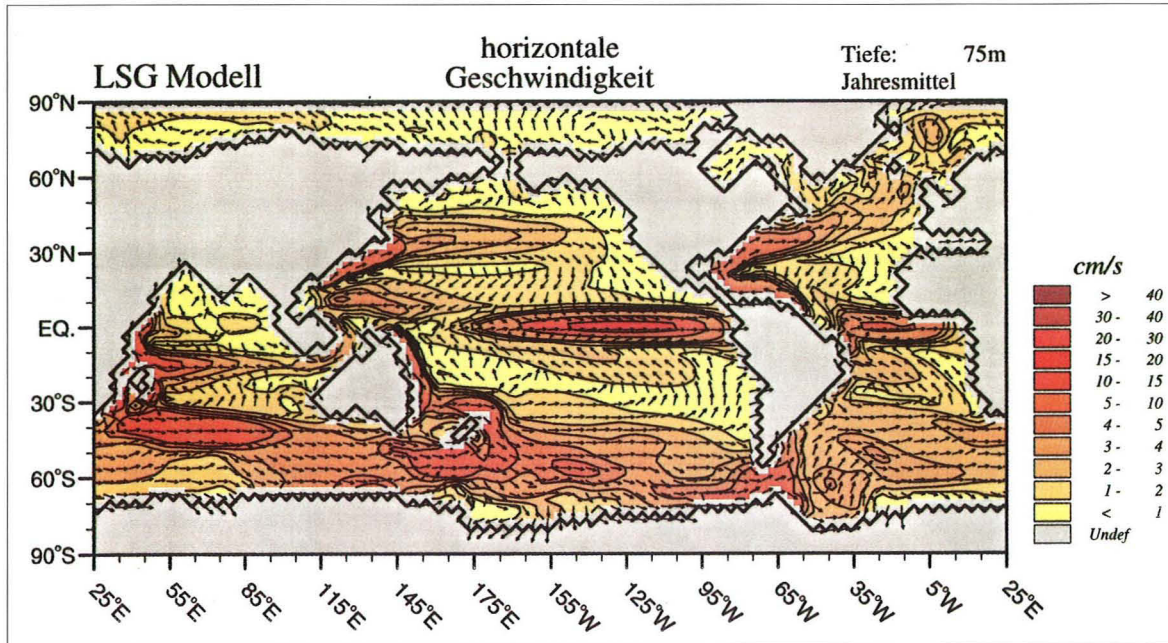


Abb. 3:  
Mit dem Klimamodell berechnete Meeresströmungen in 75 Meter Tiefe. Die Farben beschreiben den Betrag und die Pfeile die Richtung der Strömung. Die äquatorialen Stromsysteme sowie Golfstrom und Kuroschio sind gut zu erkennen. Der Antarktische Zirkumpolarstrom wird sehr breit und stellenweise unterbrochen modelliert.

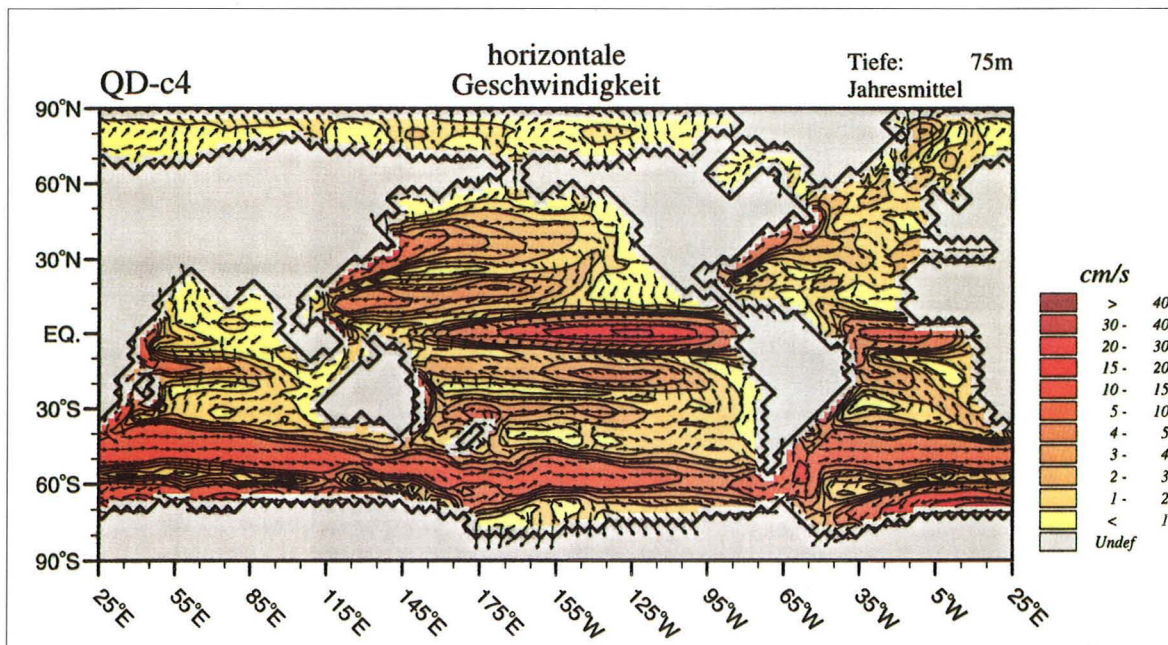
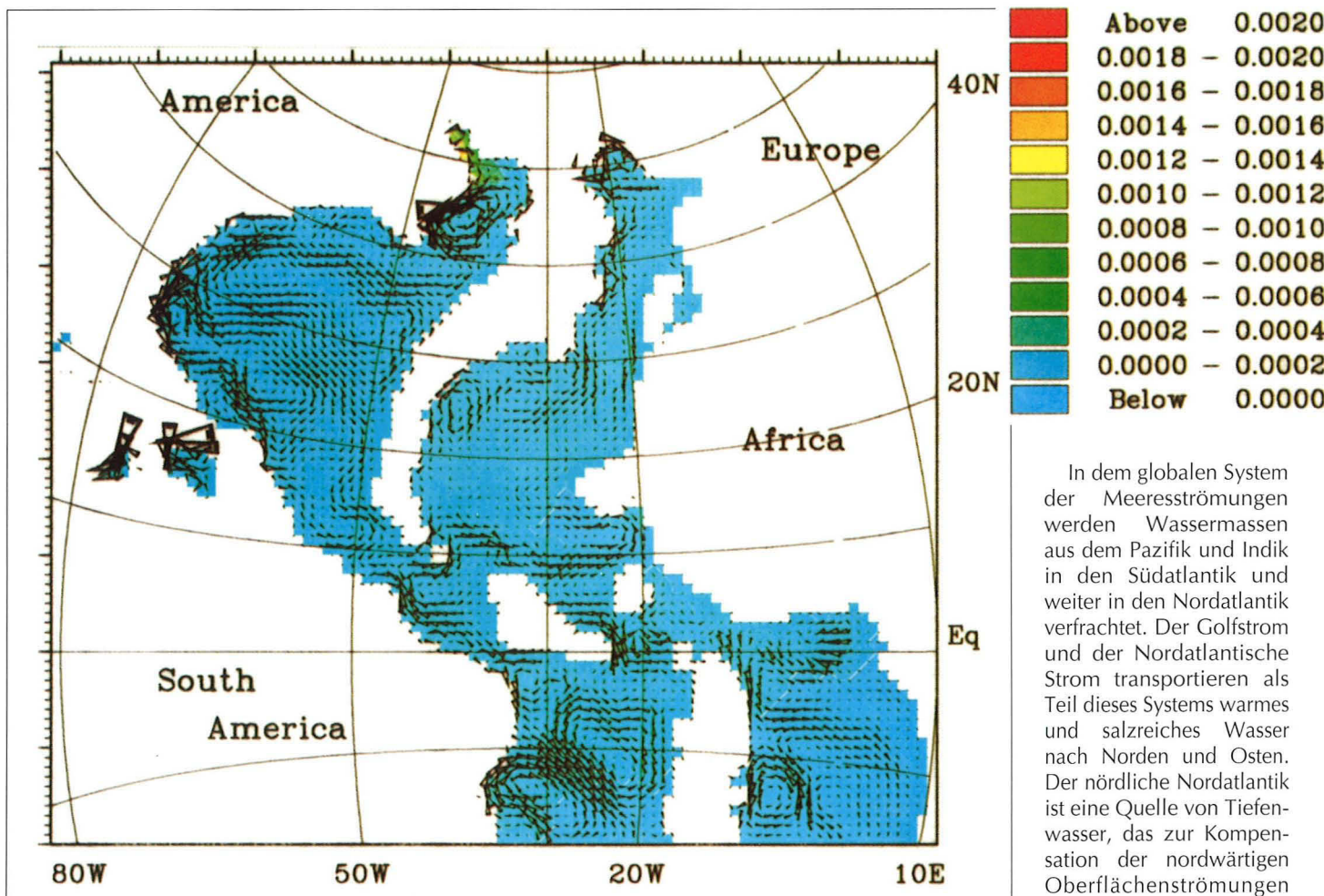


Abb. 4:  
Neu berechnete Meeresströmungen in 75 Meter Tiefe. Die Strömungen im Südlichen Ozean sind wesentlich besser dargestellt. So ist der Antarktische Zirkumpolarstrom intensiver und der Weddellwirbel ist ausgeprägt. Allerdings ist die Zirkulation im Nordatlantik etwas schlechter wiedergegeben.

## Auswirkungen der Tiefenwasserproduktion auf die Zirkulation des Nordatlantik



In dem globalen System der Meeresströmungen werden Wassermassen aus dem Pazifik und Indik in den Südatlantik und weiter in den Nordatlantik verfrachtet. Der Golfstrom und der Nordatlantische Strom transportieren als Teil dieses Systems warmes und salzreiches Wasser nach Norden und Osten. Der nördliche Nordatlantik ist eine Quelle von Tiefenwasser, das zur Kompensation der nordwärtigen Oberflächenströmungen nach Süden setzt.

Absink- und Vermischungsprozesse im nördlichen Nordatlantik sind für die Aufrechterhaltung

Abb. 1: a) Experiment I mit klimatologischen Oberflächenverteilungen von Temperatur und Salzgehalt und ( b) rechts) Experiment II mit geänderten Werten in der Island-See, die den beobachteten Eigenschaften des Nordatlantischen Tiefenwassers näher kommen. Die Pfeile stellen die Geschwindigkeiten in 3.500 m Tiefe dar. Die Farbschattierung repräsentiert die Konzentration (zwischen 0 und 1) der Wassermasse, die im Laufe der Experimente in der Island-See neu gebildet wird. In Experiment I findet sich kaum Wasser aus diesem Herkunftsgebiet in 3.500 m Tiefe, in Experiment II erreicht die Konzentration dagegen 0,4 im Kern des tiefen westlichen Randstroms.

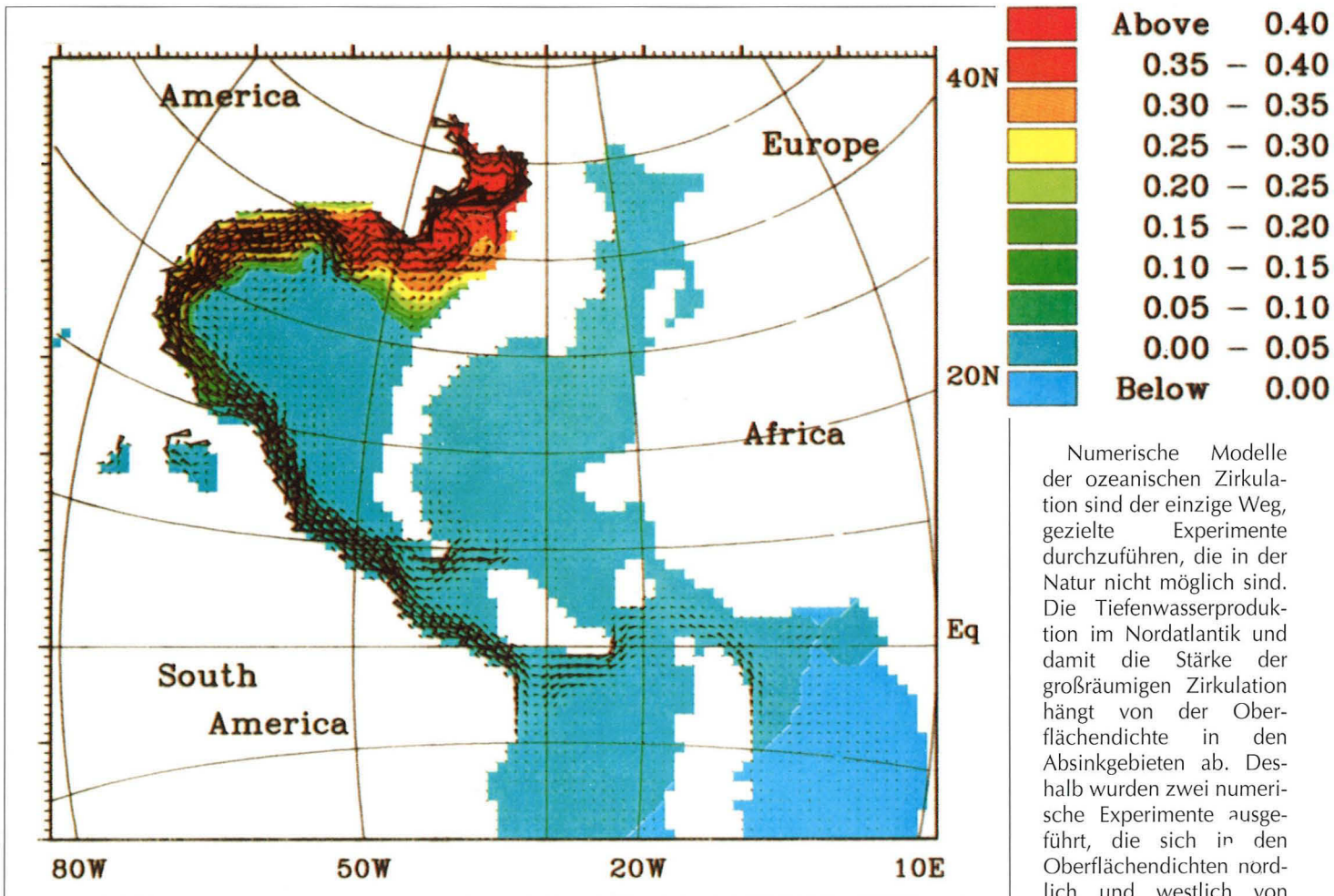


Abb. 1: b) Experiment II mit geänderten Werten in der Island-See.

dieser globalen Zirkulation entscheidend. Die Reaktion des Ozeans auf Änderungen der Verhältnisse in diesem Seegebiet ist daher von besonderem Interesse. Hier sind in den späten sechziger und in den siebziger Jahren erhebliche Abweichungen des Salzgehalts und der Temperatur an der Oberfläche vom langjährigen Mittel beobachtet worden. Es ist aber nahezu unmöglich, die Reaktion des Ozeans auf diese Anomalien in ihrer vollen räumlichen und zeitlichen Entwicklung zu erfassen, da hierfür umfangreiche Meßkampagnen über einen langen Zeitraum durchgeführt werden müßten.

mit  $1.027,76 \text{ kgm}^{-3}$  relativ gering und die globale Zirkulationszelle schwach ausgeprägt. In Experiment II existiert eine kräftige Zirkulationszelle, die gegenüber Experiment I durch eine um  $0,37 \text{ kgm}^{-3}$  höhere Oberflächendichte in einem kleinen Gebiet bei Island verstärkt ist.

In der Abbildung 1 sind die Geschwindigkeiten in 3.500 m Tiefe gegenübergestellt: In Experiment I zerfällt das Strömungsfeld in kleinskalige Wirbel. Eine Tendenz zu organisierten meridionalen Transporten ist nicht zu erkennen. In Experiment II ist dagegen ein

Numerische Modelle der ozeanischen Zirkulation sind der einzige Weg, gezielte Experimente durchzuführen, die in der Natur nicht möglich sind. Die Tiefenwasserproduktion im Nordatlantik und damit die Stärke der großräumigen Zirkulation hängt von der Oberflächendichte in den Absinkgebieten ab. Deshalb wurden zwei numerische Experimente ausgeführt, die sich in den Oberflächendichten nördlich und westlich von Island unterscheiden. In Experiment I ist die größte Oberflächendichte dort

5. Ausgewählte Forschungsthemen

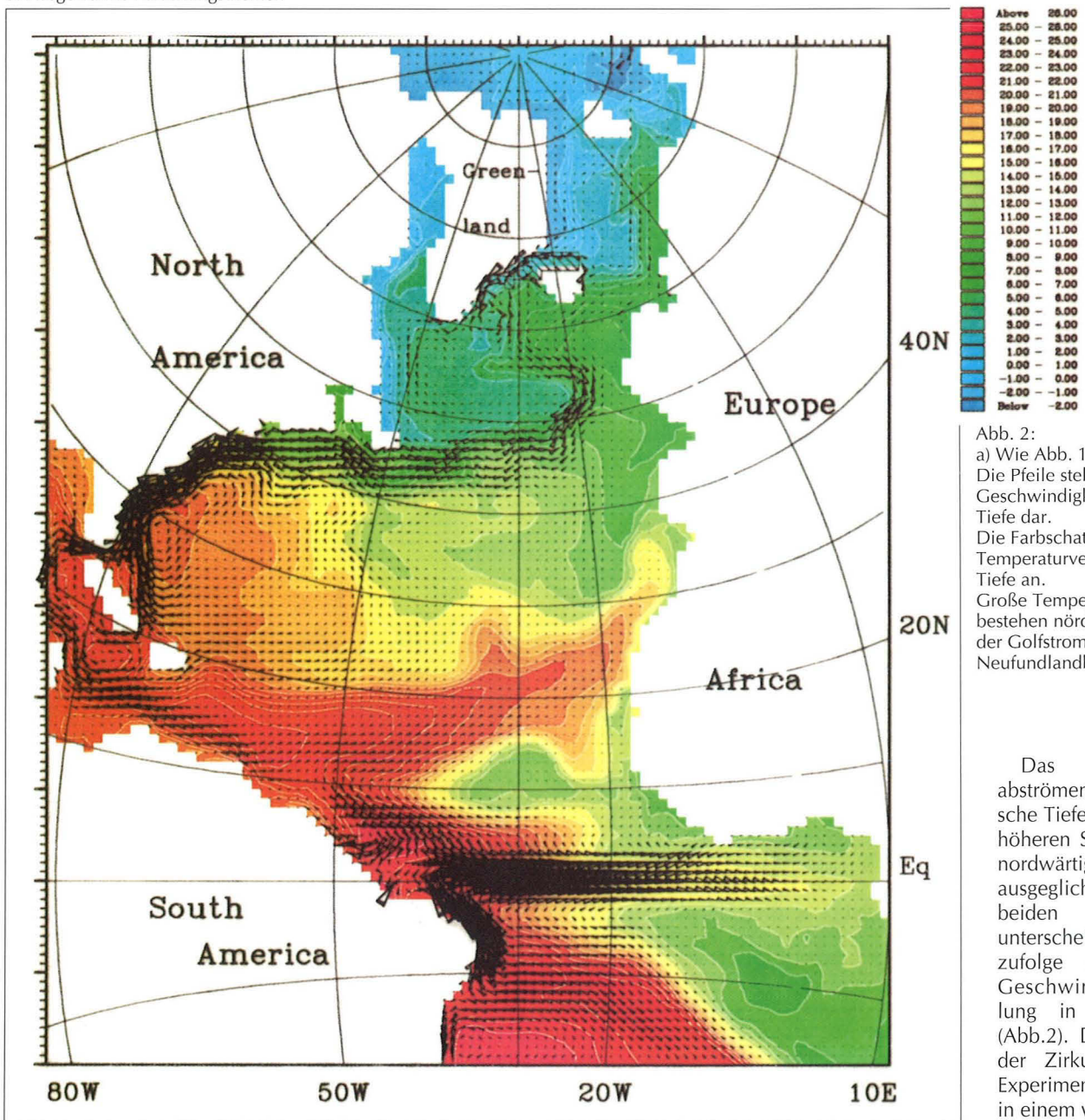
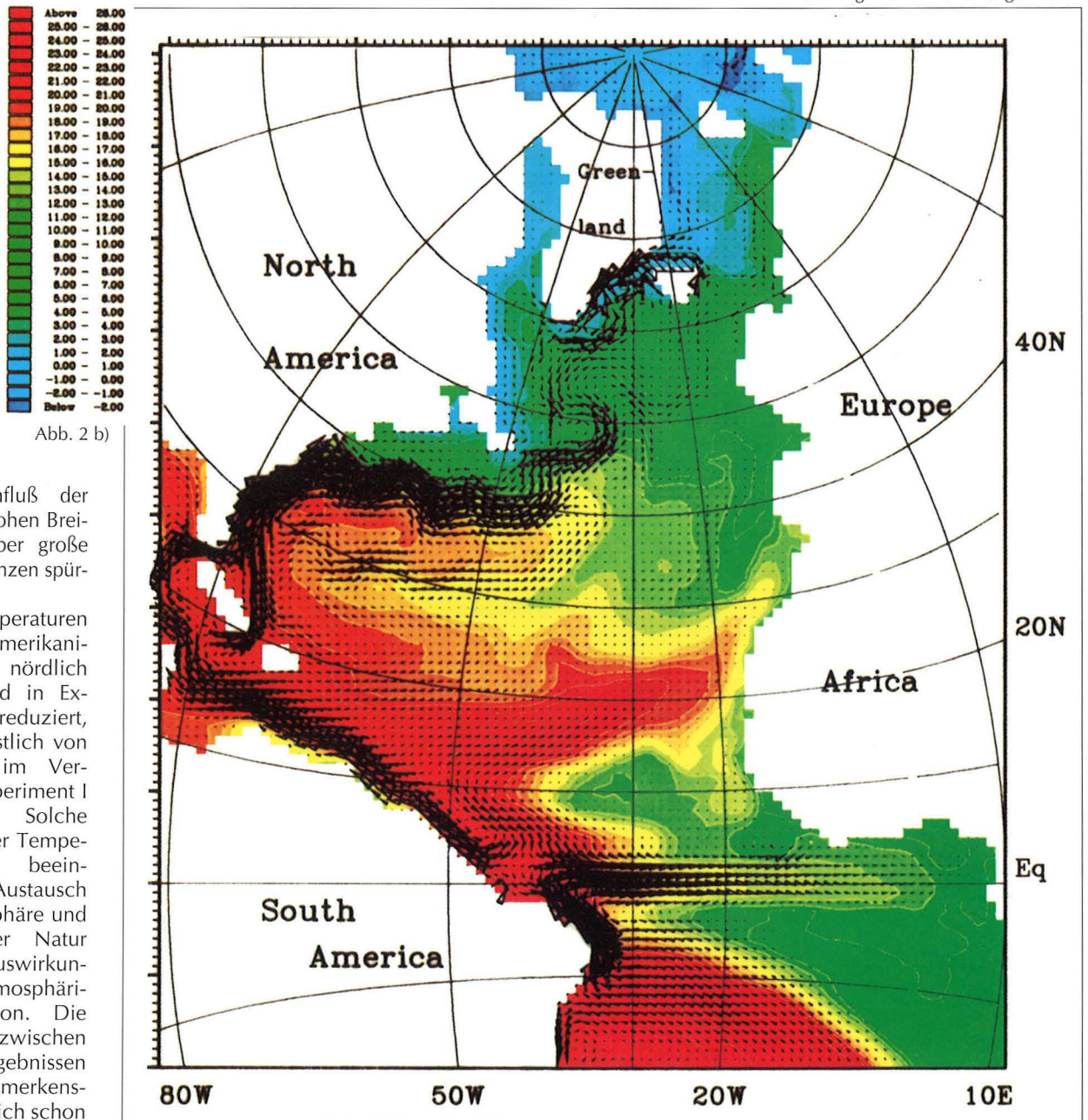


Abb. 2:  
 a) Wie Abb. 1.  
 Die Pfeile stellen hier die Geschwindigkeiten in 100 m Tiefe dar.  
 Die Farbschattierung zeigt die Temperaturverteilung in 100 m Tiefe an.  
 Große Temperaturunterschiede bestehen nördlich und südlich der Golfstromachse sowie im Neufundlandbecken.

intensiver westlicher Randstrom vorhanden, der Nordatlantisches Tiefenwasser nach Süden bringt.

Golfstroms und einer Verlagerung des Nordatlantischen Stroms. Auch die westlichen Randströme in niedrigeren Breiten sind intensi-



viert, der Einfluß der Randwerte in hohen Breiten ist also über große räumliche Distanzen spürbar.

Die Temperaturen entlang der Amerikanischen Küste nördlich von 40°N sind in Experiment II reduziert, während sie östlich von Neufundland im Vergleich zum Experiment I höher liegen. Solche Änderungen der Temperaturverteilung beeinflussen den Austausch mit der Atmosphäre und hätten in der Natur erhebliche Auswirkungen auf die atmosphärische Zirkulation. Die Unterschiede zwischen den Modellergebnissen sind umso bemerkenswerter, als sie sich schon zehn Jahre nach dem Beginn der Experimente von identischen Anfangsbedingungen aus eingestellt haben. Dies unterstreicht die Bedeutung von Pro-

zessen der hohen Breiten für die Klimavariabilität auf Zeitskalen von mehreren Jahren bis Dekaden.

## Infrarot-Zeilenkamera zur verbesserten Meereisfernerkundung

Zur Beobachtung der globalen Meereisverteilung, zur Verbesserung von Eisdriftmodellen und auch zur Unterstützung der Seefahrt in den Polarregionen werden aus Satellitendaten Karten der Eiskonzentration erstellt. Die Genauigkeit der dafür gegenwärtig verwendeten Verfahren ist jedoch unzureichend, da insbesondere eine flächendeckende Validierung mit der wirklichen Eisbedeckung fehlt.

Im wesentlichen für diese Validierung haben wir verschiedene Line-Scanner-Systeme entwickelt, die im sichtbaren Spektralbereich oder im thermischen Infrarot empfindlich sind. Diese Line-Scanner sind Zeilenkameras, die einzelne Bildzeilen, bestehend aus 512 Bildpunkten, aufnehmen und digital speichern. Beim Einsatz vom Flugzeug oder Hubschrauber aus sind die Bildzeilen senkrecht zur Flugrichtung ausgerichtet (Abb. 1).

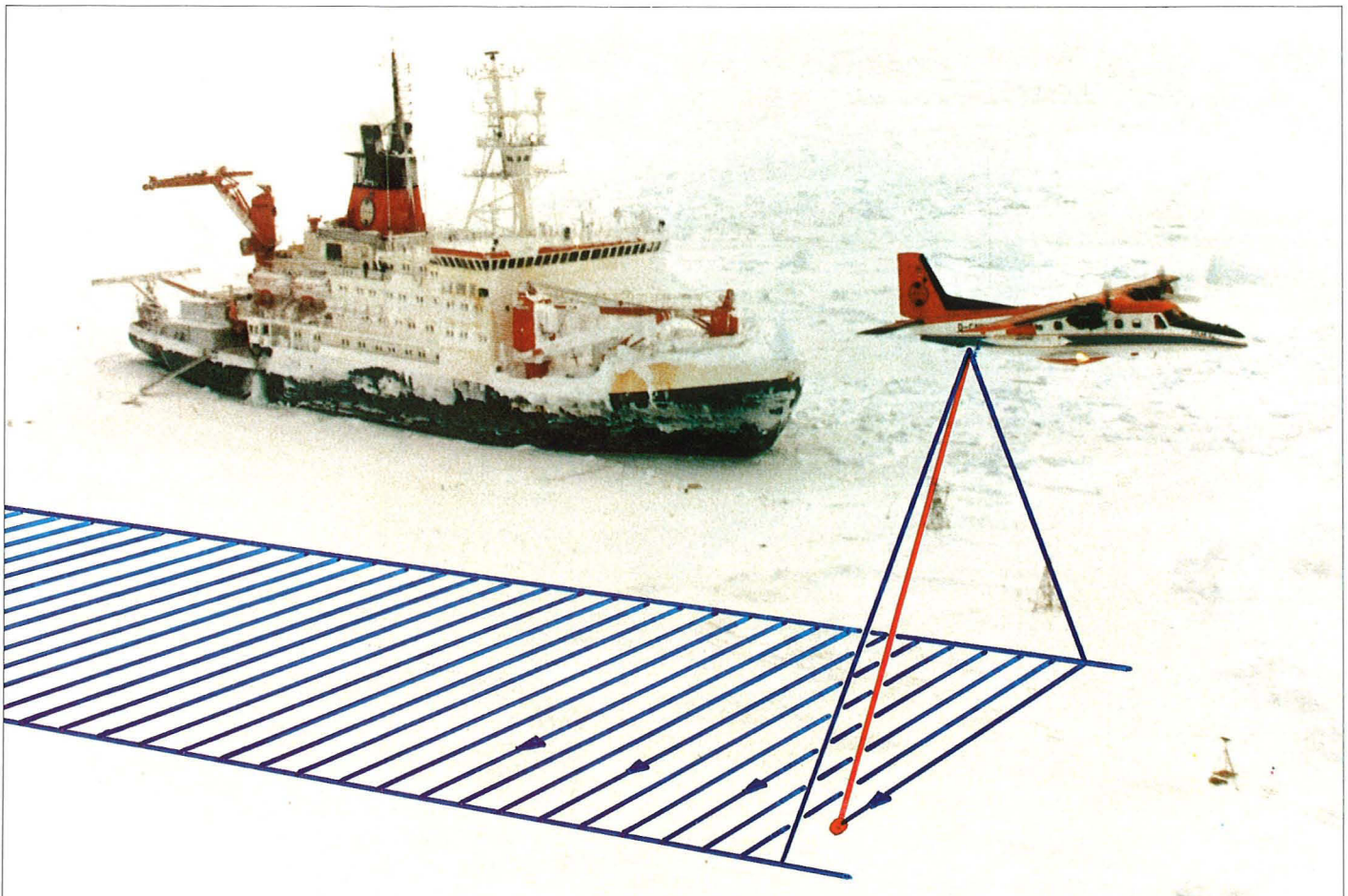


Abb. 1: Das Forschungsflugzeug „Polar 2“ beim Meßflug während REFLEX II. Zur Verdeutlichung ist die Abtastgeometrie der Line-Scanner-Systeme mit dargestellt.



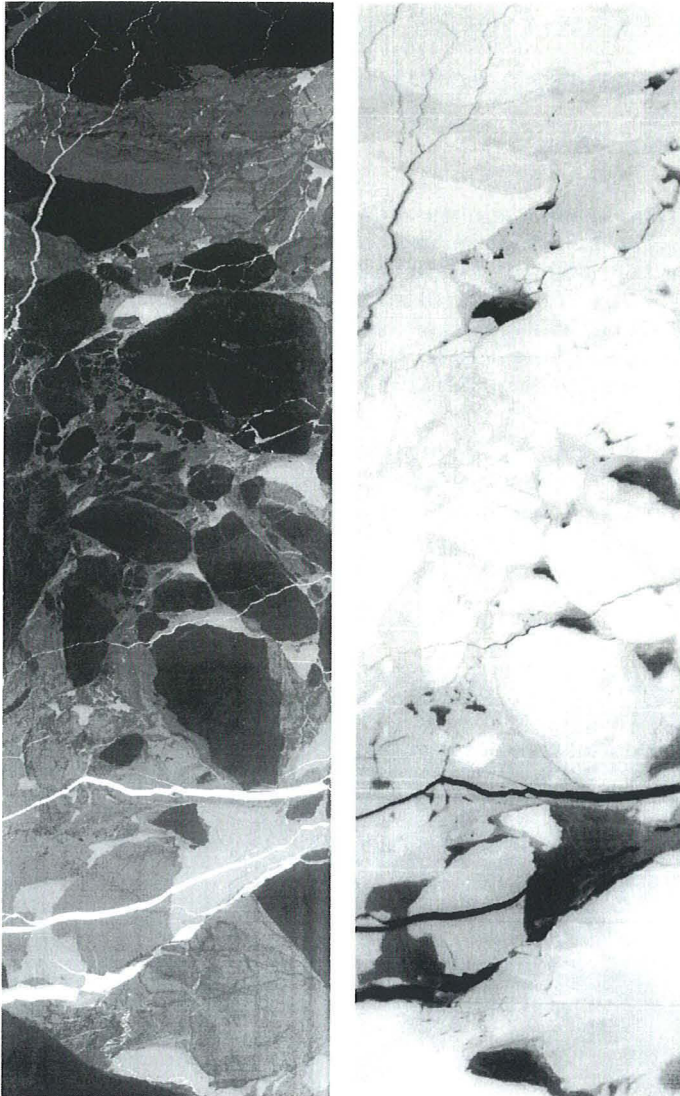


Abb. 2: Bildabschnitt eines Eisüberfluges mit einer Fläche von 4 km x 14 km. Helle Gebiete repräsentieren hohe Strahlungsintensitäten. Das Temperaturbild links enthält Werte von  $-25\text{ °C}$  bis  $-2\text{ °C}$ , rechts ist die Intensität des reflektierten Sonnenlicht unkalibriert dargestellt.

Durch die Vorwärtsbewegung der Line-Scanner zusammen mit der fortlaufenden Aufnahme von Bildzeilen wird die zweite Bild-dimension erzeugt.

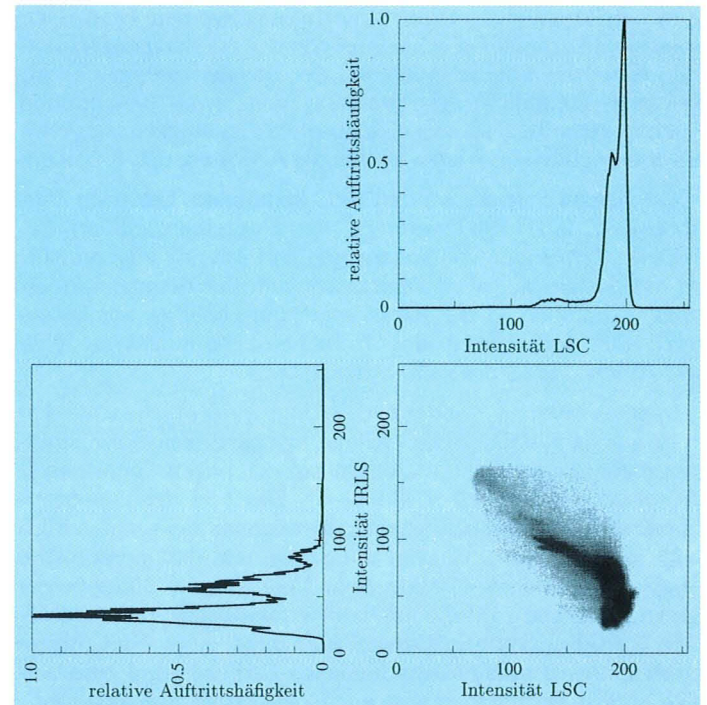


Abb. 3: Grauwertistogramme aus den Bilddaten von Abb. 2. Links das eindimensionale Histogramm aus Daten des Infrarot-Line-Scanners (IRLS) und oben das der Line-Scan-Camera für den sichtbaren Bereich (LSC). In der kombinierten Darstellung wird die Häufigkeit von Intensitätspaarungen beider Spektralbereiche durch zunehmende Schwärzung dargestellt.

Ein Line-Scanner für den sichtbaren Bereich (Line-Scan-Camera, LSC) wird schon seit einigen Jahren eingesetzt. Er mißt die auf dem Grund reflektierte Sonnenstrahlung im Spektralbereich von  $0,4\text{ }\mu\text{m}$  bis  $1,1\text{ }\mu\text{m}$ . Als Detektor kommt hier ein lineares CCD-Array (Charge Coupled Device) zum Einsatz. Man kann mit dieser Kamera im allgemeinen drei Bereiche unterscheiden: offenes Wasser und schneebedecktes Eis, dazu entweder Schmelztümpel oder Neueis. Zur weiterführenden Unterscheidung von Eis unterschiedlichen Alters, welches in der Dicke variiert, wurde 1992 ein Infrarot-Line-Scanner (IRLS) entwickelt, der die Temperatur der Erdoberfläche im Spektralbereich von  $8\text{ }\mu\text{m}$  bis  $12\text{ }\mu\text{m}$  erfaßt. Technisch ist der Infrarot-Line-Scanner wesentlich komplexer als die Line-Scan-Camera für den sichtbaren Spektralbereich. Der Strahlungsempfänger, ein Halbleiter-Einzeldetektor, wird durch einen Sterling-Kühler auf  $-190\text{ °C}$  gekühlt, damit seine eigene thermische Energie relativ zur emp-

fangenen Strahlungsenergie vernachlässigt werden kann. Eine Spiegeloptik, die einen schnell rotierenden Vierkantspiegel enthält, tastet das Bild ab. Während der Datenerfassung wird als Referenz zusätzlich die Strahlung von zwei temperierten Flächen gemessen, so daß eine absolute Genauigkeit von etwa  $\pm 1$  K erreicht werden kann, wobei die Auflösung 0,1 K beträgt.

Die beiden Systeme wurden 1993 kombiniert. Der erste Routineeinsatz fand 1993 während der Flugzeugexpedition REFLEX II nordwestlich von Spitzbergen statt. Hierauf folgend wurde das System auf allen Fahrtabschnitten der neunten „Polarstern“-Expedition in die Arktis vom Hubschrauber aus eingesetzt. Die Möglichkeit des Hubschraubereinsatzes ist eine wesentliche Stärke des kompakten Systems.

In der Abbildung 2 ist der Bildabschnitt einer Fläche von 4 km x 14 km dargestellt. Helle Gebiete repräsentieren hohe Strahlungsintensitäten. Das Infrarotbild auf der linken Seite enthält Temperaturen von  $-25$  °C bis  $-2$  °C. Das Bild der Line-Scan-Camera für den sichtbaren Spektralbereich auf der rechten Bildseite ist unkalibriert. Es zeigt die Szene, wie das menschliche Auge sie wahrnehmen würde. Beim Vergleich der Bilder beider Spektralbereiche wird die zusätzliche Information des Infrarot-Line-Scanners sichtbar: Dessen Aufnahme zeigt eindeutigere Unterschiede zwischen verschiedenen Eisdicken und eine bessere Auflösung der Übergänge von einem Eistyp zum anderen.

Mit den Methoden der digitalen Bildsignalverarbeitung können nun verschiedene Eistypen erkannt und ihr Flächenanteil bestimmt werden. Dazu werden zum Beispiel Grauwertistogramme für jeden einzelnen Spektralbereich errechnet. In den einzelnen Histogrammen können die Grauwerte jedoch nicht eindeutig den Eistypen zugeordnet werden. Führt man dagegen die Bilddaten beider Spektralbereiche zu einem zweidimensionalen Histogramm zusammen, erhält man die Häufigkeit von Intensitätspaarungen beider Spektralbereiche in den Bildpunkten. Diese Häufigkeit ist im zweidimensionalen Histogramm in der Abbildung 3 durch zunehmende Schwärzung dargestellt und macht deutlich, daß nun separierbare Häufungen voneinander unterschieden werden können. Es kann also in einem Gebiet mit gleichmäßiger Reflektivität die unterschiedliche Oberflächentemperatur herangezogen werden oder in einem anderen gleichtemperierten Gebiet die unterschiedliche Reflektivität. So können zusammenhängende Gebiete gleicher Eisstruktur automatisch erkannt und Eiskarten mit hoher räumlicher Auflösung gewonnen werden. Sie sind Grundlage für die Verbesserung der Algorithmen, mit denen Meereiskonzentrationen aus Satellitendaten bestimmt werden.

## LIDAR-Gerät zur Beobachtung fluoreszierender Stoffe im Meer

Klaus Ohm

Zur Beobachtung der Erd- und Meeresoberfläche werden zunehmend Fernerkundungsmethoden eingesetzt, weil sie automatisch (oder mit geringem Personalaufwand) große Gebiete nahezu synoptisch erfassen. Meist nutzt man Satelliten oder Flugzeuge als Geräteträger und tastet die Meeresoberfläche mit geringer Eindringtiefe ab. Um die Verteilung von Stoffen im Meer abzuschätzen, benötigt man aber auch deren Tiefenprofile.

Um solche Profile zu gewinnen, wurde ein schiffsgestütztes LIDAR-Gerät (Light Detection and Ranging), das senkrecht in die Wassersäule blickt, zusammen mit der Fernerkundungsgruppe der Universität Oldenburg im Rahmen einer Euromar-Projektförderung entwickelt. Das Gerät (Abb. 1) sendet kurzwellige Lichtimpulse mit einer Wellenlänge von 355 nm in die Tiefe, welche die Wassermoleküle anregen, eine mit dem Raman-Effekt

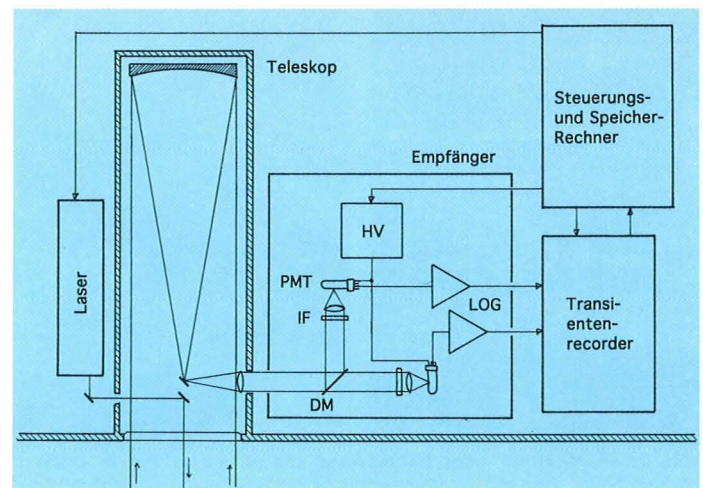


Abb. 1: Aufbau des Gerätes mit dem Laser, dem Teleskop, der Empfänger-einheit sowie dem Transientenrecorder und dem Steuerungs- und Aufzeichnungrechner. DM bedeutet dichroitischer Spiegel, IF Interferenzfilter, PMT Photomultiplier, HV die zugehörige Hochspannung, und mit Log sind logarithmierende Verstärker bezeichnet. In diesem Schema wird die Aufspaltung in zwei Empfangskanäle verschiedener Wellenlängen gezeigt, das Gerät kann aber bis zu 16 Kanäle enthalten.

beschriebene längerwellige Strahlung auszusenden. Bei Wechselwirkung mit fluoreszierenden Stoffen – vor allem Chlorophyll, für das eine Anregungswellenlänge von  $532\mu\text{m}$  verwendet wird, und Gelbstoffe – werden die für diese Stoffe typischen Wellenlängen oder Spektren emittiert. Teilchen im Größenbereich um  $10\mu\text{m}$  streuen Licht der Anregungswellenlänge zurück. Die Chlorophyllfluoreszenz stellt ein Maß für die Algenkonzentration dar, und die Gelbstoffe spielen als Abbauprodukt organischen Materials sowohl im Kohlenstoffkreislauf als auch bei Vermischungsprozessen eine Rolle.

In Oldenburg lag bereits reiche Erfahrung mit geflogenen LIDAR-Systemen vor, so daß man sich bei Projektbeginn 1991 auf die schiffsspezifischen Aspekte konzentrieren konnte. Als erste wesentliche Erweiterung muß das neue Gerät zeitaufgelöst registrieren, um über die Laufzeit des Lichtimpulses die Tiefenauflösung zu erreichen. Man benötigt daher einen Laserpuls von etwa einer Nanosekunde Dauer und muß das Empfangssignal mit einer Frequenz von einem Gigahertz abtasten – Anforderungen, denen kommerziell erhältliche Laser- und Transientenrecorder gerade noch genügen. Die Signalverarbeitung wird zusätzlich durch die hohe Signaldynamik erschwert, die durch die exponentielle Intensitätsschwächung mit steigender Lichtweglänge im Wasser entsteht.

Das zweite schiffsspezifische Problem ist der Übergang des Laserstrahls von Luft in Wasser. Man entschied sich für ein Fenster im Schiffsboden, da es die Abschattung gegen Fremdlicht durch den Schiffsrumpf am besten ausnutzt und eine definierte Grenzfläche ins Wasser bildet. Dieses Quarzglasfenster von 250 mm Durchmesser im Boden der „Polarstern“ wurde zusammen mit der Lloyd Werft Bremerhaven konstruiert. Weil Glas nicht den Anforderungen an die Außenhaut eines Eisbrechers entspricht, mußte die dahinter liegende Teleskophülle diesen Ansprüchen genügen. In der Hülle gibt es noch zwei kleine Fenster von 40 mm Durchmesser, durch die das Laserlicht in den Strahlengang eingespiegelt und das Empfangssignal ausgespiegelt wird. Sie werden im Fall des Wassereintruchs in das Teleskop durch Schnellschließventile verschlossen. Diese werden mittels gespannter Federn betätigt, so daß sie auch von einem Stromausfall sofort ausgelöst werden.

Für die Messungen muß das Fenster sauber sein. Um auch dessen Außenseite reinigen zu können, wurde eine Schleuse

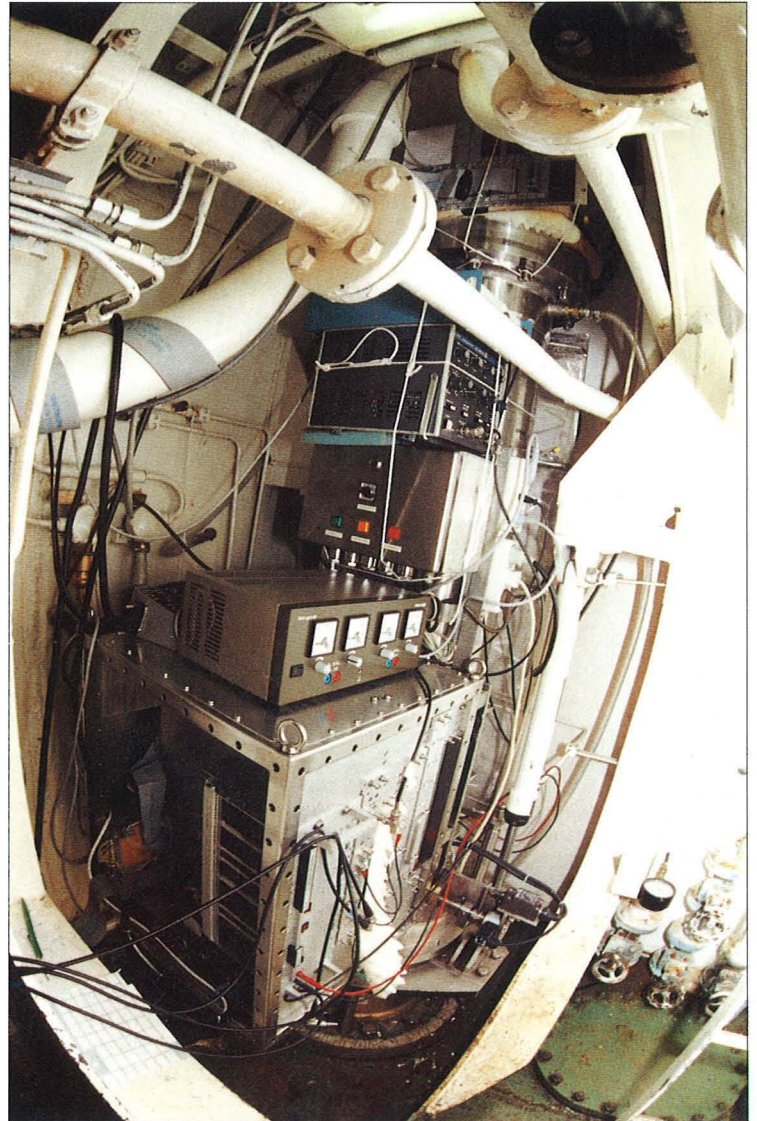


Abb. 2: Das auf „Polarstern“ eingebaute Gerät: Im Vordergrund steht die Empfängereinheit, dahinter das Teleskop, das den Laser verdeckt. Die Rohre demonstrieren die räumliche Enge, so mußte die Aufnahme mit einem Fisheye-Objektiv gemacht werden.

entworfen, so daß man das Fenster bei fahrendem Schiff entfernen und für Eisfahrten durch eine Stahlplatte ersetzen kann. Die-

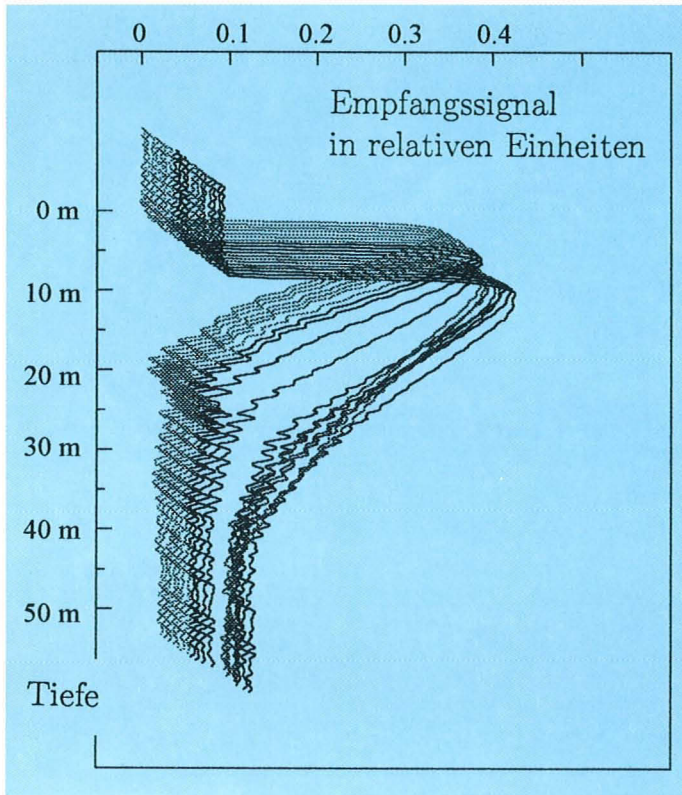


Abb. 3: Sequenz von 19 Profilen der Ramanstreuung mit einer Anregung bei 355 nm, empfangen bei 405 nm. Die Messungen überdecken etwa 1,5 km und wurden am 10. 2. 1993 im Atlantik durchgeführt. Durch einen Anstieg der Algenkonzentration nimmt die Eindringtiefe des LIDAR-Signals stark ab.

se Konstruktion ist seit dem Mai 1992 auf der „Polarstern“ installiert. Die sich mit diesem Konstruktionsprinzip eröffnenden neuen Möglichkeiten haben bereits zum Einbau einer zweiten Schleuse mit einem erheblich größeren Durchlaß von 620 mm für ein anderes Gerät geführt.

Der dritte Schwerpunkt der Entwicklung lag im Entwurf des Teleskops, das in üblichen LIDAR-Geräten das Lichtsignal aus großer Entfernung auf den Photomultiplier abbildet. Bei dem Schiffs-LIDAR muß aber auch das Licht aus geringen Tiefen unmittelbar vor dem Teleskop aufgefangen werden. Der Strahlengang wurde also mit der Vorgabe berechnet, möglichst viel Licht zu sammeln, und nicht, ein möglichst scharfes Bild zu

erzeugen. Die erwartete Eindringtiefe des Geräts liegt um 40 m. Aus dieser größten Tiefe kommt wegen der bereits erwähnten exponentiellen Intensitätsschwächung das geringste Signal. Man wird also für diese Tiefe die größtmögliche Empfindlichkeit verlangen. Ihre Berechnung für geringere Tiefen zeigt nun, daß die Empfindlichkeit in geringeren Tiefen ansteigt, dann aber in unmittelbarer Nähe überraschend wieder fällt. Dieses Ergebnis wurde auch experimentell bestätigt. Es ist durchaus erwünscht, weil es hilft, die Signaldynamik in Tiefen unmittelbar vor dem Teleskop zu verringern.

Das LIDAR-Gerät wurde zum ersten Mal auf der Expedition Antarktis X/8 im Januar 1992 in Ushuaia montiert und auf dem Atlantik in Betrieb genommen. Nach einigen Verbesserungen wurde es auf dem Abschnitt Antarktis XI/1 von Bremerhaven nach Kapstadt eingesetzt, vor allem um die dabei gewonnenen Meßwerte denen von profilierenden Sonden und von Wasserproben gegenüberzustellen.

## Untersuchung der durch das Ozonloch verursachten UV-B Belastung auf Produktion und Artenzusammensetzung des Phytoplanktons

Als Folge des Abbaus von stratosphärischem Ozon muß mit einem Anstieg der ultravioletten Sonneneinstrahlung gerechnet werden. Dabei verschiebt sich die steile ozonbedingte Absorptionskante innerhalb des sogenannten UV-B Bereichs (280 – 320 nm) zu kürzeren Wellenlängen. Weil die biologische Wirkung in diesem Bereich mit abnehmender Wellenlänge exponentiell zunimmt, ist besonders das sensible Phytoplankton der Polargebiete gefährdet, auch wenn die UV-B Belastung z. B. im südpolaren Frühling nur 7% der in Äquatornähe eintreffenden UV-Strahlung ausmacht. Für die Untersuchungen der biologischen Wirkung auf das Phytoplankton muß die tiefenabhängige UV-B Strahlung vor Ort genau gemessen und in Laborversuchen simuliert werden können.

Die spektrale Bestimmung des solaren UV-B bereitet große meßtechnische Schwierigkeiten, weil das mit unzähligen Absorptionslinien durchsetzte Spektrum von 320 nach 280 nm um mehr als sechs Zehnerpotenzen abfällt, und die Einstrahlung den ständig wechselnden atmosphärischen Bedingungen ausgesetzt ist.

### Spektralphotometer

Weil die bisher eingesetzten Spektralphotometer im kurzwelligen UV-B zu unempfindlich sind, haben wir ein eigenes Gerät entwickelt. Üblicherweise wird das Spektrum durch Drehen der Gitter am Austrittspalt des Monochromators vorbeigeführt (scanrender Modus) und ein nachgeschalteter Photomultiplier verwandelt das durch den Austrittspalt fallende Licht in ein elektrisches Signal. Bei dem neuen Gerät wird das gesamte UV-B Spektrum parallel in 32 Meßkanälen gemessen.

Beim Detektor handelt es sich um eine modifizierte Mikrokanalplatte. Trifft ein Photon auf die Kathode des Detektors, so wird aufgrund des äußeren Photoeffekts ein Elektron freigesetzt. Dieses durchläuft innerhalb eines Kapillarbündels ein Hochspannungsfeld und löst dabei aus der Kapillarwandung eine Elektronenlawine aus, die man mit Hilfe einer sensiblen Verstärkerschaltung nachweisen kann. In jedem der voneinander unabhängigen Kanäle werden Einzelphotonen innerhalb eines dyna-

mischen Bereichs von 106 erfaßt. Der Dunkelstrom des ungekühlten Detektors liegt mit 0,2 Ereignissen pro Sekunde und Kanal etwa um den Faktor 100 unter dem eines konventionellen Multipliers. Die Vielzahl der Meßkanäle macht gemeinsam mit dem geringen Dunkelstrom das Meßgerät um Größenordnungen empfindlicher als ein Scanner, so daß die sonst instrumentell bedingte detektierbare Untergrenze von 295 nm unterschritten werden kann.

### Sonnenscheinsimulator

Ein weiteres Ziel des Projekts waren Konstruktion und Bau eines Sonnenscheinsimulators für Laboruntersuchungen. Die bisher verwendeten Bestrahlungseinrichtungen liefern oft zu hohe UV-B Dosen mit unnatürlicher spektraler Verteilung. Bei dem neuen Gerät wird das von einer Metallogenlampe erzeugte

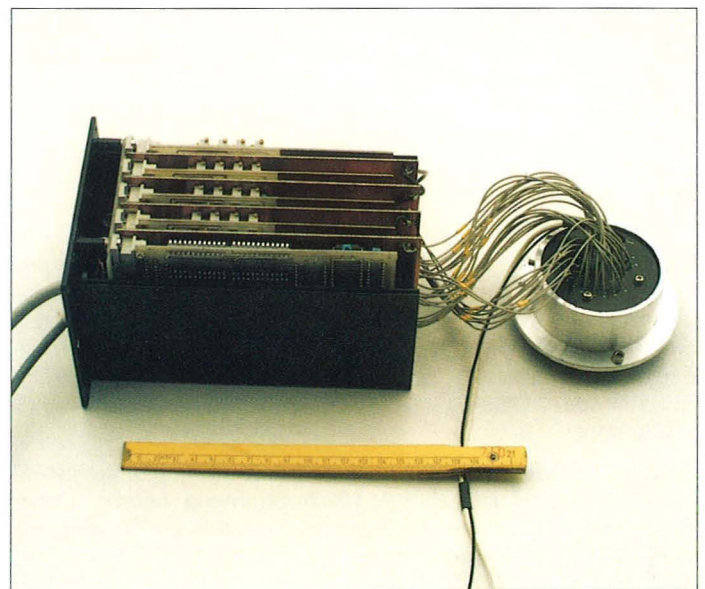


Abb. 1: 32-kanaliger UV-B Detektor mit Auslese-Elektronik.

## 5. Ausgewählte Forschungsthemen

Licht durch drei rechnergesteuerte variable Flüssigkeitsfilter so verändert, daß die natürlichen Lichtverhältnisse zwischen 280 und 700 nm weitgehend wiedergegeben werden. Es sind sowohl unterschiedliche Wassertiefen als auch variable Ozonkonzentrationen und Sonnenstände simulierbar.

Von beiden Geräten wurde inzwischen je ein Prototyp fertiggestellt. Im Frühjahr 1994 sollen das Meßgerät und der Sonnenscheinsimulator bei biologischen Experimenten eingesetzt und erprobt werden.

### Physiologische Experimente

Die bisherigen biologischen Untersuchungen beschränkten sich auf einige physiologische Experimente. Die Versuche wurden in einer Kühltruhe durchgeführt. Auf dem Deckel waren UV-B- und Weißlichtleuchtstoffröhren angebracht und darunter eine für den gesamten UV-Bereich durchlässige PVC-Scheibe. Für die Bestrahlung mit UV-Licht definierter Spektralbereiche fanden verschiedene Filter Verwendung.

### UV- Schutzsubstanzen

Von einigen Organismen ist bekannt, daß sie Schutzsubstanzen bilden, die die schädliche UV-B Strahlung absorbieren und somit Schaden abwenden. Daß die Bildung dieser Substanzen von der Strahlung selbst induziert werden kann, bestätigte eine Reihe von Experimenten mit den antarktischen zentrischen Kieselalgen *Porosira pseudodenticulata* und *Thalassiosira tumida* sowie der Haptophyceae *Phaeocystis antarctica*. Die geplanten weiteren Untersuchungen umfassen die Isolierung und Identifizierung dieser Substanzen.

### Schädigung und Reparatur

Die Schädigung durch UV-B Bestrahlung auf Molekülebene beruht darauf, daß Makromoleküle, die Schlüsselrollen für Funktion und Struktur einer Zelle haben, die energiereiche Strahlung absorbieren. Diese Schädigung wird z. B. in den Nukleinsäuren, den Trägern der Erbinformation, besonders deutlich. Es entstehen Photoprodukte, z. B. Pyrimidindimere, die ein korrektes Ablesen der DNS-Stränge bei der Zellteilung unmöglich machen.

Diese Schäden ruft z. T. auch die zum natürlichen Lichtspektrum gehörende langwellige UV-A Strahlung hervor. Daher haben viele Organismen im Laufe der Evolution ein Reparatursystem entwickelt, welches mittels eines Enzyms, der Photolyase, diese Schäden in kürzester Zeit beheben kann. Um dieses System zu aktivieren, müssen die Organismen mit Licht bestrahlt



Abb. 2: Kalibrierung des UV-B Spektrometers durch photometrischen Anschluß an das Sonnenspektrum.

werden, welches genug blaue Anteile, sogenannte photoreaktivierende Strahlung, enthält.

Die Fähigkeit zur Photoreaktivierung bei Diatomeen wurde an Kulturen der zentrischen Kieselalge *Porosira pseudodenticulata* getestet. Typische Schadensbilder zeigten sich nach UV-B Bestrahlung im teilweisen Verlust der Teilungsfähigkeit bei gleichzeitiger Verlängerung der Zellen auf das doppelte und Verdopplung des zellulären Chlorophyllgehaltes. Parallele Ansätze wiesen nach Einstrahlung photoreaktivierender Strahlung (Blau) erheblich geringere Schadensbilder auf. Man kann also davon ausgehen, daß UV-B-strahlungsverursachte Schäden auch bei Diatomeen durch Photoreaktivierung wieder aufgehoben werden können.

Inwieweit mit Hilfe dieses Systems UV-B lichtbedingte Strahlungsschäden wirklich effektiv behoben werden können, ist noch unklar und muß in weiteren Experimenten untersucht werden. Ferner sind Untersuchungen zur Bedeutung des verantwortlichen Enzyms, der Photolyase, geplant bei gleichzeitiger Messung der Thymindimere mit Hilfe eines Radioimmunoassays.

**Die Autoren der Ausgewählten Forschungsthemen:**

Marcus Baumann, Georg Beyerle, Axel Bochert, Horst Bornemann, Thomas Brey, Gerhard Dieckmann, Hajo Eicken, Holger Fischer, Dietrich Fritzsche, Rüdiger Gerdes, Hartwig Gernandt, Rainer Gersonde, Markus Gleitz, Humberto Gonzales, Sönke Grossmann, Jörg Hartmann, Elisabeth Helmke, Wolf-Dieter Hermichen, Ulrike Hubberten, Gerhard Kattner, Cornelia Köberle, Ruben L. Lara, Peter Lemke, Aining Li, Christof Lüpkes, Andreas Mackensen, Linda Medlin, Martin Melles, Roland Neuber, Eva-Maria Nöthig, Justus Notholt, Dirk Nürnberg, Hans Oerter, Klaus Ohm, Stefan Peil, Joachim Plötz, Ulf Riebesell, Dale Robinson, Renate Scharek, Ursula Schauer, Gerhard Schmiedl, Otto Schrems, Jens Schröter, Christine Siegert, Rüdiger Stein, Helmut Tüg, Thomas Viehoff, Christoph Vogt, Monika Wahsner, Ulrich Wand, Estella Weigelt, Rolf Weller, Manfred Wenzel, Christian Wiencke, Dieter Wolf-Gladrow, Richard Zeebe.

## 6. Logistik

Wie in der Vergangenheit, so war auch der Berichtszeitraum durch erhebliche logistische Routineaktivitäten zur Versorgung der Land-, Luft- und Schiffsexpeditionen und der Forschungsstationen in beiden Polarregionen charakterisiert. Durch die Gründung der Außenstelle des AWI in Potsdam erweiterten sich die logistischen Aufgaben besonders in den Bereichen, in denen vormals die Polarforscher der ehemaligen DDR tätig waren. Auf Grund des Kooperationsabkommens mit der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurden 17 Polarexpeditionen anderer deutscher Institutionen logistisch unterstützt.

Die Logistik des AWI ist außerdem regelmäßig in nationale und internationale Planungen, in die Arbeiten des „Council of Managers of National Antarctic Programmes“ sowie in die Beratung der Bundesregierung im Rahmen des Antarktisvertrages mit seinem Umweltschutzprogramm eingebunden.

### 6.1 Polarstationen

Das Alfred-Wegener-Institut betreibt derzeit fünf Antarktisstationen und eine Arktisstation. Von diesen Stationen, die sich in Größe und Bedeutung stark voneinander unterscheiden, werden die Neumayer-Station und die Koldewey-Station ganzjährig betrieben.

#### 6.1.1 Die Neumayer-Station

Die Neumayer-Station ist die Nachfolgestation der Überwinterungsstation „Georg-von-Neumayer“. Sie wurde im Frühjahr 1992 wieder auf dem Ekström Schelfeis, acht Kilometer südlich der alten Station errichtet. Die ganzjährigen Observatoriumsprogramme werden, ergänzt durch Ozon- und Strahlungsmessungen, lückenlos weitergeführt. Während des Berichtszeitraumes wurden die zwölfte und dreizehnte Überwinterung durchgeführt.

Die neue Station ist etwa doppelt so groß wie die alte. Sie besteht aus zwei parallelen, etwa 90 m langen Röhren von 8 m Durchmesser, in welchen die eigentliche Station in Form von vorgefertigten Containern eingebaut ist. Eine etwa gleichlange Querröhre dient als Tank- und Containerlager. In einer Halle, die durch einen Gang mit der Station verbunden ist, sind die Fahrzeuge untergebracht. Die Anzahl der Quartiere wurde auf elf Unterkünfte und die der Laboratorien um weitere zwei Ein-

heiten erhöht, um in Zukunft das Überwinterungsprogramm ausweiten zu können. Die zusätzlichen Laboratorien sind für biologische und chemische Projekte ausgestattet. Außerdem ist der Servicebereich größer, um den wachsenden Anforderungen als logistische Basis für Sommerkampagnen Rechnung zu tragen.

Der Energiebedarf wird konventionell durch zwei jeweils 100 kW starke Dieselaggregate geliefert. Zusätzlich wird alternative Energie von einer 20 kW Windkraftanlage in das Stationsnetz eingespeist. Es ist dies der bisher einzige Inselbetrieb aus konventioneller und alternativer Energie in der Antarktis.

Die Station wurde von Januar bis März 1992 errichtet. Für den Transport der 47köpfigen Baumannschaft sowie des Baumaterials war ein eisverstärktes Frachtschiff einer schwedischen Reederei gechartert worden. Parallel zum Stationsbau haben AWI-Mitarbeiter die wissenschaftlichen Außenanlagen der Meteorologie, Geophysik und Luftchemie errichtet. Im Südsommer 1992/93 wurden Rest- und Gewährleistungsarbeiten an der Station durchgeführt. Parallel dazu wurde die alte Station entsprechend den Auflagen des Umweltschutzprotokolls entsorgt.

Neben den Bauarbeiten konnten nur kleine Sommerprogramme bei der Neumayer-Station stattfinden. Diese Aktivitäten sind 1993/94 wieder in vollem Umfang möglich. Dafür ist z. B. auch die Installierung einer neuen Luftchemiestation geplant, die derzeit in Bremerhaven und Heidelberg vorbereitet wird.

#### 6.1.2 Die Filchner-Station

Während des Südsommers 1991/92 dient die Filchner Station als Stützpunkt, Kommunikationszentrum, Versorgungs- und Flugbasis für die vierte Phase des Filchner-Schelfeis-Projektes (Filchner IV). Anlässlich dieser Kampagne wurde die Plattform der Stelzenkonstruktion wieder um zwei Meter erhöht. Das glaziologische Programm von Filchner IV umfaßte neben Flug- und Bodenvermessungen Heißwasser- und Kernbohrungen. Die Bohrgeräte waren dafür am AWI entwickelt worden.

#### 6.1.3 Die ERS / VLBI Station

Die ERS/VLBI Station im Norden der Antarktischen Halbinsel an der chilenischen Station O'Higgins wird seit 1992 von der DLR betrieben.



### 6.1.4 Die Drescher-Station

Die Drescher-Station ist eine mobile Feldstation, die aus Umweltschutzgründen nur für Projektphasen aufgebaut und danach wieder abgebaut wird. Die Warmblüterbiologen nutzten sie im Frühjahr 1992 als Basis für ihre Untersuchungen.

### 6.1.5 Das Dallmann-Laboratorium

1992 und 1993 wurde an der argentinischen Winterstation „Jubany“ auf King George Island eine Annexstation errichtet, die Biologen und Geowissenschaftlern die Möglichkeit für Studien in eisfreiem Küstengebiet geben soll. Die Annexstation wurde als „Dallmann-Laboratorium“ am 20. 1. 1994 offiziell eröffnet und ist ein Kooperationsprojekt des Instituto Antártico Argentino in Buenos Aires und des Alfred-Wegener-Instituts. Sie bietet Wohn- und Arbeitsraum für 12 Personen und besteht aus zwei Laboratorien, drei Schlafräumen, Wohnraum, Sanitäreinrichtung sowie Lagerraum. In der Versorgung ist sie an die Jubany-Station angebunden. Für die Arbeiten im Küstenbereich steht ein Boot zur Verfügung. Der Bau eines Aquariengebäudes ist in Vorbereitung. Möglichkeiten für wissenschaftliche Taucherei sind ebenfalls gegeben. Biologische und geowissenschaftliche Untersuchungen haben schon 1992, parallel zum Bau, begonnen.

### 6.1.6 Die Georg-Forster-Station

An der Georg-Forster-Station, der Überwinterungsstation der ehemaligen DDR, ging im Frühjahr 1993 die letzte Überwinterung zu Ende. Sie wurde von einem Techniker der Forschungsstelle Potsdam des AWI getragen. Wie die Überwinterung 1991 so war auch diese logistisch an die russische Station Novolazarevskaya angelehnt.

1991/92 und 1992/93 fanden geowissenschaftliche Untersuchungen in der Schirmacher Oase statt. Während dieser Kampagnen wurde auch die ökologische Situation der Schirmacher Oase untersucht. Es ist geplant, die Forster-Station abzubauen und gleichzeitig die Schirmacher Oase zu säubern.

### 6.1.7 Die Ardley-Station

Die Ardley-Station auf der Ardley Insel vor King George Island war ein Außenposten der Warmblüterbiologen des Antarktisprogrammes der DDR. Die Arbeiten wurden logistisch von der russischen Station Bellingshausen unterstützt. Die kleine Hütte diente 1991/92 und 1992/93 noch zu Pinguinstudien. Mit dem Bau des Dallmann-Laboratoriums wird sie überflüssig; ihr Abbau und ihre Entsorgung sind für 1995/96 vorgesehen.

### 6.1.8 Die Koldewey-Station

Die Koldewey-Station auf Spitzbergen dient als Observatorium für Atmosphärische Wissenschaften, Biologie und Geophysik. Im Berichtszeitraum war die Station durchgehend besetzt, um den 1990 begonnenen ganzjährigen Betrieb fortzuführen.

Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten liegt zur Zeit bei der Atmosphärenforschung. Die bisher erzielten Forschungsergebnisse sowie die moderne Ausrüstung der Station haben dazu geführt, daß die Koldewey-Station als eine der drei arktischen Stationen ausgewählt wurde, die für das globale und international betriebene Netzwerk zur Beobachtung stratosphärischer Änderungen (NDSC – Network for Detection of Stratospheric Change) langjährige Meßreihen durchführen soll. An diesem Programm beteiligt sich seit 1992 das Institut für Fernerkundung der Universität Bremen (Mikrowellenradiometer). Die Arktisstation des AWI ist auch Bestandteil des BSRN (Baseline Surface Radiation Network) und des GO3OS (Global Ozone Observing System) der WMO. Regelmäßig wurden synoptische und aerologische Daten in das GTS (Global Telecommunication System) der WMO (World Meteorological Organisation) eingespeist.

Neben den Überwinterungsprogrammen haben Wissenschaftler des AWI 1992 und 1993 auch im Rahmen spezieller Forschungsprojekte der Luftchemie, Biologie und Geophysik an der Station gearbeitet. Die Stationseinrichtungen stehen auch anderen Forschergruppen zur Verfügung. Im Berichtszeitraum arbeiteten Wissenschaftler der Universitäten Bremen, Kiel, Regensburg, Münster und der BGR Hannover an der Station, was für eine hohe Auslastung sorgte.

Die Durchführung des langfristigen atmosphärischen Meßprogrammes erfordert den weiteren Ausbau der Station, mit dem im Sommer 1993 begonnen wurde. Mit den Bauarbeiten für das neue NDSC-Gebäude, in dem vorhandene und weitere neue Geräte in den nächsten Jahren installiert werden sollen, wurde die Kings Bay Kull Company beauftragt.

Seit mehreren Jahren arbeitet das AWI mit dem Norsk Polarinstitut (NP) und dem Norsk Institutt for Luftforskning (NILU) bei Forschungsprojekten und Langzeitbeobachtungen zusammen. Die Kooperation erstreckte sich im Berichtszeitraum auf Zusammenarbeit bei der Qualitätsprüfung von Strahlungsmessungen und synoptischen Beobachtungen sowie die gemeinsame Nutzung von Labors und Meßstationen in Ny Ålesund. Neu ist die Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern vom National Institute of Polar Research, Japan.

Forschung auf Spitzbergen geschieht im Rahmen des Spitzbergen-Vertrages unter großer internationaler Beteiligung. Alle Forschungsprojekte werden in Übereinstimmung mit den Auflagen des Umweltschutzes vorbereitet und dem norwegischen Gouverneur sowie dem Norsk Polarinstitut zur wissenschaftlichen und logistischen Koordinierung gemeldet.

## 6.2 FS „Polarstern“ und FK „Victor Hensen“

### 6.2.1 FS „Polarstern“

In den Berichtszeitraum fallen sieben Antarktis- und vier Arktisfahrten mit FS „Polarstern“. Auf ANT X/2 wurde die Neumayer-Station versorgt sowie Landunternehmungen am Drescher Inlet sowie auf dem Filchner Schelfeis unterstützt. ANT X/3 diente biologischen Studien („Herbst im Eis“) zwischen Kap Norwegia und der Bouvet Island.

Der schwierigste Abschnitt war die Winterfahrt ANT X/4 von Mai bis August 1992. Die hydrographischen Arbeiten an Bord sowie die physikalischen Studien auf dem Meereis waren durch schwerste Wetterlagen mit Orkanen behindert, die Schäden am Schiff und an der Ladung verursachten. Extreme Eisverhältnisse mit 10/10 Bedeckung machten das Schiff im Juni/Juli zeitweise bewegungsunfähig und Außenarbeiten teilweise unmöglich. Die Sorgen um den Brennstoffbestand und die Belastung der Maschinen waren erheblich. Hierzu ein Zitat des Kapitäns: „Es langt jetzt nicht zu sagen, „Polarstern“ ist gut aus dem Eis herausgekommen. Die Chancen standen 50:50; das sollte jedem zu denken geben.“

Nach Rückkehr in Puerto Madryn arbeitete das Schiff auf ANT X/5 marin-geologisch im Georgia Becken, Südsandwich-Graben und in der Scotia-See. Bei „Frühling am Eisrand“ (ANT X/6) war die Region bei Bouvet Island zwischen 50°S und 62°S das Einsatzgebiet.

Auf ANT X/7 wurde wieder die Neumayer-Station versorgt. Nach der Heimreise (ANT X/8) lief das Schiff nach nur einwöchentlichem Hafenaufenthalt in Bremerhaven in die Arktis aus. ARK IX/1a führte das Schiff in die Grönlandsee. Diese Winterfahrt war durch extreme Kälte mit Wochenmitteln bis  $-37^{\circ}\text{C}$  und Spitzenwerten unter  $-40^{\circ}\text{C}$  gekennzeichnet. Das Schiff litt unter dem starkem Eisansatz unter schwierigsten Bedingungen, so daß die Kräne zeitweise kaum noch benutzbar waren. Der Abschnitt ARK IX/1b führte von Spitzbergen aus in die Grön-

landsee. Noch bei Einlaufen am 19.04. in Bremerhaven war das Vorschiff vereist.

In der nachfolgenden vierwöchigen Wertzeit wurden Restarbeiten durchgeführt. Auf der Rückreise von der Antarktis im Februar war zwischen Texel und Borkum Riff durch Seeschlag Wasser ins C-Deck eingedrungen und hatte erhebliche Schäden verursacht, die in dem einwöchigen Hafenaufenthalt im April nicht vollständig behoben werden konnten. Während des siebzehnmonatigen Einsatzes waren trotz der schwierigen Arbeitsbedingungen keine besonderen Schäden im Unterwasserbereich aufgetreten. Die Wertzeit wurde zum Einbau der neuen wissenschaftlichen Navigationsanlagen ANP 2000, zur Festinstallation der ADCP-Anlage, zum Einbringen neuer Seile sowie zu allgemeinen Servicearbeiten genutzt. Vor Auslaufen zu ARK IX/2 wurde die ANP 2000 vor Helgoland getestet. Sie arbeitet inzwischen einwandfrei.

ARK IX/2 und ARK IX/3 (15. 5. bis 4. 8. 1993) führten „Polarstern“ hauptsächlich zu biologischen Arbeiten in die Ostgrönland Polynya.

ARK IX/4 war ein deutsch-russisches Gemeinschaftsprojekt, an dem auch die russischen Schiffe „Ivan Kireyev“ und „Dalnie Zelentsy“ beteiligt waren. Die Eisverhältnisse waren teilweise so schwer, daß russische Eisbrecher das Schiff unterstützen mußten.

Für die kurze Wertzeit vom 6. bis 16. 10. in Bremerhaven waren Restarbeiten vorgesehen und am 18. 10. lief FS „Polarstern“ zu ANT XI/1 mit luftchemischem Schwerpunkt aus. Wegen Schäden der an Hydrosweep- und Parasound-Anlage, die erst auf See in tiefem Wasser festgestellt werden konnten, mußte die Fahrtplanung geändert und das Schiff in Kapstadt Anfang Dezember gedockt werden. Für die nachfolgende und letzte Fahrt 1993 (ANT XI/2) bedeutete dies eine Änderung des Einsatzgebietes und der wissenschaftlichen Planung.

### 6.2.2 FK „Victor Hensen“

Nach der Aufliegezeit bis zum 31. 3. 1992 nahm „Victor Hensen“ seine Forschungsfahrten wieder auf. Sie wurde in der Deutschen Bucht von den Universitäten Bremen, Oldenburg, Hannover und dem Alfred-Wegener-Institut genutzt. Hervorzuheben ist eine 18tägige Fahrt in der Biskaya im Rahmen des Eurosarp/Impact Projektes. Insgesamt war das Schiff 1992 82 Tage auf See.

Während der Aufliegezeit vom 8. 10. 1992 bis Anfang April 1993 wurde das Schiff gewartet und überholt. Die Arbeiten kon-

zentrierten sich neben kleinen Reparaturen im wesentlichen auf den Maschinenbereich. Das Schiff wurde mit Differential GPS ausgerüstet und die Satcom-Anlage wurde durch eine Schnittstelle zum Kreiselkompaß zwecks sicherer Nachführung bei Kursänderung modifiziert.

Am 5. 4. 1993 begann der Forschungsbetrieb mit Fahrten für die Universität Bremen in die Norwegische Rinne sowie in der südlichen Nordsee. Bis Anfang Oktober 93 war das Schiff 87 Tage für das AWI, die Universitäten Bremen und Oldenburg, das MPI Bremen sowie für Euomar eingesetzt. Danach war „Victor Hensen“ bis Februar 1994 zu Forschungsarbeiten der Universität und des MPI Bremen in Costa Rica. Ende März 1994 kehrte das Schiff wieder nach Bremerhaven zurück.

### 6.3 Polarflugzeuge und Hubschrauber

Nach der Reparatur der „Polar 4“ konnte, dem Zeitplan entsprechend, die Übergabe am 14.09.1992 stattfinden. Der Austausch der Tragflächen der Polarflugzeuge wird weiterhin beibehalten. Nach der Reparatur wurden alle Sensoren verkabelt sowie einige mechanische und elektrische Installationen neu konstruiert. Die Schnittstelle der Stromversorgung wurde an den Standard der DLR-Flugzeuge angepaßt. Beide Flugzeuge erhielten eine Neulackierung. Die Navigationsausrüstung mit GNS-X-Geräte ermöglicht es, daß nunmehr für die Flugzeugführung und die wissenschaftliche Nutzung die aktuelle Position durch GPS-Empfänger erfaßt wird.

Die Bereederung wurde 1992 in deutlich reduziertem Umfang weitergeführt und ab Januar 1993 zur Vorbereitung der Arktis-Einsätze „REFLEX II“ und „Grönland '93“ wieder in vollem Umfang aufgenommen. Diese Vorhaben fanden unter Leitung von AWI-Wissenschaftlern statt und waren auf Fragen der Meteorologie- und Fernerkundung (REFLEX II) sowie der Geophysik (Grönland '93) ausgerichtet.

REFLEX II fand zeitgleich mit dem Programm Arktis '93 der Universität Hamburg und des Max-Planck-Institutes für Meteorologie, Hamburg, von Longyearbyen/Spitzbergen aus statt. Die Messungen der Polarflugzeuge dienten der Untersuchung von Stratuswolken und Strahlungsflüssen über Meereis sowie der turbulenten Flüsse von Impuls und Wärme. Bei einigen Flügen wurden mit digitalen Kameras Daten der Eisoberfläche aufgenommen, die zum Vergleich mit Satellitendaten des ERS-1 dienen. Die Polar 2 wurde an 12 Tagen mit 60 Flugstunden, die Polar 4 an 10 Tagen mit 50 Flugstunden eingesetzt. Einen besonderen Schwerpunkt bildeten Untersuchungen zur atmosphärischen Turbulenz. Parallel zu den Flugzeugeinsätzen

wurden aerologische Messungen an der Koldewey-Station in Spitzbergen durchgeführt. Die Flugzeugstrahlungsmessungen wurden bei mehreren Überflügen über das Meßfeld der Strahlungsbasisstation überprüft. Ergänzend zu den Spektralphotometer-Messungen zur Bestimmung des Aerosolgehalts wurden Strahlungs-, Temperatur- und Feuchteprofile mit den Flugzeugen aufgenommen.

Vom 11. Juni bis 17. Juli 1993 wurden bei aeromagnetischen Befliegungen mit Polar 2 im Gebiet Scoresby-Sund und Kong Oskar Fjord ca. 20.000 Profilkilometer aufgenommen. Ferner wurde der aeromagnetische Anschluß zum Camp der GRIP-Bohrung vorgenommen. Während der gesamten Expedition wurden die täglichen Magnetfeldschwankungen am Boden registriert. Parallel zum aeromagnetischen Programm diente Polar 4 der Einweisung einiger Piloten in Flugoperationen mit Ski-Ausrüstung. Polar 4 unterstützte außerdem eine Bodentraverse auf dem grönländischen Inlandeis. Der Transport von Eiskernen von der GRIP-Basis nach Nordgrönland war sehr schwierig. Um die Schwierigkeiten im Ski-Betrieb zu beheben, hat die Firma Dornier erste Vorschläge unterbreitet. Anfang 1994 soll über Maßnahmen zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit im Ski-Betrieb beschlossen werden.

Wie in den Vorjahren wurden auch im Berichtszeitraum regelmäßig zwei Hubschrauber vom Typ BO 105 auf FS „Polarstern“ für den Transport von Personen und Expeditionsmaterial mitgeführt. Die Hubschrauber sind für die Expeditionen auch zur Erkundung bei schweren Eisbedingungen unverzichtbar.

### 6.4 Allgemeine Logistik

Nachschub und Versorgung machen einen Großteil der Aufgaben der AWI-Logistik aus. Obwohl Versorgungsaufgaben mit dem eigenen Schiff zentrale Bedeutung behalten, wird häufiger auch auf die Schiffskapazität anderer Nationen zurückgegriffen. So brachten 1991/92 und 1992/93 russische Schiffe Personen und Material nach „Georg-Forster“ und zur Schirmacher Oase. Südafrika unterstützt schon seit Jahren die Versorgung der Neumayer-Station mit seinem Expeditionsschiff. Für die Versorgung von „Neumayer“ wurde im Berichtszeitraum ebenfalls mit Indien und Skandinavien kooperiert, um „Polarstern“ von diesen Aufgaben zu entlasten.

Der Umschlag von vielen Tonnen Expeditionsgütern erfolgte in Häfen Argentiniens, Chiles, Südafrikas oder Nordeuropas. Über 1000 Expeditionsteilnehmern wurden in den vergangenen zwei Jahren Forschungsarbeiten in den Polargebieten ermöglicht.

Die Logistik übernimmt auch die technische Betreuung der Schiffe, Flugzeuge und Stationen sowie die Entwicklung von speziellen polaren Techniken. Letzteres ist eine weit gefächerte Aufgabe, die von der Konzeption von Stationen, dem Bau von Eisbohrern bis zur Nutzung alternativer Energie für den Stations- und Feldbetrieb reicht.

In den letzten zwei Jahren haben sich die Expeditionstätigkeiten auf dem Lande erheblich erweitert. So werden Expeditionen auf Grönland, in Sibirien und in den Oasen der Antarktis durchgeführt, die zum Teil eine umfangreiche Expeditionstechnik erfordern. Diese wird, soweit nicht bereits verfügbar, neu entwickelt. Die Expeditionen selbst werden auch direkt von Mitarbeitern der Logistik technisch unterstützt.

Ein grundlegend neues und umfangreiches Arbeitsfeld entwickelt sich aus den Auflagen des Umweltschutzprotokolls zum Antarktisvertrag von 1991. Alle Antarktisaktivitäten sind auf ihre Umwelteinflüsse zu prüfen. Schädliche Umweltbeeinträchtigungen durch menschliche Tätigkeiten wie auch durch eingebrachte Stoffe sind, soweit wie irgend möglich, zu vermeiden. Dieses führte z.B. zur Entwicklung der Ölunfallbekämpfungsanlage, die ab 1994 fest auf FS „Polarstern“ installiert sein wird. Das Schiff soll mit dieser Anlage kleine Ölunfälle schnell und wirksam ohne die Hilfe anderer Schiffe bekämpfen können. Eine weitere Konsequenz des Umweltschutzprotokolls ist die Bestellung von Umweltschutz- und Abfallbeauftragten auf dem Schiff, an den Stationen und auf allen Expeditionen. Abfall- und Öltagebücher sind zu führen; eine Abfallklassifizierung sowie ein entsprechendes Abfallmanagement wurden eingeführt.

Die Auflagen des Umweltschutzprotokolls machten 1992/93 die komplette Entsorgung der aufgegebenen Überwinterungsstation „Georg-von-Neumayer“ erforderlich. Lediglich die stählernen Schutzröhren, die eine sehr geringe Belastung darstellen, wurden im Eis belassen. Dieses ist die erste umfassende Stationsentsorgung in der Antarktis überhaupt.

Im Sommer 1992/93 wurde damit begonnen, die Schirmacher Oase und die Georg-Forster Station, Überwinterungsstation der ehemaligen DDR zu entsorgen. Zwanzig Jahre Forschungsbetrieb der jegliche ökologischen Gesichtspunkte hintansetzte, hat die Schirmacher Oase zu einer der am schwersten belasteten Regionen der Antarktis gemacht. In einem Dreijahresprojekt mit dem Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg sollen jetzt die Umweltschäden, die von den beiden Stationen „Novolazarevskaya“ und „Georg-Forster“ ausgingen, behoben werden. Gleichzeitig soll die Forster-Station abgebaut und entsorgt werden. Die Entsorgung wird vom BMFT Projektträger finanziell unterstützt.

Wie die Polarwissenschaften, so ist auch die Logistik international eingebunden. Transportkooperationen und gemeinsame Entsorgungen sind gute Beispiele dafür. Aber auch die Entwicklung neuer Technologien, die Durchführung großer Projekte oder die Erstellung von Umweltschutzstrategien sind ohne internationale gegenseitige Beratung und Information kaum denkbar.

## 7. Zentrale Einrichtungen

### 7.1 Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

#### 7.1.1 Medien

Das AWI hat 1992 und 1993 die Medien in 18 bzw. 19 Pressemitteilungen über seine Arbeit informiert. Durch die Verbesserung der Kontakte zu verschiedenen Redaktionen erhöhte sich die Zahl der Veröffentlichungen über das AWI in Zeitungen und Zeitschriften. Anlaß für Pressemitteilungen und Pressekonferenzen waren Expeditionen der „Polarstern“, Ereignisse an den Forschungsstationen, im AWI Bremerhaven und Potsdam selber sowie Forschungsergebnisse von besonderer Bedeutung.

Der Neubau der Neumayer-Station war 1992 mehrfach Thema von Pressemitteilungen des Instituts. Zur Einweihung der Neumayer-Station durch den Parlamentarischen Staatssekretär im Forschungsministerium, Herrn Bernd Neumann, fand am 30. März 1992 im AWI eine Pressekonferenz statt.

Die Eröffnung der Forschungsstelle in Potsdam wurde im Frühjahr 1992 ebenfalls mit einer Pressekonferenz verknüpft. Weitere Themen für Pressemitteilungen waren 1992 die Ozonmessungen an der Koldewey-Station, die Verabschiedung von Prof. Hempel als Direktor des AWI, die Tiefbohrung ins grönländische Inlandeis, die Fertigstellung der Strahlungsmeßstation an der Koldewey-Station in Spitzbergen, die Berufung von Prof. Tilzer als Direktor des AWI sowie verschiedene Workshops und Tagungen.

Anläßlich des Weihnachtssessens des Bundesforschungsministers Dr. Heinz Riesenhuber mit Wissenschaftsjournalisten im Dezember 1992 in Bonn haben Prof. Tilzer und Prof. Olbers der Presse den Hydrographischen Atlas des Südlichen Ozeans vorgestellt und dem Minister überreicht.

Großes Interesse fanden Anfang des Jahres 1993 die Pressemitteilungen über die Spektromettermessungen von Spurengasen an der Koldewey-Station, bei denen erstmals das Mondlicht als Infrarotlichtquelle genutzt wurde, und die Ergebnisse der Zusammenarbeit zwischen Bio II und Physik II zum Algenwachstum. Im Sommer 1993 führte das AWI sowohl am Bremer Flughafen als auch am Flugplatz Bremerhaven Pressekonferenzen zur Vorstellung der Polarflugzeuge durch. Großes Echo fand die Mitteilung im Sommer 1993 über die ersten Ergebnisse der

internationalen Eiskernbohrung durch das grönländische Inlandeis, an der das AWI maßgeblich beteiligt war.

Besonders zu erwähnen ist die Pressekonferenz mit Bundesforschungsminister Dr. Krüger an Bord der „Polarstern“ zum Jubiläum „125 Jahre deutsche Polarforschung“ am 7. Oktober 1993, bei der auch die ersten Ergebnisse der „Polarstern“-Reise in die Laptevsee vorgestellt wurden. Die Presse hat anläßlich des Jubiläums in Sonderseiten und Artikelserien ausführlich über die Geschichte der Polarforschung und über die Arbeit des AWI berichtet.

Ende 1993 haben die „Nordsee-Zeitung“ in Bremerhaven und die „Märkische Allgemeine“ in Potsdam einen Briefwechsel per Fax durchgeführt, bei dem die Zeitungsläser Fragen an die Polarstationen des AWI stellen konnten. Die Antworten von dort wurden alle 14 Tage in der Zeitung veröffentlicht. Diese Idee des Kunstbeauftragten im BMFT, H. J. Hack, wurde positiv aufgegriffen und die Arbeit der Forschungsstationen in Bremerhaven und Potsdam auf diese Weise einer breiten Öffentlichkeit noch bekannter.

#### 7.1.2 Drucksachen

Die Drucksachen zur Information der Öffentlichkeit wurden überarbeitet. Neue Faltblätter in deutsch und englisch sind erschienen: über das AWI allgemein, „Polarstern“, die Antarktisstationen und AWI-Potsdam. Außerdem wurde eine Serie von neuen, populären Schautafeln erstellt, die in der Sonderausstellung „125 Jahre deutsche Polarforschung“ die aktuellen Forschungsarbeiten des Instituts erläutern.

Zu der Ausstellung „125 Jahre deutsche Polarforschung“ ist ein umfangreicher Katalog erschienen, der die Geschichte der deutschen Polarforschung in Wort und Bild nachzeichnet. Außerdem hat der Perthes-Verlag in Gotha auf Initiative und mit Unterstützung des AWI und der Reederei Hapag Lloyd Transport + Service anläßlich des Jubiläums einen Nachdruck des Berichts von Carl Koldewey über die „Erste deutsche Nordpolarfahrt“ (1871 in Petermanns Geographischen Mitteilungen erschienen) herausgegeben, der durch einen Artikel des Institutsdirektors über die gegenwärtige und künftige Polarforschung ergänzt wurde.

### 7.1.3 Vorträge und Führungen

Die Vorträge der Reihe „Das AWI stellt sich vor“ sind fortgesetzt worden.

Hier berichten Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen im Rahmen der Volkshochschule Bremerhaven im AWI populärwissenschaftlich über ihre Arbeit. Darüber hinaus informieren AWI-Wissenschaftler in Schulen, Vereinen und öffentlichen Veranstaltungen über die Forschung des Instituts.

Das Gebäude am Alten Hafen wurde in den beiden Jahren mit Führungen insgesamt 186 Gruppen mit 3806 Besuchern vorgestellt. Besonders zu erwähnen sind: Institut für Polarökologie Kiel, koreanische Hochschulprofessoren, Goethe-Institut Bremen, Mitarbeiter des BMFT, Universität Paderborn, Universität Osnabrück, Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein, Institut für Mikrobiologie Wien, Arbeitskreis „Energienutzung und Klima“, Graduiertenkolleg Bremen, GEOMAR Kiel, Universität Delft, Architektenkammer Bremen, ausländische Wissenschaftsreferenten und Mitarbeiter des Hochschulinformationssystems.

Im Rahmen der Veranstaltungen zum Jubiläum „125 Jahre deutsche Polarforschung“ fand am 17. Oktober 1993 ein Tag der offenen Tür statt, an dem nicht nur das AWI, sondern auch die „Polarstern“ und die „Grönland“ zu besichtigen waren. Dieses Angebot nahmen sehr viele Interessierte an: Das AWI besuchten 4.400 Personen und die „Polarstern“ 7.600 Personen.

### 7.1.4 Ausstellungen

Die Ausstellung „Lebensraum Antarktis“ der Naturwissenschaftlichen Sammlungen Berlin, an der sich das Alfred-Wegener-Institut beteiligt, haben das Meeresmuseum Stralsund und das Zoologische Museum in Kiel gezeigt. Diese Ausstellung war im Sommer 1993 in Stuttgart und ist weiterhin bis 1995 in verschiedenen Museen zu sehen.

Im EG-Informationsbüro in Brüssel präsentierte das AWI sich im Februar 1992 während der Ausstellung „Bremen und Bremerhaven: Europäischer Standort für Polarforschung und Meerestechnik“. Die Ausstellung „Umweltforschung“ des Bundesforschungsministeriums wurde im AWI im Sommer 1992 gezeigt.

An der Bremerhavener Festwoche beteiligte das AWI sich 1992 und 1993 mit jeweils einigen Schautafeln und Exponaten. An der Expo Colombo in Genua im Sommer 1992 hat das AWI Modelle der „Polarstern“ und der Neumayer-Station ausgestellt.

An den Gemeinschaftsständen der AGF auf der Hannover-Messe im April 1993 und der geotechnica in Köln im Mai 1993

hat das AWI die Arbeiten an der Neumayer-Station und der Koldey-Station vorgestellt. Als Exponate wurden mit Unterstützung der Fa. Bruker der Sonnenfolger des FTIR-Spektrometers, die Datenstation und ein Großfoto des FTIR-Spektrometers gezeigt. Schautafeln zur Erläuterung und zwei kurze Videofilme rundeten das Bild ab.

Anlässlich des Jubiläums „125 Jahre deutsche Polarforschung“ präsentierte das AWI im September 1993 in der Bremer Landesvertretung in Bonn eine kleine Ausstellung mit historisch interessanten Exponaten und aktuellen Beispielen aus der Polarforschung und -technik.

Am 7. Oktober 1993 eröffnete Bundesforschungsminister Dr. Krüger die Ausstellung „125 Jahre deutsche Polarforschung“, die das AWI gemeinsam mit dem Deutschen Schiffahrtsmuseum bis zum 30. Januar 1994 organisiert hatte. Die Sonderausstellung zeigt die historische Entwicklung der deutschen Polarforschung und die aktuelle deutsche Polarforschung.

## 7.2 Bibliothek

Die Institutsbibliothek enthielt Ende 1993 insgesamt ca. 89.400 bibliographische Einheiten (Bücher, Zeitschriften, Sonderdrucke, Seekarten).

	Zugang 1992	Zugang 1993	Bestand
Bücher	755	805	17.962
Zeitschriften	1.176	1.374	36.792
Karten	57	33	1.171

Die Zahl der laufend geführten Zeitschriften und Serien ist bis Ende 1993 auf 1.030 angewachsen. Davon werden 237 durch Kauf und 853 durch Tausch oder als Geschenk bezogen.

Nach Beschluß der Bibliothekskommission wird die bislang angewandte Systematik der Universitätsbibliothek Bremen für die Bedürfnisse des Instituts modifiziert. Diese Umstellung dauert noch an.

Von der Bibliothek wird für AWI-Mitarbeiter ein umfangreicher Leihverkehr abgewickelt; auf Anforderung wird die AWI-Forschungsstelle auf dem Telegraphenberg in Potsdam mit Bücher- und Zeitschriftenkopien fortlaufend versorgt.

Die Bordbibliothek auf FS „Polarstern“ wurde vollständig überarbeitet und neu aufgestellt.

Neben den beiden hauptamtlichen Mitarbeiterinnen der Bibliothek waren im Berichtszeitraum zwei weitere Bibliotheksangestellte mit Zeitverträgen beschäftigt, um u.a. auch die bis-

lang nicht erfaßten Nachlässe und Schenkungen katalogmäßig zu erfassen.

Die AWI-Bibliothek ist Mitglied in folgenden Organisationen:

- Arbeitsgemeinschaft der Bibliotheken der Großforschungseinrichtungen,
- Arbeitsgemeinschaft der meereskundlichen Bibliotheken,
- Arbeitsgemeinschaft der Spezialbibliotheken (ASpB), IAMS LIC und EURASLIC.

### 7.3 Rechenzentrum

Der Berichtszeitraum begann mit dem weiteren Ausbau der Unix-Workstations im AWI und dessen Außenstellen. Zwei Schwerpunkte stellten der Neubau der Neumayer-Station mit der Installation eines eigenen Workstation-Netzes (einschließlich der Anbindung der Observatorien durch Glasfaserkabel) sowie die DV-Erstausrüstung der Forschungsstelle Potsdam dar. Im Gegensatz zum AWI in Bremerhaven basiert letzteres ausschließlich auf Unix. Beide Installationen erfolgten durch das Rechenzentrum nach den am AWI entwickelten Integrations-Prinzipien.

Das Rechnernetz in Potsdam wurde überdies über eine Standleitung an das AWI-Rechnernetz angeschlossen und erste Versuche mit Rechner-Rechner-Kopplungen zu Neumayer und „Polarstern“ via Satellit durchgeführt.

#### 7.3.1 Zentrale Unix-Rechner

Im Bereich der zentralen Unix-Systeme wurden 1992/93 umfangreiche Ersatz-Beschaffungen und Erweiterungen getätigt und installiert. Das gesamte Seismik-Prozessing ist auf Silobetrieb umgestellt. Um das Kassettenkontingent von 2000 und die Anzahl der der Convex C2 zugeordneten Bandlaufwerke zu erweitern, wurden zwei weitere Laufwerke installiert und das Silo auf zwei Einheiten aufgestockt.

Schließlich wurde die C2 durch eine Convex C3420 mit zwei Prozessoren, 256 MB Hauptspeicher und 10 GB Plattenkapazität (Standort Geb. A) ersetzt. Diese Konfiguration hat sich als sehr zufriedenstellend erwiesen. Zur weiteren Vereinheitlichung des Seismik-Prozessing wurde die auf „Polarstern“ installierte Convex C1 mit zwei 3480-Laufwerken ausgerüstet, so daß die Rohdaten schon während der Expeditionen verarbeitet und die Ergebnisse auf Kassetten vorliegen, die dann direkt in das Silo eingestellt werden können.

Auch die C1 auf „Polarstern“ wurde durch eine Convex C3410 mit einem Prozessor ersetzt, mit 128 MB Hauptspeicher

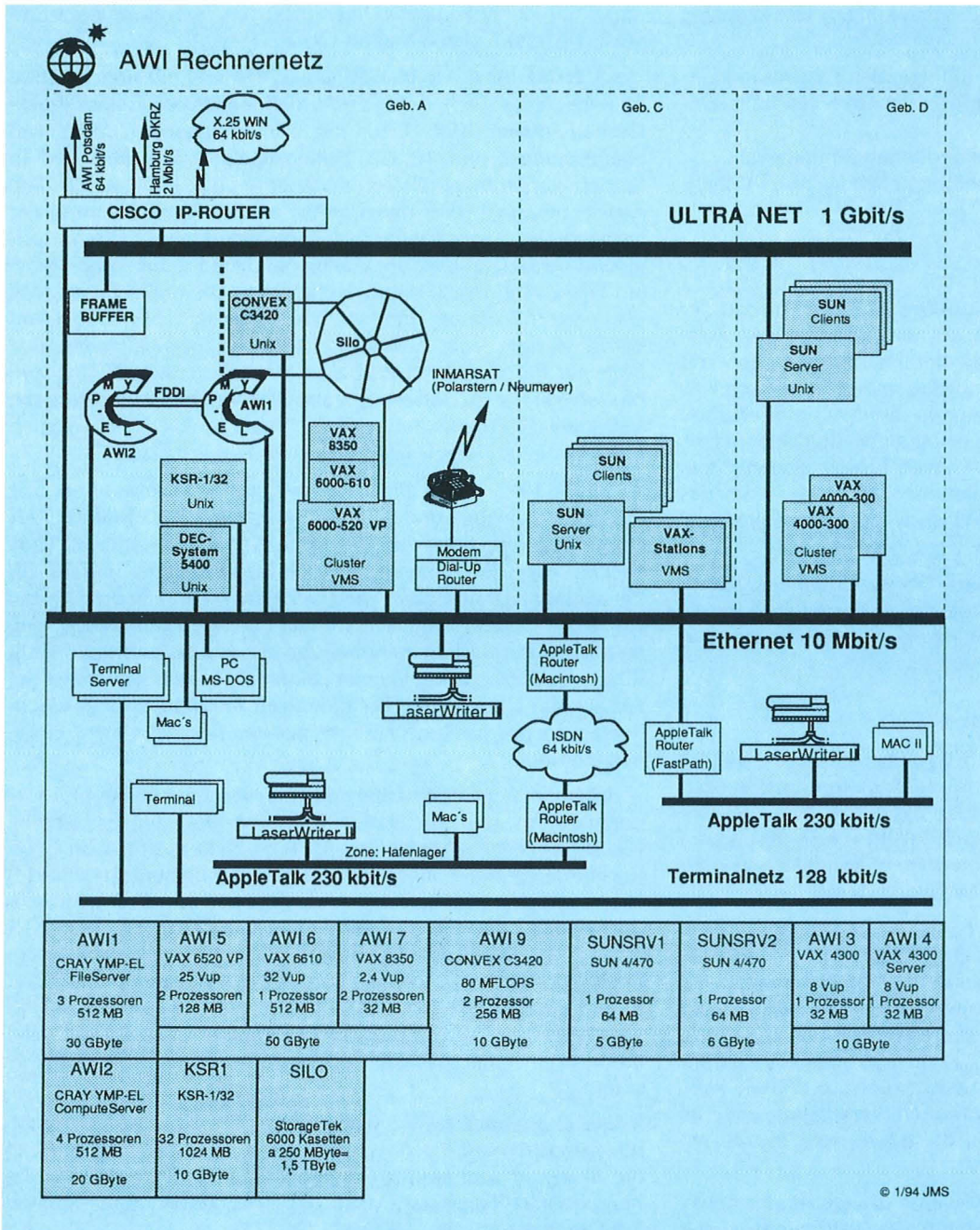
und 5 GB Plattenkapazität. Dieser Rechner ist während der Reise ANT-XII zum ersten Mal im Einsatz.

Als Ersatz für die beiden Alliant-Systeme FX/80 und FX/2800 im Bereich der Rechner für die Modellierer wurde zunächst eine Kendall-Square KSR 1-16 mit 16 Prozessoren, 512 MB Hauptspeicher und 10 GB Plattenkapazität installiert und in Betrieb genommen. Dieser Rechner wurde auch unter dem Aspekt beschafft, daß die Arbeiten an der Parallelisierung der vorhandenen Modellierungssoftware ohne Unterbrechung fortgeführt werden sollten, um künftig parallele Produktionssysteme am DKRZ, Hamburg, nutzen zu können. Die KSR-1 ist im AWI die erste Maschine, die mit der Unix-Variante OSF-1 als Betriebssystem läuft. Außerdem ist der Hauptspeicher physikalisch auf die einzelnen Prozessor-Module verteilt, 32 MB pro Modul. Mit der im Berichtszeitraum begonnenen Aufrüstung der KSR-1 auf 32 Prozessoren wird auch gleichzeitig der Hauptspeicher erweitert. Derzeit sind 22 Prozessoren installiert.

Anfang 1993 wurde eine Cray YMP/EL mit 4 Prozessoren, 512 MB Hauptspeicher und 30 GB Plattenkapazität installiert. Als Fileserverkomponente wurde Mitte 1993 eine zweite Cray YMP/EL mit 3 Prozessoren, 512 MB Hauptspeicher und 20 GB Plattenkapazität beschafft. Die zweite Cray wurde in der zweiten Hälfte des Jahres 1993 installiert und in Betrieb genommen. Beide Maschinen sind derzeit über den ersten Glasfaserring (FDDI-Ring) des AWI eng aneinander gekoppelt. In der Planung ist der Einsatz von UltraNet zur breitbandigen Anbindung (über Cisco-Router) an das übrige AWI-Netz anstelle der derzeitigen Ethernetverbindung.

Bestandteil der Beschaffung der Cray-Rechner war ein Kooperationsvertrag mit den Firmen Cray und DEC zur Evaluierung von neuer Festplattentechnologie (Raid-Platten-Arrays) an Cray-Rechnern, da der notwendige Ausbau der Plattenkapazität des Fileservers mit solchen Arrays erfolgen soll. Im Zuge dieser Kooperation wurden 5 Raid-Arrays verschiedener Hersteller getestet. Auf Basis der derzeitigen Auswertung sollen die Cray-Rechner weiter ausgebaut werden, wobei ein wesentliches Kriterium die Möglichkeit des Anschlusses solcher Platten an Workstation-Server sein wird. Das Rechenzentrum verspricht sich von Raid-Platten eine spürbare Entlastung im Bereich der Datensicherung.

Die Fileserver-Cray ist weiterhin an das Kassettensilo angeschlossen und verfügt über vier Band-Laufwerke. Insgesamt ist die Akzeptanz der beiden Cray-Rechner sehr hoch, da sie volle Kompatibilität (auch der Daten) zu den Rechnern des Deutschen Klimarechenzentrums (DKRZ) bieten.



Damit wurden sämtliche zentralen Unix-Rechner des AWI im Zeitraum des Berichtes ersetzt und erheblich erweitert. Die Integration der neuen Rechner in das AWI-Netz ist weitgehend abgeschlossen. Dabei haben sich die, trotz der unterschiedlichen Betriebssysteme, auf allen Rechnern verfügbaren Unix-Standard-Dienste wie Network Information Service, Network File System und Network Queuing System bewährt.

Basierend auf dem Internet-Domain-Name Service konnte das Electronic-Mail System als Standarddienst fest in der Unix-Welt installiert werden. Davon profitieren z.Zt. auch die Benutzer der anderen Rechnersysteme (VAX, Mac, PC). Weiterhin wurde ein Anonymous-FTP-Server auf einer Sun-Workstation installiert, der einen freizügigen Austausch von Daten mit Benutzern anderer Organisationen über das Internet ermöglicht. Diese Netzwerkdienste werden intensiv in Anspruch genommen. Der derzeitige Stand des AWI-Rechnernetzes ist in der Abbildung 1 dargestellt.

Abb. 1: AWI-Rechnernetz



### 7.3.2 Struktur des Einsatzes von Workstations im AWI-Rechnernetz

Angesichts der schnell wachsenden Zahl von Workstations im AWI und des zunehmenden Umstiegs von Anwendern in die Unix-Welt wurden verstärkt Strukturierungsmaßnahmen notwendig. Ende 1993 waren 180 Unix-Anwender eingetragen, die auf 80 Workstations und den größeren, zentralen Unix-Rechnern am AWI Bremerhaven arbeiten können.

Die Workstations wurden in acht sektionsspezifische Cluster geordnet, die zwecks Verringerung der Netzwerkbelastung in fünf physikalisch unabhängigen Subnetzen betrieben werden. Darüber hinaus bestehen kleine Workstation-Cluster in der Außenstelle Potsdam, der Neumayer-Station, der Koldewey-Station und an Bord der „Polarstern“.

Die Workstations wurden mit den notwendigen Netzwerkdiensten (Network Information Service NIS, Domain Name Service DNS, Anbindung an das Internet, Electronic Mail) ausgestattet und erhalten netzwerkweites Printing, Datensicherung und eine große Anzahl zentral installierter und administrierter Software-Applikationen. Angesichts einer steigenden Notwendigkeit für die lokale Datensicherung im Workstation-Bereich für Magnetbandlaufwerke sind die Arbeitsgruppen-Server im Unix-Bereich mit Backup-Kapazitäten (DAT-Laufwerke) ausgestattet. Aufgrund der im Rechenzentrum gesammelten Erfahrungen und der vorhandenen Ausstattung des Instituts mit DAT-Laufwerken im Unix-Server und Apple-Bereich fiel die Entscheidung für DAT-Laufwerke. Mit dieser Vereinheitlichung soll insbesondere die zukünftige Kompatibilität der Datenmedien innerhalb des Instituts und seiner verschiedenen Arbeitsgruppen gesichert werden.

### 7.3.3 Visualisierung/Verteiltes Rechnen

Das Projekt „Verteilte Anwendungen über Hochgeschwindigkeitskommunikation“ wurde mit der Erstellung eines „Remote File Access“ Werkzeugs fortgeführt. Damit kann man auf Dateien entfernter Rechner aus Programmen direkt zugreifen, wenn auf diesen Rechnern von der Systemverwaltung kein anderer Exportmechanismus zur Verfügung steht. Zudem wandelt es die binäre Zahlendarstellung „während“ des Transports von der des Quellrechners in die des Zielrechners um. Beide Eigenschaften sind bei der Nutzung von Hochleistungsrechnern, wie denen des DKRZ, nützlich.

Das Projekt „AWI-Metafile Interpreter“ wurde mit der Erstellung einer Unix-Client-Version abgeschlossen. Im Rahmen die-

ses Projektes wurde zugleich die Umstellung des verteilten Printersystems auf Unix-Server in Angriff genommen. Besonders berücksichtigt werden dabei Standards (POSIX, DCE/DME etc.), die in der Entwicklung sind, um eine weitere große Umstellungsphase zu vermeiden.

Um die Ausstattung der Unix-Workstations zu erweitern, wurde eine Reihe von Softwarepaketen zur Visualisierung von Daten ausgewählt und installiert. Von besonderem Interesse ist ein Entwicklungssystem für animierte 2- und 3-D Grafik, zu dessen Einsatz auch besondere 3-D-Grafikbeschleuniger beschafft wurden. Animierte Grafiken sind wichtig bei der Visualisierung von zeitabhängigen Datensätzen aus der Klimamodellierung, aber auch bei der Interpretation komplizierter räumlicher Strukturen, wie in der Bathymetrie. Eine Anlage zur Erstellung von Videobändern und CD-ROM für animierte Grafiken wurde zum Ende 1993 beschafft.

### 7.3.4 Datenbankprojekte

Die Datenbanken wurden weiter entwickelt und durch neue Informationssysteme ergänzt.

Im „Meteorologischen Informationssystem“ (MISAWI) werden alle Radiosonden-Aufstiege, Ozonmessungen, Wetterbeobachtungen und Strahlungsdaten aus der Neumayer-Station, der Koldewey-Station und vom Forschungsschiff „Polarstern“ verwaltet. Ende 1993 waren 10542 Radiosondenaufstiege, 46842 Wetterbeobachtungen von den Stationen, 20551 Wetterbeobachtungen vom Forschungsschiff „Polarstern“ und einige hunderttausend Strahlungsdaten verfügbar. Zusätzlich zu den im AWI gewonnenen Informationen wurden auch Daten aus der Forster-Station, insbesondere die Ozonmessungen aus den 80er Jahren, mit einbezogen.

Auch die Datenbank „Südlicher Ozean“ wurde ergänzt. Jetzt sind hydrographische Daten aus 27 internationalen Quellen integriert. Hiermit sind fast alle verfügbaren hydrographischen Stationen südlich 30°S in einer Datenbank zusammengefaßt. Die integrierten Datensätze stehen auf dem AWI ftp-File-Server über das Wissenschaftsnetz und international über das Internet allen interessierten Wissenschaftlern zur Verfügung.

Die „Ocean Circulation Datenbank“ enthält alle validierten CTD und Verankerungsdaten des AWI. 1143 CTD Stationen und 45 Verankerungstationen sind hier in voller Auflösung verfügbar. In der Sektion Physik 1 wurde eine graphische Oberfläche entwickelt, die den Zugriff über eine Karte auf diese Daten ermöglicht. Damit können auch Wissenschaftler anderer Sektionen des AWI die hydrographischen Informationen direkt nutzen.

Für die Geologie wurde ein Informationssystem (SEDANDB) entwickelt, das die Informationen zum Paläoklima aus Sedimentkernen verwaltet. Ziel ist es, die Informationen aus vielen Arbeitsgruppen in einem einheitlichen Informationssystem zusammenzufassen. Hierbei war insbesondere das Problem zu lösen, daß sehr viele Parameter (> 600) gemessen werden und sehr viele Wissenschaftler in der Auswertung der Proben beteiligt sind. Dieses Informationssystem ist in einer ersten Arbeitsversion für das AWI implementiert. In einem zweiten Abschnitt wird dieses System im Rahmen eines vom BMFT geförderten Projektes zu einer nationalen marinen Paläoklimadatenbank ausgebaut.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Fischerei und Ozeanographie (Atlant-NIRO) in Kaliningrad und der Bundesanstalt für Fischerei, Institut für Seefischerei, in Hamburg wurden russische Daten aus dem Südatlantik über Krill, Fisch, Zooplankton und Phytoplankton aus den letzten drei Jahrzehnten in einer Datenbank zusammengefaßt. Nach Abschluß des Projektes sollen diese Daten über internationale Netzwerke der wissenschaftlichen Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.

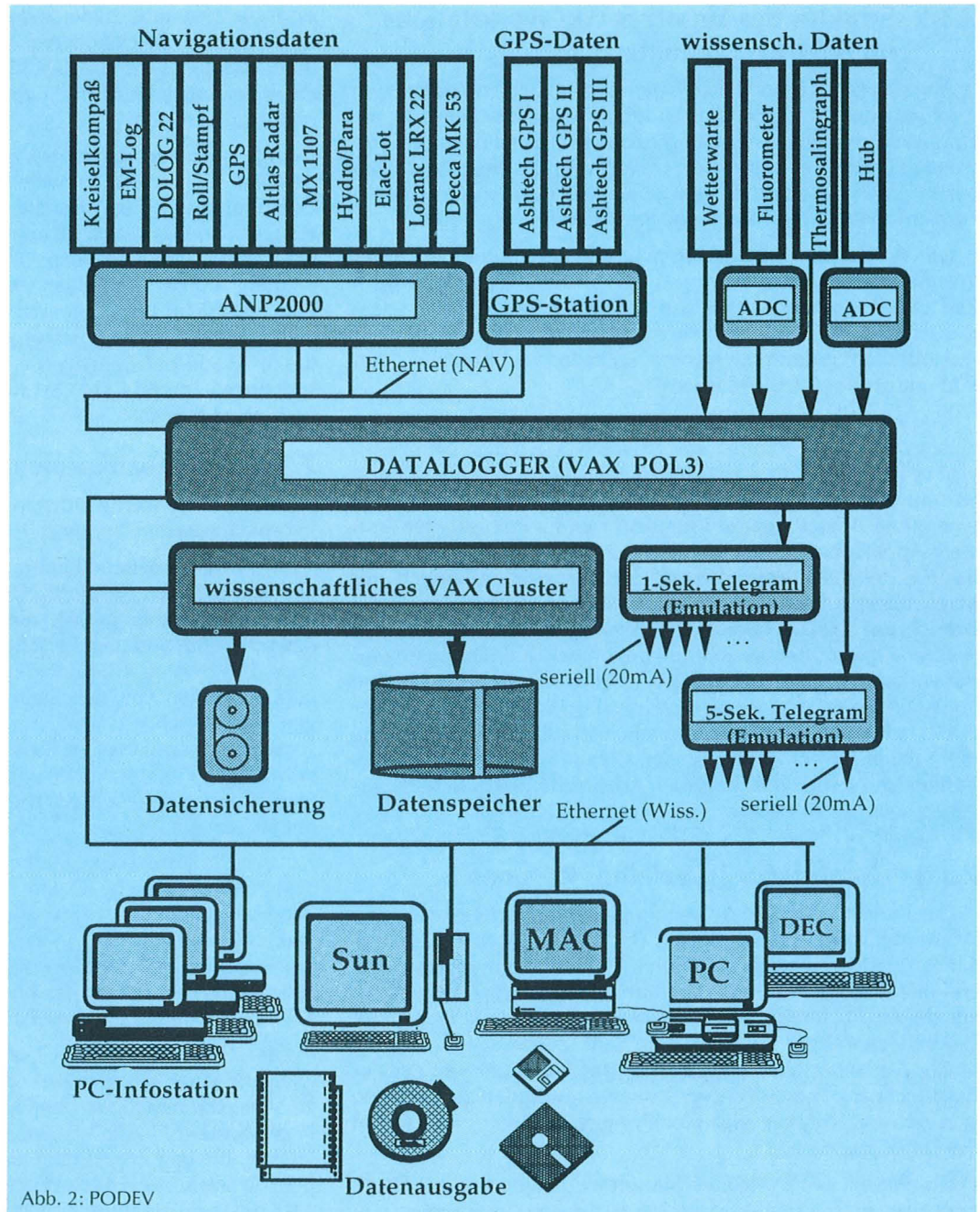


Abb. 2: PODEV

In internen Projekten werden zur Zeit neue Techniken des Datenmanagements getestet, um im wissenschaftlichen Bereich eine leistungsfähigere Verwaltung von Daten aufzubauen. Kassettensilos sollen als hochvolumige Massenspeicher in das Datenbankmanagementsystem einbezogen werden. Weiterhin können diese Systeme auch Validierungs-, Auswerte- und Präsentationsroutinen im Datenbankserver halten und so die Konsistenz des Gesamtsystems besser gewährleisten.

### 7.3.5 Informationsvermittlungsstelle (IVS)

Die Informationsvermittlungsstelle (IVS) des AWI stellt für alle wissenschaftlichen Nutzer die Recherche in nationalen und internationalen Literaturdatenbanken zur Verfügung. Sie pflegt einen zentralen INFO-Server, der CD-ROM basierte bibliographische Datenbanken über das lokale Netzwerk für MS-DOS Rechner und Apple Macintosh anbietet. Die Nutzer können von ihrem Arbeitsplatz aus selbst Literatur-Recherchen durchführen. Die Datenbanken werden im Abonnement jeweils auf dem neuesten verfügbaren Stand gehalten.

On-Line Recherchen in internationalen bibliographischen Datenbanken werden von der IVS nach Maßgabe der Nutzer durchgeführt. Über Profile können auch regelmäßige Suchen – z. B. quartalsmäßig – nach neuester Literatur erstellt werden.

Die IVS hilft auch beim Finden von Informationen im Internet, zum dem es über das Wissenschaftsnetz eine Querverbindung gibt. Hier sind die Informationen nicht auf Literaturbestände beschränkt, sondern umfassen die ganze Bandbreite wissenschaftlicher Daten.

### 7.3.6 PODEV Ein Datenerfassungs- und Informationssystem für Observatorien

„Polarstern“ ist seit Mai 1993 mit dem neuen Datenerfassungs- und Informationssystem (PODEV) ausgerüstet (Abb. 2). Der Austausch gegen das alte DEV-System war durch den Ersatz der Navigationsanlage (INDAS) notwendig geworden. Zur Zeit werden ca. 120 Meßstellen bearbeitet. Dazu gehören meteorologische, geologische, hydrographische und Navigationsdaten.

Die neu konzipierte Datenerfassungsanlage ermöglicht eine, unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten korrekte, kontinuierliche Sammlung von Umwelt- und Navigationsparametern. Für alle Informationen ist die Qualität erkennbar. Fehler bei der Erfassung der ca. 170 Parameter werden vom System automatisch erkannt, protokolliert und dem Bordmanagement gemel-

det. Fernerhin werden die Details über jedes eingesetzte Meßgerät zusammen mit den Daten gespeichert, so daß auch noch nach Jahren nachvollziehbar ist, wie ein Meßwert gewonnen wurde.

Das PODEV-System besteht aus drei Hauptteilen. Gerätetreiber übernehmen die Sensordaten von den Meßgeräten, ein gemeinsamer Speicherbereich (PODEV-Common) erlaubt den Lesezugriff auf die Daten. Systemmodule verteilen die Daten aus dem gemeinsamen Speicherbereich über das Netzwerk und speichern sie. Standardisierte Gerätetreiber erfassen die Sensordaten über serielle Schnittstellen. Der Treiber berechnet die Kalibrierung und den Fehler der Sensordaten, erkennt Ausfälle und schreibt die Meßwerte, ihren Fehlerwert, die Gültigkeitsflagge und den Erfassungszeitpunkt in den gemeinsamen Speicherbereich. Alle Meßdaten erhalten vom PODEV-System einen mit UTC synchronisierten Zeitstempel. Der zeitliche Schleppfehler innerhalb des Meßgerätes ist in der Sensorparameterdatei dokumentiert. Sämtliche Berechnungen werden über Parameterdateien gesteuert, die nur über einen speziellen Parameterdatei-Editor bearbeitet werden können. Alle Änderungen an den Parametern werden wie Meßdaten behandelt.

Aus dem gemeinsamen Speicherbereich werden mehrere Telegramme erzeugt und über das Netzwerk für den echtzeitnahen, wissenschaftlichen Gebrauch verteilt. Die Rohdaten werden z. Zt. in einem binären Dateisystem abgespeichert. Das PODEV-System wird durch Spezialprozesse überwacht, die ein Fehlverhalten lokalisieren, eine gewisse „Selbsteilung“ durchführen und den Systemmanager informieren können. Alle Systemaktivitäten sind in einem elektronischen Logbuch dokumentiert. Über ein Benutzerprogramm (POLDAT) kann man auf die Rohdaten gezielt zugreifen und die Rohdaten sowie daraus berechnete statistische Daten in ASCII-Format über einen wählbaren Zeitraum abrufen. Der Transfer der Rohdaten zum AWI erfolgt manuell, der Zugriff erfolgt, wie auf „Polarstern“, über das Benutzerprogramm POLDAT.

Entscheidend für die Datenqualität ist die wissenschaftliche Betreuung der qualitätsrelevanten Sensor- und Geräteparameter. Hierzu gehören z. B. Wartungsintervalle, Fehlerkoeffizienten, Kalibrierkonstanten, Speicherintervalle, Toleranzgrenzen, Alarmschranken, Namen von wissenschaftlichen und technischen Betreuern. Änderungen an den Parametern werden über die wissenschaftlichen Betreuer veranlaßt und über die Systemmanager an Bord von „Polarstern“ ausgeführt. Alle Änderungen werden schriftlich dokumentiert.

### 7.3.7 Parallelprojekt

Projektarbeiten im Rechenzentrum sollen den Wissenschaftlern verbesserte DV-Infrastruktur und Zugang zu neuer Technologie bieten. Sie umfassen die Bereiche Datenbanken, Visualisierung, verteiltes Rechnen und parallele Algorithmen. Beispielfähig sei das Parallelprojekt „Parallelisierung und Entwicklung numerischer Algorithmen in Ozeanmodellen“ vorgestellt.

Bisher wurde in den am AWI genutzten Ozeanmodellen mit idealisierter Geometrie und der quasigeostrophischen Näherung (QG Modell) ein Löser für die Helmholtz- bzw. Poissongleichung eingesetzt, der auf der Fouriertransformation des diskretisierten Gleichungssystems beruht. Der im Parallelprojekt entwickelte Mehrgitterlöser hat aufgrund seiner besseren numerischen Komplexität Vorteile hinsichtlich der verbrauchten CPU-Zeit, ohne daß sich die physikalischen Ergebnisse der Modelle mit den beiden Lösern unterscheiden.

Weiter wurde eine Bibliothek von parallelen Mehrgitterverfahren als Löser für die Helmholtzgleichung mit Dirichlet und periodischen Randbedingungen entwickelt. Es wurden die Löser für Kugelkoordinaten in Rechteckgebieten mit Dirichlet und periodischen Randbedingungen entwickelt und dokumentiert sowie auf Cray YMP und KSR portiert. Außerdem wurde ein Löser in kartesischen Koordinaten auf ein Workstationcluster portiert.

Abgeschlossen wurde außerdem die Entwicklung eines Löser für die Helmholtzgleichung mit Neumann Randbedingungen, dessen Erweiterung auf Zylinderkoordinaten Einsatz in einem kleinskaligen Zirkulationsmodell finden soll. Die Parallelisierung des QG Modells wurde begonnen. Ebenso wurde die Portierung eines primitiven Gleichungs-Ozeanmodells von einem Cray System auf die KSR und die Parallelisierung eines QG Modells auf einem Workstationscluster abgeschlossen.

Diese Ergebnisse wurden am 8. 11. 1993 im Rahmen eines Einweihungskolloquiums vorgestellt. Das Projekt wird vom Klimaforschungsprogramm des BMFT unter dem Titel „Parallelisierung und Entwicklung numerischer Algorithmen in Ozeanmodellen“ gefördert.

## 8. Personeller Ausbau und Haushaltsentwicklung

### 8.1 Personal

Die personelle Entwicklung in den Jahren 1992 und 1993 ist in der nachstehenden Übersicht dargestellt:

#### Personalplan 1992/93 (AWI Bremerhaven)

	Soll am 31.12.1992	Ist	Soll am 31.12.1993	vorl. Ist
Stellenplan	191	183	201	194
Annex- Stellenplan	161	134	165	140
Hochschul- sonderprogramm II	23	18	29	29
unbefristete Drittmittelstellen	16	10	16	11
befristete Drittmittelstellen	-	26,5	-	40
Summe	391	371,5	411	414

#### Personalplan 1992/93 (Forschungsstelle Potsdam)

	Soll am 31.12.1992	Ist	Soll am 31.12.1993	vorl. Ist
Stellenplan	34	34	34	32
Annex- Stellenplan	11	6	15	11
Befristete Drittmittelstellen	-	2	-	5
Summe	45	42	49	48

### 8.2 Haushalt 1992/1993

#### Bremerhaven

Das Haushaltsvolumen des Alfred-Wegener-Instituts belief sich im Jahr 1992 im Soll auf 100.976 TDM. Davon entfielen 76.058 TDM auf den Betriebsmittel- und 24.918 TDM auf den Investitionsmittelplan.

Im Haushaltsjahr 1993 wurden insgesamt Ausgaben von 98.764 TDM veranschlagt. Bei den Betriebsmitteln war eine Steigerung von 6.043 TDM zu verzeichnen, die sich aus dem Anstieg der Personalaufwendungen um 1.684 TDM, bei den Sachausgaben um 1.949 TDM und bei den Betriebsführungsverträgen um 2.410 TDM ergab. Im Investitionsmittelbereich war durch die Beendigung der Bauphase der „Neumayer-Station“ im Haushaltsjahr 1992 eine Minderung des Ansatzes für das Haushaltsjahr 1993 in Höhe von 11.500 TDM notwendig geworden. Dagegen mußte der Ansatz für laufende Investitionen im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprogramms erhöht werden. Insgesamt ergab sich damit eine Reduzierung der Investitionsmittel in Höhe von 8.255 TDM.

Im Drittmittelbereich standen 1992 2.632 TDM und 1993 4.125 TDM zur Verfügung.

#### Potsdam

Das Haushaltsvolumen des Alfred-Wegener-Instituts, Forschungsstelle Potsdam, belief sich im Jahr 1992 im Soll auf 4.544 TDM. Davon entfielen 3.463 TDM auf den Betriebsmittel- und 1.081 TDM auf den Investitionsmittelplan.

Im Haushaltsjahr 1993 wurden insgesamt Ausgaben von 5.318 TDM veranschlagt. Bei den Betriebsmitteln war eine Steigerung von 742 TDM zu verzeichnen, die sich aus dem Anstieg der Personalaufwendungen um 542 TDM, bei den Sachausgaben um 200 TDM ergab. Im Investitionsmittelbereich war gegenüber dem Jahr 1992 eine Erhöhung des Ansatzes um 32 TDM veranschlagt.

Im Drittmittelbereich standen 1992 86 TDM und 1993 206 TDM zur Verfügung.

8. Personeller Ausbau und Haushaltsentwicklung

**Finanzplan 1992/1993**

**– Bremerhaven –**

	Soll am 31.12.1992 TDM	Ist TDM	Soll am 31.12.1993 TDM	vorl. Ist TDM
<b>Betriebsmittelplan:</b>				
Personal	23.155	23.890	24.839	27.142
Sachmittel	53.203	53.316	57.562	58.941
<b>Investitionsmittelplan:</b>				
Lde. Investitionen	24.467	24.598	16.544	16.147
Bauinvestitionen	451	-	119	150
Einnahmen	300	2.123	300	3.655
<b>Gesamt</b>	<b>100.976</b>	<b>99.681</b>	<b>98.764</b>	<b>98.725</b>
Drittmittel		2.632		4.125

**Finanzplan 1992/1993**

**– Potsdam –**

	Soll am 31.12.1992 TDM	Ist TDM	Soll am 31.12.1993 TDM	vorl. Ist TDM
<b>Betriebsmittelplan:</b>				
Personal	2.140	1.734	2.682	2.327
Sachmittel	1.323	1.344	1.523	1.639
<b>Investitionsmittelplan:</b>				
Lde. Investitionen	1.081	1.081	1.113	1.043
Bauinvestitionen	-	-	-	-
Einnahmen	-	59	-	6
<b>Gesamt</b>	<b>4.544</b>	<b>4.100</b>	<b>5.318</b>	<b>5.003</b>
Drittmittel		86		206

## Anhang

- I. Personal
- II. Wissenschaftliche Veranstaltungen
- III. Publikationen des Instituts
- IV. Veröffentlichungen der Mitarbeiter
- V. Abgeschlossene Examensarbeiten
- VI. „Polarstern“-Expeditionen

## I. Personal (Stand 31. Dezember 1993)

### Direktorium

Tilzer, Prof. Dr. Max  
Paulenz, Dr. Rainer  
Kreuzer, Gisela  
Mahnkopf, Sigrid

### Wissenschaftlicher Bereich

Abelmann, Dr. Andrea  
Arntz, Prof. Dr. Wolf  
Augstein, Prof. Dr. Ernst  
Baranski, Stanislaw  
Barwich, Elke  
Bathmann, Dr. Ulrich  
Baumann, Dr. Markus  
Behrens, Jörn  
Behrmann, Günter  
Berberich, Doris  
Beyer, Kerstin  
Beyerle, Georg  
Bijma, Dr. Jelle  
Bischoff, Bettina  
Bluszcz, Thaddäus  
Bock, Ute  
Bochert, Axel  
Boetius, Antje  
Bonn, Wolfgang  
Brathauer, Uta  
Bremer, Renate  
Bruns, Tatjana  
Brunßen, Jutta  
Budéus, Dr. Gereon  
Burkhardt, Steffen  
Cepek, Martin  
Cohrs, Wolfgang  
Cordelair, Ruth  
Crawford, Dr. Linda  
Crawford, Dr. Richard  
Dahm, Corinna  
Damm, Michael  
Determann, Dr. Jürgen  
Dieckmann, Dr. Gerhard  
Drebing, Wolfgang  
Eckstaller, Dr. Alfons  
Eicken, Dr. Hajo  
El Nagggar, Dr. Saad El Dine  
Fahl, Kirsten  
Fahrbach, Dr. Eberhard  
Fechner, Dr. Notker  
Fieg, Kerstin  
Firestone, Dr. John  
Fischer, Holger  
Fleischmann, Dr. Klaus  
- AGF -Geschäftsstelle -  
Frenzel, Andreas  
Friedrich, Jana  
Fröhlking, Rita  
Fütterer, Prof. Dr. Dieter  
Gerdes, Dr. Dieter  
Gerdes, Dr. Rüdiger  
Gerland, Dr. Sebastian  
Gersonde, Dr. Rainer  
Giese, Heide  
Gingele, Dr. Franz  
Gleitz, Dr. Markus  
Goerke, Dr. Helmut  
Gohl, Dr. Karsten  
Gorny, Dr. Matthias  
Grobe, Dr. Hannes  
Grosfeld, Dr. Klaus  
Günther, Dr. Carmen-Pia  
Gutt, Dr. Julian  
Haas, Christian  
Haese, Ralf  
Hagen, Dr. Ricky  
Hamann, Dr. Ilse  
Handorf, Dörthe  
Hanke, Georg  
Hanken, Thomas  
Harloff, Dr. Joachim  
Harrigfeld, Ingrid  
Hartmann, Dr. Jörg  
Haupt, Klaus  
Heese, Birgit  
Heidland, Dr. Klemens  
Helmke, Dr. Elisabeth  
Hermeling, Dr. Jörg  
Hertlein, Wolfgang  
Hinz, Friedel  
Hirche, Dr. Hans-Jürgen  
Hoffmann, Christel  
Hofmann, Annette  
Holby, Dr. Ola  
Höltzen, Heike  
Hoppema, Dr. Mario  
Hübscher, Christian  
Hunewinkel, Thomas  
Huybrechts, Dr. Philippe  
Iken, Katrin  
Jarre-Teichmann, Dr. Astrid  
Jokat, Dr. Wilfried  
Jung-Rothenhäusler, Friedrich  
Jürgens, Jutta  
Kattner, Dr. Gerhard  
Kipfstuhl, Dr. Josef  
Kirchhoff, Berit  
Klages, Dr. Michael  
Klappstein, Inge  
Kleefeld, Christoph  
Klöser, Dr. Heinz  
Köhler, Gertrud  
König-Langlo, Dr. Gert  
Kooistra, Dr. Wiebe  
Kottmeier, Dr. Christoph  
Krause, Prof. Dr. Gunter  
Krauß, Elke  
Kriews, Dr. Michael  
Kuhn, Dr. Gerhard  
Kühn, Stefanie  
Kühne, Stephan  
Kukert, Helmut  
Kunsch, Brunhilde  
Lange, Martin  
Langreder, Christina  
Lemke, Prof. Dr. Peter  
Lensch, Norbert  
Li, Dr. Aining  
Lochte, Dr. Karin  
Lohmann, Gerrit



---

Loose, Bernd	Plötz, Dr. Jochen	Steinmetz, Richard
Lorenzen, Christiane	Plugge, Rainer	Stiller, Michael
Lorenzen-Schmidt, Heike	Poltermann, Michael	Stölting, Ilsetraut
Lücker, Marianne	Rachor, Dr. Eike	Strass, Dr. Volker-H.
Lüdemann, Jens	Rebhan, Dr. Helge	Strohscher, Birgit
Lukait, Ingrid	Reipschläger, Anke	Stürcken, Martha
Lüpkes, Dr. Christof	Rhodes, Helga	Summa, Christa
Mackensen, Dr. Andreas	Riebesell, Ulf	Sündermann, Marika
Mädler, Annegret	Richter, Klaus-Uwe	Tan, Dr. Tjhing-Lok
Makarov, Dr. Rodion	Riegger, Lieselotte	Thomas, Dr. David
Mandler, Holger	Riemann, Dr. Franz	Thomzik, Renate
Mann, Ute	Röben, Heike	Thorsteinsson, Thorstein
Martelock, Imme	Robinson, Dr. Dale	Tibcken, Michael
Martens, Hartmut	Rohardt, Gerd	Tüg, Dr. Helmut
Martin, Dr. Thomas	Romboy, Manuela	Uebel, Udo
Maul, Dr. Andreas	Rüger, Dr. Hans-Jürgen	Uenzelmann-Neben, Dr. Gabriele
Mayer, Christoph	Rutgers van der Loeff, Dr. Michael	Ulbricht, Dr. Joachim
Mehrtens, Dr. Gabriele	Sartoris, Dr. Franz-Josef	Unverricht, Sieglinde
Metz, Cornelia	Scharek, Dr. Renate	Uratsuka, Dr. Seiho
Meyer, Angelika	Schauer, Dr. Ursula	Urban, Dr. Hans-Jörg
Meyer, Günter	Schaumann, Dr. Karsten	Valero-Delgado, Fernando
Meyer, Uwe	Scheele, Dr. Norbert	Viehoff, Dr. Thomas
Michel, Andreas	Schenke, Dr. Hans-Werner	Vogeler, Armin
Miller, Prof. Dr. Heinrich	Schiel, Dr. Sigrid	Vogt, Christoph
Mizdalski, Elke	Schmidt, Torsten	Völker, Christoph
Monk, Jürgen	Schmiedl, Gerhard	Wahsner, Dr. Monika
Mudersbach, Helga	Schöne, Tilo	Wamser, Dr. Christian
Müller, Annegret	Schönfeld, Jutta	Warnkroß, Marianne
Müller, Christian	Schrems, Prof. Dr. Otto	Weber, Dr. Kurt
Nam, Seung-Il	Schröder, Dr. Michael	Wegner, Jan
Niebler, Hans-Stefan	Schröter, Dr. Jens	Weigelt, Estella
Niederjasper, Fred	Schubert, Carsten	Weissenberger, Dr. Jürgen
Niehoff, Barbara	Schütt, Ekkehard	Wellbrock, Ursula
Niessen, Dr. Frank	Schwake, Cornelia	Weller, Dr. Rolf
Nixdorf, Dr. Uwe	Schwarz, Helga	Wenzel, Dr. Manfred
Nöthig, Dr. Eva-Maria	Seebeck, Michael	Weykam, Gabriele
Nürnberg, Dr. Dirk	Seisel, Sabine	Wiencke, Dr. Christian
Oelke, Christoph	Seiß, Guntram	Witte, Hannelore
Oerter, Dr. Hans	Sieger, Dr. Rainer	Wolf-Gladrow, Dr. Dieter
Ohm, Klaus	Sildam, Dr. Juri	Wollenburg, Jutta
Olbers, Prof. Dr. Dirk	Smetacek, Prof. Dr. Victor	Wuntke, Dr. Beatrix
Oszkó, Laszlo	Sommer, Angela	Zilitinkevich, Prof. Sergej
Pabel, Evelin	Stambler, Dr. Noga	Zwierz, Dr. Marek
Pauer, Dr. Frank	Starmans, Andreas	
Peil, Dr. Stefan	Stax, Dr. Rainer	
Peters, Elisabeth	Stebel, Kerstin	
Pichler-Dieckmann, Claudia	Stein, Dr. Rüdiger	

---

**Geschäftsstelle des Wissenschaftlichen  
Beirats der Bundesregierung  
Globale Umweltveränderungen (WBGU)**

Schulz-Baldes, Prof. Dr. Meinhard  
Müller, Dr. Marina  
Schneider-Kremer, Martina  
Karic, Vesna  
Liebert, Ursula  
Loose, Dr. Carsten  
Hoff, Holger  
Schäfer, Barbara

**Persönliche Assistenten der  
Beiratsmitglieder**

Büttner, Sebastian  
Fromm, Oliver  
Köbber, Birgit  
Lass, Wiebke  
Schmidt, Dr. Heike  
Lienenkamp, Roger  
Wink, Rüdiger  
Wöhler, Dr. Ingo

**Logistik**

Chiaventone, Birgit  
Drücker, Cord  
Janneck, Jürgen  
Kohnen, Dr. Heinrich  
Kuhlmann-Treu, Beate  
Malitz, Gerhard  
Müller, Norbert  
Nolting, Michael  
Schoppe, Silke  
Schulze, Egon  
Walter, Marianne  
Weippert, Ewald  
Weynand, Markus  
Witt, Ralf  
Wohltmann, Holger  
Woriescheck, Klaus  
Ziffer, Albert

**Verwaltung**

Audebert, Catherine  
Davidis, Edith  
Fröhlich, Kirsten

Göcke, Elke  
Gruberbauer, Monika  
Hornke, Rudolf  
Janßen, Gisela  
Janßen, Jürgen  
Kalina, Marion  
Kappmeier, Angela  
Krämer, Alexandra  
Kohnke, Christina  
Künker, Jutta  
Meinardus, Beate  
Mühlstädt, Dorothee  
Müller, Heino  
Müller, Renate  
Niess, Barbara  
Oltmann, Hildegard  
Onken, Heike  
Ostermann, Silke  
Plenge, Helmut  
Pleyn, Dieter  
Ritsch, Elke  
Siegmond, Ralf  
Wittke, Erich

**Allgemeine Dienste**

Böge, Richard  
Boreck, Ingrid  
Bütecke, Uwe  
Dempwolf, Irmtraud  
Dunker, Erich  
Ewert, Elisabeth  
Ferber, Thorsten  
Goebel, Ursula  
Janßen, Else  
Laboda, Reinhold  
Lemke, Gisela  
Mante, Dieter  
Pollnick, Lothar  
Praš, Antje  
Rastedt, Günter  
Senkbeil, Elna  
Sibberns, Reinhard  
Stern, Martina  
Weidmann, Eva  
Zasowski, Bärbel

**Zentrale Dienste**

Burhop, Dörte  
Diepenbroek, Michael  
Dodge, Dr. Christopher  
Gerchow, Peter  
Giermann, Dr. Günter  
Gomez, Michael-John  
Hiller, Dr. Wolfgang  
Kosinski, Jörg  
Krause-Babst, Hans  
Krause, Dr. Reinhard  
Kurzbuch, Barbara  
Laetsch, Brigitte  
Liegmahl, Dr. Herbert  
Makedanz, Siegfried  
Pauls, Margarete  
Pfeiffenberger-Pertl, Dr. Hans  
Reinke, Dr. Manfred  
Rosentreter, Heike  
Sbresny, Regine  
Sommerfeld, Jaqueline  
Schlüter, Jens-Michael  
Voß, Jutta  
Wübber, Dr. Chresten

**Auszubildende**

Hollmann, Beate  
Martens, Holger  
Neumann, Stefan  
Peters, Nicole  
Prinz, Thomas  
Reuter, Anja  
Scharsig, Sandra

**Forschungsstelle Potsdam**

Bastian, Ute  
Bergemann, Bert  
Beeskow, Bettina  
Damm, Dr. Ellen  
Claudius, Eduard  
Dethloff, Dr. Klaus  
Eggert, Uwe  
Fritzsche, Dr. Diedrich  
Gernandt, Dr. Hartwig  
Graeser, Jürgen  
Gräning, Sigrun

Herber, Dr. Andreas  
Hermichen, Dr. Wolf-Dieter  
Hubberten, Dr. Hans-Wolfgang  
Hubberten, Ulrike  
Kopsch, Conrad  
Kulbe, Thomas  
Lange, Gerd  
Lehmann, Dr. Ralph  
Litz, Christine  
Melles, Dr. Martin  
Meier, Arndt  
Müller, Gerald  
Neuber, Dr. Roland  
Notholt, Hanne  
Notholt, Dr. Justus  
Overduin, Pier Paul  
Rauschert, Dr. Martin  
Rinke, Dr. Annette  
Sass, Ingeborg  
Schönicke, Lutz  
Schwarz, Dr. Günter  
Seipold, Helga  
Siegert, Dr. Christine  
Stapke, Maren  
Stoof, Günter  
Struschka, Birgit  
Voskuhl, Jeanine  
Wessel, Silke  
Wand, Dr. Ulrich  
Zielke, Artur

#### **Überwinterer AWI**

##### **Antarktis-Station Neumayer 1992 - 1994**

Etspüler, Dr. Wolfgang  
Gruhne, Mario  
Hofmann, Jörg  
Reiter, Alois  
Terzenbach, Uwe

##### **1993 - 1995**

Schuster, Dr. Friedrich  
Fickert, Jens  
Goldberg, Valeri  
Stock, Jürgen  
Stockhaus, Detlef

#### **Überwinterer Hapag-Lloyd 1992 - 1994**

Behnsen, Uwe  
Schneider, Hans  
Strecke, Dr. Volker  
Wicht, Manfred

##### **1993 - 1995**

Jockwer, Gustav  
Kästner, Rudolf  
Muhle, Heiko  
Schönhofer, Georg

#### **Überwinterer Arktisstation Spitzbergen**

Beninga, Ingo  
Schwartz, Ute

#### **Beurlaubte Mitarbeiter/innen**

Babst, Ulrike  
Bremer, Andrea  
Feuster, Astrid  
Klages, Claudia  
Pörtner, Dr. Hans-Otto  
Wiebe-Kawaletz, Susanne  
Reddig, Sanne

## II. Wissenschaftliche Veranstaltungen

### 1992

- 13. 3. Sitzung des Joint Research Programme „Impact of trawled fishing gear on benthos“
- 29. 4. Tagung der Arbeitsgruppe „Umweltforschung“ des Wissenschaftsrates
- 15. – 17. 6. Sitzung des Wissenschaftlichen Beirats des AWI
- 25. 6. Vorbereitungsitzung „Polarstern“-Reise ARK-IX/4
- 18. 6. – 3. 7. Ausstellung „Umweltforschung“ des BMFT
- 21./22. 9. 1. Sitzung des Landesausschuß SCAR/IASC (AWI Potsdam)
- 5. – 9.10. Meeting „International Association of Aquatic and Marine Science Libraries and Information Centers“
- 6. 10. 2. DFG-Kolloquium „Antarktische Küstenstation Jubany“
- 11. 11. Polartag 1992 (mit Uni Kiel)
- 20. 11. – 2. 12. 3rd Workshop on Mass Balance of the Greenland Ice Sheet
- 14./15. 4. Treffen der deutsch-französischen AG zur Tiefseeforschung
- 13./14. 5. Tagung des Wiss. Beirats der Bundesreg. Globale Umweltveränderungen
- 24./25. 5. 2. Sitzung des Landesausschuß SCAR/IASC
- 2. – 4. 6. 14. Sitzung des Wiss. Beirates
- 10./11. 6. International Geosphere-Biosphere Programme-Arbeitstreffen „Globale Änderungen im Klimasystem der Vergangenheit“
- 24. – 26. 8. Überwinterungsseminar
- 30. 8. – 2. 9. ANT-X/6 Workshop
- 1. – 3. 9. Workshop on Aspects of Parallelization regarding Finite Elements & Ocean Modelling
- 13. – 16. 9. Workshop "Ecology of Antarctic Sea Ice Zone"
- 18. 9. Tag der offenen Tür AWI Potsdam
- 17.10. Tag der offenen Tür AWI Bremerhaven
- 12. – 14.10. Treffen AWI-British Antarctic Survey, Cambridge
- 18.-20.10. DFG-Kolloquium „Glaziologie im süd- und nordpolaren Raum“

### 1993

- 13. 1. Sitzung der ad hoc Gruppe für das Global Ocean Observing System (GOOS, Dt. IOC-Sektion)
- 21. 1. Neujahrsempfang für ausländische Gastforscher
- 3. 2. Treffen der Assistenten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
- 3. 2. Berufungskommission Sektionsleiterstelle Chemie
- 15. 2. Treffen der deutschen Vertreter der deutsch-französischen bilateralen AG für Tiefseeforschung
- 8./9. 3. ANT-X/6-Datenworkshop
- 1./2. 4. Begutachtung DGF-Schwerpunkt „Antarktisforschung“
- 15./16.11. European Science Foundation-Workshop „Icemint: Iceshelf-Ocean-Interaction“
- 16. 12. Sitzung ad hoc Arbeitsgruppe für das Global Ocean Observing System (GOOS, Dt. IOC-Sektion)

## III. Publikationen des Instituts

### Berichte zur Polarforschung 1992/93

- Heft Nr. 99/1992 – „The Antarctic ice sheet and environmental change: a three-dimensional modelling study“, by Philippe Huybrechts.
- Heft Nr. 100/1992 – „Die Expeditionen ANTARKTIS IX/1-4 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1990/91“, herausgegeben von Ulrich Bathmann, Meinhard Schulz-Baldes, Eberhard Fahrbach, Victor Smetacek und Hans-Wolfgang Hubberten.
- Heft Nr. 101/1992 – „Wechselbeziehungen zwischen Spurenmittelkonzentrationen (Cd, Cu, Pb, Zn) im Meerwasser und in Zooplanktonorganismen (Copepoda) der Arktis und des Atlantiks“, von Christa Pohl.
- Heft Nr. 102/1992 – „Physiologie und Ultrastruktur der antarktischen Grünalge *Prasiola crispa* ssp. *antarctica* unter osmotischem Streß und Austrocknung“, von Andreas Jacob.
- Heft Nr. 103/1992 – „Zur Ökologie der Fische im Weddellmeer“, von Gerd Hubold.
- Heft Nr. 104/1992 – „Mehrkanalige adaptive Filter für die Unterdrückung von multiplen Reflexionen in Verbindung mit der freien Oberfläche in marinen Seismogrammen“, von Andreas Rosenberger.
- Heft-Nr. 105/1992 – „Radiation and Eddy Flux Experiment 1991 (REFLEX I)“, von Jörg Hartmann, Christoph Kottmeier und Christian Wamser.
- Heft-Nr. 106/1992 – „Ostracoden im Epipelagial vor der Antarktischen Halbinsel – ein Beitrag zur Systematik sowie zur Verbreitung und Populationsstruktur unter Berücksichtigung der Saisonalität“, von Rüdiger Kock.
- Heft-Nr. 107/1992 – „ARCTIC '91: Die Expedition ARK-VIII/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1991“, herausgegeben von Dieter K. Fütterer.
- Heft-Nr. 108/1992 – „Dehnungsbeben an einer Störungszone im Ekström-Schelfeis nördlich der Georg-von-Neumayer Station, Antarktis. – Eine Untersuchung mit seismologischen und geodätischen Methoden“, von Uwe Nixdorf.
- Heft-Nr. 109/1992 – „Spätquartäre Sedimentation am Kontinentalrand des südöstlichen Weddellmeeres, Antarktis“, von Michael Weber.
- Heft-Nr. 110/1992 – „Sedimentfazies und Bodenwasserstrom am Kontinentalhang des nordwestlichen Weddellmeeres“, von Isa Brehme.
- Heft-Nr. 111/1992 – „Die Lebensbedingungen in den Solekanälen des antarktischen Meereises“, von Jürgen Weissenberger.
- Heft-Nr. 112/1992 – „Zur Taxonomie von rezenten benthischen Foraminiferen aus dem Nansen Becken, Arktischer Ozean“, von Jutta Wollenburg.
- Heft-Nr. 113/1992 – „Die Expedition ARKTIS VIII/1 mit FS ‚Polarstern‘ 1991“, herausgegeben von Gerhard Kattner.
- Heft-Nr. 114/1992 – „Die Gründungsphase deutscher Polarforschung, 1865-1875“, von Reinhard A. Krause.
- Heft-Nr. 115/1992 – „Scientific Cruise Report of the 1991 Arctic Expedition ARK VIII/2 of RV ‚Polarstern‘ (EPOS II)“, by Eike Rachor.
- Heft-Nr. 116/1992 – „The Meteorological Data of the Georg von Neumayer Station (Antarctica) for 1988, 1989, 1990 and 1991“, by Gert König-Langlo.
- Heft-Nr. 117/1992 – „Petrogenese des metamorphen Grundgebirges der zentralen Heimelfrontfjella (westliches Dronning Maud Land / Antarktis)“, von Peter Schulze.
- Heft-Nr. 118/1993 – „Die mafischen Gänge der Shackleton Range/Antarktika: Petrographie, Geochemie, Isotopengeochemie und Paläomagnetik“, von Rüdiger Hotten.
- Heft-Nr. 119/1993 – „Gefrierschutz bei Fischen der Polarmeer“, von Andreas P. A. Wöhrmann.
- Heft-Nr. 120/1993 – „East Siberian Arctic Region Expedition '92: The Laptev Sea – its Significance for Arctic Sea-Ice Formation and Transpolar Sediment Flux“, by D. Dethleff, D. Nürnberg, E. Reimnitz, M. Saarloos and Y. P. Savchenko. – „Expedition to Novaja Zemlja and Franz Josef Land with RV ‚Dalnie Zelentsy‘“, by D. Nürnberg and E. Groth.
- Heft-Nr. 121/1993 – „Die Expedition ANTARKTIS X/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Michael Spindler, Gerhard Dieckmann und David Thomas.
- Heft-Nr. 122/1993 – „Die Beschreibung der Korngestalt mit Hilfe der Fourier-Analyse: Parametrisierung der morphologischen Eigenschaften von Sedimentpartikeln“, von Michael Diepenbroek.

- Heft-Nr. 123/1993 – „Zerstörungsfreie hochauflösende Dichteuntersuchungen mariner Sedimente“, von Sebastian Gerland.
- Heft-Nr. 124/1993 – „Umsatz und Verteilung von Lipiden in arktischen marinen Organismen unter besonderer Berücksichtigung unterer trophischer Stufen“, von Martin Graeve.
- Heft-Nr. 125/1993 – „Ökologie und Respiration ausgewählter arktischer Bodenfischarten“, von Christian F. von Dorrien.
- Heft-Nr. 126/1993 – „Quantitative Bestimmung von Paläoumweltparametern des Antarktischen Oberflächenwassers im Spätquartär anhand von Transferfunktionen mit Diatomeen“, von Ulrich Zielinski.
- Heft-Nr. 127/1993 – „Sedimenttransport durch das arktische Meereis: Die rezente lithogene und biogene Materialfracht“, von Ingo Wollenburg.
- Heft-Nr. 128/1993 – „Cruise ANTARKTIS X/3 of RV ‚Polarstern‘: CTD-Report“, von Marek Zwierz.
- Heft-Nr. 129/1993 – „Reproduktion und Lebenszyklen dominanter Copepodenarten aus dem Weddellmeer, Antarktis“, von Frank Kurbjeweit.
- Heft-Nr. 130/1993 – „Untersuchungen zu Temperaturregime und Massenhaushalt des Filchner-Ronne-Schelfeises, Antarktis, unter besonderer Berücksichtigung von Anfrier- und Schmelzprozessen“, von Klaus Grosfeld.
- Heft-Nr. 131/1993 – „Die Expedition ANTARKTIS X/5 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Rainer Gersonde.
- Heft-Nr. 132/1993 – „Bildung und Abgabe kurzketziger halogener Kohlenwasserstoffe durch Makroalgen der Polarregionen“, von Frank Laturnus.

#### **Polarstern Abstracts**

- Heft 6/1992. Ed. I. Hempel: 208 pp.  
Heft 7/1993. Ed. I. Hempel: 213 pp.

#### **Filchner Ronne Ice Shelf Programme**

- Report No. 6. Ed. H. Oerter: 109 pp.

**125 Jahre deutsche Polarforschung.** Hrsg. Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Referat für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, 1993: 191 pp.

**User handbook for the Polar 2 and Polar 4 research aircraft.** C. Kottmeier, ed. 1993: 47 pp.

#### **Berichte aus dem Fachbereich Physik**

- Report 26 (Technical report 1992). SCHAUER, U., FAHRBACH, E., ROHARDT, G. and SELLMANN, L. Hydrographic measurements in the western Greenland Sea 1987: Data report RV „Polarstern“ ARK IV/2, 9 June - 1 July 1987.
- Report 27 (Technical report 1992). SELLMANN, L., FAHRBACH, E., ROHARDT, G., STRASS, V. H. and BODUNGEN, B. v. Moored instruments oceanographic data from the Greenland Sea 1987 – 1989.
- Report 28 (Technical report 1992). ROHARDT, G., FAHRBACH, E., KRAUSE, G. and STRASS, V. H. Moored current meter and water level recorder: Measurements in the Weddell Sea 1986 – 1990.
- Report 29 (Technical report 1992). SCHAUER, U., FAHRBACH, E., ROHARDT, G. and SELLMANN, L. Hydrographic measurements in the Western Greenland Sea.
- Report 30 (Technical report 1992). LEGUTKE, S. A simulation of the Arctic sea ice cover.
- Report 31 (Preprint 1992). FAHRBACH, E., AUGSTEIN, E. and OLBERS, D. Impact of shelf and sea-ice on water mass modifications and large-scale oceanic circulation in the Weddell Sea.
- Report 32 (Preprint 1992). OLBERS, D., WÜBBER, C. and WOLFF, J.-O. The dynamical balance of wind and buoyancy driven circumpolar currents.
- Report 33 (Technical report 1992). DIERKING, W. Sensitivity studies of selected theoretical scattering models with applications to sea-ice radar remote sensing.
- Report 34 (Technical report 1992). HAAS, C., VIEHOFF, T. and EICKEN, H., eds. Sea-ice conditions during the Winter-Weddell-Gyre-Study 1992 ANT X/4 with RV „Polarstern“: Ship-board observations and AVHRR satellite imagery.
- Report 35 (Preprint 1993). GOURETSKI, V. V., and DANILOV, A. I. Characteristics of the warm rings of the Antarctic Circumpolar Current in the African sector of the Southern Ocean derived from GEOSAT altimetry and hydrographic data.
- Report 36 (Preprint 1993). WENZEL, M. Neural networks, a tool for prediction?
- Report 37 (Technical Report 1993). BEHRENS, J., FRITZSCH, B., HILLER, W. and KERSKEN, H.-P. Vergleich eines 2-D Helmholtzlösers mit einem FFT-basierten direktem Löser in QG-Modellen.

Report 38 (Technical report 1993). FRITZSCH, B., HILLER, W. und KERSKEN, H.-P. Implementierung der AWI-Mehrgitterbibliothek für die Helmholtzgleichung auf Vektor- und Parallelrechnern.

Report 39 (Preprint 1993). OLBERS, D. J. Links of the Southern Ocean to the global climate.

Report 40 (Preprint 1993). SCHMIDT, M. and OLBERS, D. A nonlinear Green's function approach to the quasigeostrophic winddriven flow over sloping bottom topography.

Report 41 (Diss 1993). VOGELER, A. Hydrodynamic simulations with lattice gases.

Report 42 (Technical report 1993). GOURETSKI, V. V., and SEISS, G. Calculations of gridded sea surface height anomaly fields from GEOSAT altimeter data south of 40°S.

Report 43 (Technical report 1993). VIEHOFF, T., EICKEN, H., RAMSEIER, R. und WADHAMS, P. Sea-ice conditions during ARK IX/1a, b with RV „Polarstern“: Shipboard observations and satellite imagery.

Report 44 (Technical report 1993). CHEN, D., GERDES, R. and LOHMANN, G. A 1-D energy balance atmospheric model applied to ocean modelling.

Report 45 (Diplomarbeit 1993). WARNCKE, T. Ein nichthydrostatisches Konvektionsmodell mit Zylindersymmetrie.

Report 46 (Technical report 1993). WAMSER, C., TÜG, H., LYKOSOV, V. and TILLMANN, G. Der Einsatz hochauflösender Meßsysteme zur Bestimmung äolischer Partikeltransporte.

#### **Technische Berichte Initial Environmental Evaluation**

PLÖTZ, J (1992). „Neumayer“ a replacement research station of „Georg-von-Neumayer“ on the Ekström Ice Shelf. Initial Environmental Evaluation: 21 pp.

PLÖTZ, J. (1992). Removal of the research station „Georg von Neumayer“, Ekström Ice Shelf, Antarctica. Initial Environmental Evaluation: 15 pp.

## IV. Veröffentlichungen der Mitarbeiter

### Veröffentlichungen 1990/91

#### (Nachtrag zum Zweijahresbericht 1990/91)

- TURLEY, C. M. and LOCHTE, K. (1990). Microbial response to the input of fresh detritus to the deep-sea bed. In: Geochemical variability in the oceans, ice and sediments (L. D. Labeyrie, C. Jeandel, eds.). Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol., Global Planet. Change Sect. 89: 3 – 23
- ALETSEE, L. and BAUMANN, M.E.M. (1991). A laboratory incubator equipped with facilities to automatically simulate natural irradiance. Bolm. Inst. Oceanogr. S. Paulo 39 (2): 155 – 159
- AUGSTEIN, E., LEMKE, P. and VIEHOFF, T. (1991). Ice processes: Report of the Earth Observation User Consulting Meeting, ESA SP-1143: 123 – 129
- BREY, T. (1991). Interactions in soft bottom benthic communities: Quantitative aspects of behaviour in the surface deposit feeders *Pygospio elegans* (Polychaeta) and *Macoma balthica* (Bivalvia). Helgoländer Meeresunters. 45: 301 – 316
- GLEITZ, M. and KIRST, G. O. (1991). Photosynthesis-irradiance relationships and carbon metabolism of different ice algal assemblages collected from Weddell Sea pack-ice during austral spring (EPOS 1). Polar Biol. 11: 385 – 392
- GRADINGER, R., SPINDLER, M. and HENSCHL, D. (1991). Development of Arctic sea-ice organisms under graded snow cover. Polar Res. 10: 295-307
- GUTT, J. (1991). Are Weddell Sea holothurians typical representatives of the Antarctic benthos? – A comparative study with new results. Meeresforsch. 33: 312 – 329
- GUTT, J. (1991). Investigations on brood-protection in *Psolus dubiosus* (Echinodermata: Holothuroidea) from Antarctica in spring and autumn. Mar. Biol. 111: 281 – 286
- GUTT, J. and KLAGES, M. (1991). *In situ* observations on the genus *Bathyploetes* (Holothuroidea, Echinodermata) in Antarctica and relevance to taxonomy. Zool. Scr. 20 (3): 301 – 306
- HIRCHE, H.-J., ed. (1991). Northeast Water. International Arctic Polynya Project – Research Plan. Alfred Wegener Institute, Bremerhaven, Germany: 21 pp.
- JACOB, A., KIRST, G. O., WIENCKE, C. and LEHMANN, H. (1991). Ecophysiology of *Prasiola crispa* ssp. *antarctica*. J. Phycol. Suppl. 27: 33
- JENKINSON, I. R., BIDDANDA, B. A., TURLEY, C. M., ABREU, P. C., RIEBESELL, U. and SMETACEK, V. S. (1991). Rheological properties of marine organic aggregates: Importance for vertical flux, turbulence and microzones. Oceanol. Acta, vol. sp. 11: 101 – 107
- KATTNER, G. and GRAEVE, M. (1991). Wax ester composition of the dominant calanoid copepods of the Greenland Sea/Fram Strait region. In: Proc. Pro Mare Symp. on Polar Marine Ecology, Trondheim, 1990 (E. Sakshaug, C.C.E. Hopkins, N.A. Øritsland, eds.). Polar Res. 10 (2): 479 – 485
- KÖNIG-LANGLO, G. and ZACHEK, A. (1991). Radiation budget measurements over Antarctic sea-ice in late winter. In: World Climate Research Programme: Sea-ice and climate. Report on a Workshop on Polar Radiation Fluxes and Sea-Ice Modelling, Bremerhaven, 1990 (E. Raschke, H. Cattle, P. Lemke, W. Rossow, eds.). WMO/TD-No. XXX, App. C.: 41 – 44
- KRETSCHMER, D., FOKEN, T. und KOTTMEIER, C. (1991). Experimentelle Untersuchungen zu Parameterisierungsansätzen für die stabile Bodenschicht. Z. Meteorol. 41 (6): 430-438
- OVERBECK, J., RHEINHEIMER, G., GUNKEL, W., KRUMBEIN, W. E. und WEYLAND, H. (1991). Stand und Perspektiven der Gewässermikrobiologie in der Bundesrepublik Deutschland. Naturwissenschaften 78: 543 – 556
- PETERS, M., HAVERKAMP, B., EMMERMANN, R., KOHNEN, H. and WEBER, K. (1991). Palaeomagnetism, K-Ar dating and geodynamic setting of igneous rocks in western and central Neuschwabenland, Antarctica. In: Geological evolution of Antarctica (M.R.A. Thomson, J.A. Crame, J.W. Thomson, eds.). Cambridge Univ. Pr., Cambridge: 549 – 555
- PLÖTZ, J., WEIDEL, H. and BERSCH, M. (1991). Winter aggregations of marine mammals and birds in the north-eastern Weddell Sea pack-ice. Polar Biol. 11: 305 – 309
- PLÜTZ, K. and PLÖTZ, J. (1991). Moulting starvation in emperor penguin (*Aptenodytes forsteri*) chicks. Polar Biol. 11: 253 – 258



- PÜTZ, K. and PLÖTZ, J. (1991). Beak deformations in emperor penguin (*Aptenodytes forsteri*) chicks. *Polar Rec.* 27 (163): 367 (Notes)
- SCHIEL, S., (1991). Zooplankton/Krill. In: GLOBEC. Southern Ocean Program. GLOBEC Workshop on Southern Ocean Marine Animal Populations and Climate Change, Report No. 5: 28 – 40
- STADLER, T. and PLÖTZ, J. (1991). A new volumetric method in biological morphometry. *Z. Angew. Zool.* 78 (3): 259 – 267
- VIEHOFF, T. (1991). Sea-ice observations in the Weddell Sea. Proc. 5th AVHRR Data User Meeting, Tromsø, EUM P 09: 483 – 489
- WÄGELE, H. and HAIN, S. (1991). Description of a new Notaspidean genus and species (Ophistobranchia: Notaspidea) from the Antarctic ocean. *J. Moll. stud.* 57: 229 – 242
- WAMSER, C. (1991). Dynamic and thermodynamic processes in the atmospheric boundary layer over sea-ice. Spec. issue on WWGS 1989. Hydro-Met-Publ. House, Leningrad : 13 pp.
- WASSMANN, P., PEINERT, R. and SMETACEK, V. (1991). Patterns of production and sedimentation in the boreal and polar Northeast Atlantic. *Polar Res.* 10: 209 – 228
- ARNTZ, W. E., BREY, T., GERDES, D., GORNY, M., GUTT, J., HAIN, S. and KLAGES, M. (1992). Patterns of life history and population dynamics of benthic invertebrates under high Antarctic conditions of the Weddell Sea. In: Marine eutrophication and population dynamics. Proc. 25th Europ. Mar. Biol. Symp. (G. Colombo, I. Ferrari, V.U. Ceccherelli, R. Rossi, eds.). Olsen & Olsen, Denmark: 221-230
- BALDAUF, J. G., BARRON, J. A., EHRMANN, W. U., HEMPEL, P. and MURRAY, D. (1992). Biosiliceous sedimentation patterns for the Indian Ocean during the last 45 million years. In: Synthesis of results from scientific drilling in the Indian Ocean (R.A. Duncan, D.K. Rea, R.B. Kidd, R.B., U. von Rad, J.K. Weisell, eds.). *Geophys. Monogr.* 70, AGU, Washington, D.C.: 335-349
- BARCENA, M. A., GERSONDE, R. and FLORES, J. A. (1992). Datos preliminares de las diatomeas subantárticas des sondes PS1752-1 (sector atlántico des Oceano Antártico) de la Campaña ANT-VIII/3. In: Geología de la Antártida Occidental. Simposios, III Congreso Geológico de España y VII Congreso Latinoamericano de Geología, Salamanca, España, 1992 (J. Lopez-Martinez, ed.). T3: 229 – 239
- BARTHEL, D. and GUTT, J. (1992). Sponge associations in the eastern Weddell Sea. *Antarct. Sci* 4 (2): 137 – 150
- BATHMANN, U. (1992): Partikelfluß im Ozean: Modifikation durch Zooplankter. Habilitationsschrift, Univ. Bremen: 53 pp.
- BEHRMANN, G. (1992). Cytoarchitectural studies of the cortex of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* (Linné, 1758). In: Proc. 6th Annual Conf. Europ. Cetacean Soc., San Remo, Italy, 1992: 207 – 210
- BEHRMANN, G. (1992). The peripheral nerve endings in the skin of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* (Linné, 1758). In: Proc. of Symp. Whales: Biology – Threats – Conservations, Brussels, 1991 (J.J. Symoens, ed.): 149-156
- BERGER, W. H., KROENKE, L. W., MAYER, L. A., JANECEK, T., BACKMAN, J., BASSINOT, F., CORFIELD, R., DELANEY, M. L., HAGEN, R., JANSEN, E., KRISSEK, L., LANGE, C., LECKIE, M., LIND, I., LYLE, M., MAHONEY, J., MARSTERS, J., MOSHER, D. C., MUSGRAVE, R. J., PRENTICE, M., RESIG, J. M., SCHMIDT, H., STAX, R., STOREY, M., TAKAYAMA, T., TAKAHASHI, K., TARDUNO, J. A., WILKENS, R., and WU, G. (1992). The record of Ontong Java Plateau: Main results of ODP Leg 130. *GSA Bull.* 104: 954 – 972

### Veröffentlichungen 1992

- ABELMANN, A. (1992). Diatom assemblages in Arctic sea-ice – indicator for ice drift pathways. *Deep Sea Res.* 39, Suppl. 2 : 525 – 538
- ABELMANN, A. (1992). Early to Middle Miocene radiolarian stratigraphy of the Kerguelen Plateau, Leg 120. *Proc. ODP, Sci. Results* 120: 757 – 783
- ABELMANN, A. (1992). Radiolarian flux in Antarctic waters (Drake Passage, Powell Basin, Bransfield Strait). *Polar Biol.* 12: 357 – 372
- ABELMANN, A. (1992). Radiolarian taxa from Southern Ocean sediment traps (Atlantic sector). *Polar Biol.* 12: 373 – 385
- ARNTZ, W. E. (1992). Wale im Wüstensand. *Natur Mus.* 122 (6): 180 – 186

- BHATTACHARYA, D., MEDLIN, L., WAINWRIGHT, P. O., ARIZTIA, E. V., BIBEAU, C., STICKEL, S. K. and SOGIN, M. L. (1992). Algae containing chlorophyll a+c are paraphyletic: Molecular evolutionary analysis of the Chromophyta. *Evolution* 46: 1801 – 1817
- BIANCHI, F., BOLDRIN, A., CIOCE, F., DIECKMANN, G., KUOSA, H., LARSSON, A.-M., NÖTHIG, E.-M., SEHLSTEDT, P.-I., SOCAL, G. and SYVERTSEN, E.E. (1992). Phytoplankton distribution in relation to sea-ice, hydrography and nutrients in the northwestern Weddell Sea in early spring 1988 during EPOS. *Polar Biol.* 12: 225 – 235
- BIDDANDA, B. and RIEMANN, F. (1992). Detrital carbon and nitrogen relations, examined with degrading cellulose. *Pubbl. Staz. Zool. Napoli* 13: 271 – 283
- BIJMA, J., HEMLEBEN, C., OBERHÄNSLI, H. and SPINDLER, M. (1992). The effects of increased water fertility on tropical spinose planktonic foraminifers in laboratory cultures. *J. Foramin. Res.* 22 (3): 242 – 256
- BOHRMANN, G., SPIESS, V., HINZE, H. and KUHN, G. (1992). Reflector „Pc“ a prominent feature in the Maud Rise sediment sequence (eastern Weddell Sea): Occurrence, regional distribution and implications to silica diagenesis. *Mar. Geol.* 106: 69 – 87
- BORNEMANN, H., MOHR, E. und PLÖTZ, J. (1992). Registrierung des Fraßverhaltens beim frei beweglichen Tier am Beispiel der freitauchenden Weddellrobbe (*Leptonychotes Weddellii*). *J. Vet. Med.* A39: 228 – 235
- BREY, T. and HAIN, S. (1992). Growth, reproduction and production of *Lissarca notorcadensis* (Bivalvia: Philobryidae) in the Weddell Sea, Antarctica. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 82: 219 – 226
- BURNS, B.A., SCHMIDT-GRÖTTRUP, M. and VIEHOFF, T. (1992). Methods for digital analysis of AVHRR sea-ice images. *IEEE Transact. Geosci. Rem. Sensing* 30: 589 – 602
- CADÉE, G. C., GONZÁLEZ, H. and SCHNACK-SCHIEL, S. B. (1992). Krill diet affects faecal string settling. *Polar Biol.* 12: 75 – 80
- DAMASKE, D., MEYER, U., McCAFFERTY, A., BEHRENDT, J. and HOPPE, H. (1992). An aeromagnetic survey over the northwestern Ross Ice shelf and the McMurdo Sound area. *Polarforschung* 60 (2): 152 – 156
- DeMENOCA, P., BRISTOW, J., and STEIN, R. (1992). Paleoclimatic applications of downhole logs: Plio-Pleistocene results from Hole 798B, Sea of Japan. *Proc. ODP, Sci. Results* 127 and 128: 393 – 408
- DERSCH, M. and STEIN, R. (1992). Pliocene-Pleistocene fluctuations in composition and accumulation rates of eolo-marine sediments at Site 798 (Oki Ridge, Sea of Japan) and climatic change: Preliminary results. *Proc. ODP, SCI Res.* 127 and 128: 309 – 422
- DETERMANN, J. and OERTER, H. (1992). Dynamics of ice shelves and their sensitivity to changing mass balance quantities: model results for Filchner-Ronne Ice Shelf, Antarctica. *Z. Gletscherkde. Glazialgeol.* 26 (1): 57 – 68
- DETHLEFF, D., NÜRNBERG, D., REIMNITZ, E., SAARSO, M. and SAVCHENKO, Y.P. (1992). The Laptev Sea: its significance for Arctic sea-ice formation. Results from East Siberian Arctic Region Expedition '92. *GEOMAR, Kiel*: 50 pp. & Anh.
- DETHLOFF, K. and SCHMITZ, G. (1992). Persistent circulation states and low-frequency variability in a nonlinear baroclinic, low-order model. *Met. Z., N.F.* 1: 141 – 154
- DIECKMANN, G. S., ARRIGO, K. and SULLIVAN, C. W. (1992). A high-resolution sampler for nutrient and chlorophyll a profiles of the sea-ice platelet layer and underlying water column below fast ice in polar oceans: preliminary results. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 80: 291 – 300
- DITTRICH, B. U. (1992). Life under extreme conditions: Aspects of evolutionary adaptation to temperature in crustacean protozoans. *Polar Biol.* 12: 269 – 274.
- EHRMANN, W. U. and MACKENSEN, A. (1992). Sedimentological evidence for the formation of an East Antarctic ice sheet in Eocene/Oligocene time. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 93: 85 – 112
- EHRMANN, W. U., MELLES, M., KUHN, G. and GROBE, H. (1992). Significance of clay mineral assemblages in the antarctic Ocean. *Mar. Geol.* 107: 249 – 274
- EHRMANN, W. U., HAMBREY, M. J., BALDAUF, J. G., BARON, J., LARSEN, B., MACKENSEN, A., WISE, S. W., Jr. and ZACHOS, J. C. (1992). History of Antarctic glaciation: an Indian Ocean perspective. In: *Synthesis of results from scientific drilling in the Indian Ocean.* (R. A. Duncan, D. K. Rea, R. B. Kidd, U. von Rad, J. K. Weiszel, eds.). *Geophys. Monogr.* 70, AGU, Washington, D. C.: 423 – 446

- EICKEN, H. (1992). The role of sea-ice in structuring Antarctic ecosystems. *Polar Biol.* 12: 3 – 13
- EICKEN, H. (1992). Salinity profiles of Antarctic sea-ice: Field data and model results. *J. Geophys. Res.* 97/C10: 15545 – 15557
- FAHRBACH, E., ROHARDT, G. and KRAUSE, G. (1992). The Antarctic Coastal Current in the southeastern Weddell Sea. *Polar Biol.* 12: 171 – 182
- FARKE, H., GÜNTHER, C.-P. and ARNTZ, W. E. (1992). Bremerhaven Caissons: Experience and results of experiments with dispersed crude oil in intertidal enclosures. In: *Marine ecosystems enclosed experiments. International development* (C. S. Wong, P.J. Harrison, eds.). Res. Center, Ottawa, Ontario: 43 – 56
- FEDERIZON, R. R. (1992). Description of the subareas of Ragay Gulf, Philippines, and their fish assemblages by exploratory data analysis. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 43: 379 – 391
- FISCHER, G. and WIENCKE, C. (1992). Stable carbon isotope composition, depth distribution and fate of macroalgae from the Antarctic Peninsula region. *Polar Biol.* 12: 341 – 348
- FÖLLMI, K. B., CRAMP, A., ALEXANDROVICH, J. M., BRUNNER, C., BURCKLE, L. H., DeMENOCAL, P., DUNBAR, R. B., GRIMM, K. A., HOLLER, P., INGLE, J. C., KHERADYAR, T., McEVOY, J., NOBES, D. C., STEIN, R., TADA, R., BREY-MANN, M. T. von, WHITE, L. D., and Leg 127 and 128 Scientific Parties (1992). High-frequency dark-light rhythms in the sediments of the Japan Sea: Preliminary results from ODP-Legs 127 and 128. *Proc. ODP, Sci. Res.* 128: 559 – 576
- FRITZSCHE, D. (1992). Potsdamer Geowissenschaftler und ihr Einfluß auf die deutsche und internationale Polarforschung bis zum 2. Polarjahr 1932/33. *Polarforschung* 61 (2/3): 153 – 162
- GALÉRON, J., HERMAN, R. L., ARNAUD, P. M., ARNTZ, W. E., HAIN, S. and KLAGES, M. (1992). Macrofaunal communities on the continental shelf and slope of the southeastern Weddell Sea, Antarctica. *Polar Biol.* 12: 283 – 290
- GARDNER, C. and CRAWFORD, R. M. (1992). A description of the diatom *Papiliocellulus simplex* sp. nov. (Cymatoseiraceae, Bacillariophyta) using light and electron microscopy. *Phycologia* 31: 246 – 252
- GERDES, D., KLAGES, M., ARNTZ, W. E., HERMAN, R. L., GALÉRON, J. and HAIN, S. (1992). Quantitative investigations on macrobenthos communities of the southeastern Weddell Sea shelf based on multibox corer samples. *Polar Biol.* 12: 291 – 301
- GLEITZ, M. and THOMAS, D. N. (1992). Physiological responses of a small Antarctic diatom (*Chaetoceros* sp.) to simulated environmental constraints associated with sea-ice formation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 88: 278 – 287
- GONZALEZ, H. E. (1992). The distribution and abundance of krill faecal material and oval pellets in the Scotia and Weddell Seas (Antarctica) and their role in particle flux. *Polar Biol.* 12: 81 – 91
- GONZALEZ, H. E. (1992) Distribution and abundance of mini-pellets around the Antarctic Peninsula. Implications for protistan feeding behaviour. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 90: 223 – 236
- GORNY, M., ARNTZ, W. E., CLARKE, A. and GORE, D. J. (1992). Reproductive biology and caridean decapods from the Weddell Sea. *Polar Biol.* 12: 111 – 120
- GOURETSKY, V. V., DANILOV, A. I. and STAMMER, D. (1992). Movement of the eddy-like features of the Antarctic Circumpolar Current at the eastern boundary of the Weddell Gyre as revealed by the satellite altimetry. *Papers of the Russian Academy of Sciences* 324, N1: 191 – 195
- GRADINGER, R., SPINDLER, M. and WEISSENBERGER, J. (1992). On the structure and development of Arctic pack-ice communities in Fram Strait, a multivariate approach. *Polar Biol.* 12: 727 – 733
- GRADINGER, R., WEISSE, T. and PILLEN, T. (1992). Significance of picocyanobacteria in the Red Sea and the Gulf of Aden. *Bot. Mar.* 35: 245 – 250
- GRAEVE, M. and KATTNER, G. (1992). Species-specific differences in intact wax esters of *Calanus hyperboreus* and *C. finmarchicus* from Fram Strait - Greenland Sea. *Mar. Chem.* 39: 269 – 281
- GROBE, H. and MACKENSEN, A. (1992). Late Quaternary climatic cycles as recorded in sediments from the Antarctic continental margin. In: *The Antarctic palaeoenvironment: A perspective on Global Change*. *Antarct. Res. Ser.* 56: 349 – 376
- GÜNTHER, C.-P. (1992). Dispersal of intertidal invertebrates: A strategy to react to disturbances to different scales? *Neth. J. Sea Res.* 30: 45 – 56
- GÜNTHER, C.-P. (1992). Settlement and recruitment of *Mya arenaria* L. in the wadden sea. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 159: 203 – 215
- Gutt, J., Gerdes, D. and Klages, M. (1992). Seasonality and spatial variability in the reproduction of two Antarctic holothurians (Echinodermata). *Polar Biol.* 11: 533 – 544

- HACKER, J. M. and HARTMANN, J. (1992). The structure of the atmospheric boundary layer over the subtropical ocean. In: 4th Air-Sea Interaction Conference, Melbourne, 1992: 18 – 19
- Hain, S., (1992). Maintenance and culture of living benthic molluscs from high Antarctic shelf areas. *Aquacult. Fish. Management*. 23: 1-11
- HAMBREY, M. J., BARRETT, P. J., EHRMANN, W. U. and LARSEN, B. (1992). Cenozoic sedimentary processes on the Antarctic continental margin and the record from deep drilling. *Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd.* 86: 77 – 103
- HARWOOD, D. M., LAZARUS, D. B., ABELMANN, A., AUBRY, M. P., BERGGREN, W. A., HEIDER, F., INOKUCHI, H., MARUYAMA, T., McCARTNEY, K., WEI, W. and WISE, S. W. Jr. (1992). Neogene integrated magnetobiostratigraphy of the central Kerguelen Plateau, Leg 120. *Proc. ODP, Sci. Results* 120: 1031 – 1052
- HEIDRICH, B., SIEVERS, J. SCHENKE, H.-W. und THIEL, M. (1992). Digitale topographische Datenbank Antarktis. *Nachr. Kart. Verm. Rh.* 1107: 127 – 140
- HEIP, C., BASFORD, D., CRAEYMEERSCH, J. A., DEWARUMEZ, J.-M., DÖRJES, J., DeWILDE, P., DUINEVELD, G., ELEFTHERIOU, A., HERMAN, P. M. J., NIERMANN, U., KINGSTON, P., KÜNITZER, A., RACHOR, E., RUMOHR, H., SOETAERT, K., and SOLTWEDEL, T. (1992). Trends in biomass, density and diversity of North Sea macrofauna. *ICES J. Mar. Sci.* 49: 13 – 22
- HELMERS, E. und SCHULZ-BALDES, M. (1992). Schwebstoffanreicherung Zentrifugation von atlan. *Labor* 2000: 6 – 10
- HEMPEL, G. (1992). The Alfred Wegener Institute, Bremerhaven. In: *Ocean frontiers: Explorations by oceanographers on 5 continents* ( E. Mann-Borgese, ed.). Abrams, New York: 136 – 155
- HEMPEL, G. (1992). Deutsche Beiträge zur europäischen Zusammenarbeit in der Polarforschung. *Polarforschung* 60 (3): 245 – 250
- HEMPEL, G. (1992). *Polarforschung in Deutschland*. Büro für Publizistik, Neckarzimmern: 94 – 96
- HENRIET, J. P., MEISSNER, R., MILLER, H. and the GRAPE Team (1992). Active margin processes along the Antarctic Peninsula. *Tectonophysics* 201: 229 – 253
- HERBER, A., WENDISCH, M., LEITERER, U. and NOTHOLT, J. (1992). Measurements of the optical depth and retrieval of aerosol parameters in the polar regions. *J. Aerosol Sci.* 22, suppl. 1: S415 – S418
- HILBRECHT, H., HUBBERTEN, H.-W. and OBERHÄNSLI, H. (1992). Biogeography of planktonic foraminifera and regional carbon isotope variations: Productivity and water masses in Late Cretaceous Europe. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 92: 407 – 421
- HIRCHE, H.-J. (1992). Egg production of *Eurytemora affinis* – effect of k-strategy. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 35: 395 – 407
- HIRCHE, H.-J. and MUMM, N. (1992). Distribution of dominant copepods in the Nansen Basin, Arctic Ocean, in summer. *Deep-Sea Res.* 39, Suppl. 2: S485 – S505
- HIRCHE, H.-J., ed. (1992). *NEWletter*. Alfred Wegener Institute, Bremerhaven: 27 pp.
- HJORTH, J., NOTHOLT, J. and RESTELLI, G. (1992). A spectroscopic study of the equilibrium  $\text{NO}_2 + \text{NO}_3 + \text{M} = \text{N}_2\text{O}_5 + \text{M}$  and the kinetics of the  $\text{O}_3/\text{N}_2\text{O}_5/\text{NO}_3/\text{NO}_2/\text{air}$  system. *Int. J. Chem. Kinetics.* 24: 51 – 65
- HORNER, R., ACKLEY, S. F., DIECKMANN, G., GULLIKSEN, B., HOSHIAI, T., LEGENDRE, L., MELNIKOV, I. A., REEBURGH, W. S., SPINDLER, M. and SULLIVAN, C. W. (1992). Ecology of sea-ice biota. 1. Habitat and terminology. *Polar Biol* 12: 417 – 427
- JACOB, A., LEHMANN, H., KIRST, G. O. and WIENCKE, C. (1992). Changes in the ultrastructure of *Prasiola crispa* ssp. *antarctica* under salinity stress. *Bot. Acta* 105: 41 – 46
- JACOB, A., WIENCKE, C., LEHMANN, H. and KIRST, G. O. (1992): Physiology and ultrastructure of desiccation in the green alga *Prasiola crispa* from Antarctica. *Botanica Mar.* 35: 297 – 303
- JAEGER, K., WELLER, R. and SCHREMS, O. (1992). Atmospheric reactions in cryogenic matrices: Photooxidation of carbonyl sulfide (SCO) by ozone. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 96 (3): 485 – 488
- JAEGER, K., WELLER, R. and SCHREMS, O. (1992). FTIR studies of photochemical reactions of carbonyl sulfide with ozone. In: 8th Internat. Conf. on Fourier Transform Spectroscopy, Lübeck-Travemünde, 1991. *SPIE vol.* 1575: 333 – 334

- JAEGER, K., WIERZEJEWSKA HNAT, M. and SCHREMS, O. (1992). FTIR studies of water-ozone complex in solid argon. In: 8th Internat. Conf. Fourier Transform Spectroscopy, Lübeck-Travemünde, 1991, SPIE vol. 1575: 331 – 332
- JANSSEN, H. H. (1992). Philippine bivalves and microorganisms: Past research, present progress and a perspective for agriculture. *Phil. Scient.* 29: 5 – 32
- JANSSEN, H. H. and OESCHGER, R. (1992). The body wall of *Halicryptus spinulosus* (Priapulida) - ultrastructure and changes induced by hydrogen sulfide. *Hydrobiol.* 230: 219 – 230
- JANSSEN, H. H., MÖLLER, H., LANDWÜST, C. v. and HEEGER, T. (1992). Pollution effect monitoring at the histological level using *Dreissena polymorpha*. In: *The zebra mussel Dreissena polymorpha: Ecology, biological monitoring and first applications in the water quality management* (D. Neumann, H. A. Jenner, eds.). *Limnologie aktuell* 4, G. Fischer, Stuttgart: 155 – 170
- JARRE-TEICHMANN, A. (1992). MAXIMS: A computer program for estimating the food consumption of fish. *ICES C.M.* 1992/G:62: 12pp.
- JARRE-TEICHMANN, A., Hertlein, W. and Jørgensen, S.E. (1992). A brainstorming workshop on modelling the Peruvian upwelling ecosystem. *NAGA, the ICLARM Q.* 15 (4): 27 – 28
- JARRE-TEICHMANN, A., PALOMARES, M. L., GAYANILO, F. C., Jr., SORIANO-BARTH, M. and PAULY, D. (1992). A user's manual for MAXIMS (version 1.0): A computer program for estimating the food consumption of fishes from diel stomach contents data and population parameters. *ICLARM Software 4, International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila: 28 pp + one 3.5" 1.44 MB/MS-DOS program diskette*
- JARRE-TEICHMANN, A. (1992). Steady-state modelling of the Peruvian upwelling ecosystem. Dissertation, University of Bremen, Germany: 153 pp.
- JENSEN, P., EMRICH, R. and WEBER, K. (1992). Brominated metabolites and reduced numbers of meiofauna organisms in the burrow wall lining of the deep-sea enteropneust *Stereobalanus canadensis*. *Deep Sea Res.* 39: 1247 – 1253
- JOKAT, W., UENZELMANN-NEBEN, G., KRISTOFFERSEN, Y. and RASMUSSEN, T.M. (1992). Lomonosov Ridge – a double-sided continental margin. *Geology* 20: 887 – 890
- KARSTEN, U., WIENCKE, C. and KIRST, G. O. (1992). Dimethylsulphonioacetate (DMSP) accumulation in green macroalgae from polar to temperate regions: Interactive effects of light versus salinity and light versus temperature. *Polar Biol.* 12: 603 – 607
- KAUL, N. (1992). High-resolution seismics and stratigraphy off Kapp Norvegia, Antarctica. *Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd.* 86: 105 – 112
- KIPFSTUHL, J., DIECKMANN, G., OERTER, H., HELLMER, H. and GRAF, W. (1992). The origin of green icebergs in Antarctica. *J. Geophys. Res.* 97/C12: 20319 – 20324
- KLÖSER, H. and PLÖTZ, J. (1992). Morphological distinction between adult *Contracecum radiatum* and *Contracecum osculatum* (Nematoda, Anisakidae) from the Weddell seal (*Leptonychotes weddellii*). *Zool. Scr.* 21 (2): 129 – 132
- KLÖSER, H., PLÖTZ, J., PALM, H., BARTSCH, A. and HUBOLD, G. (1992). Adjustment of anisakid nematode life cycles to the high Antarctic food web as shown by *Contracecum radiatum* and *C. osculatum* in the Weddell Sea. *Antarct. Sci.* 4 (2): 171 – 178
- KÖNIG-LANGLO, G., IVANOV, B. and ZACHEK, A. (1992). Energy exchange over Antarctic sea-ice in late winter. *Internat. Conf. on the Role of the Polar Regions in Global Change Proc., Fairbanks, Alaska, 1990: 325 – 329*
- KÖHNEN, H. and HENNING, K. (1992). A mobile oil spill fighting unit. In: *Proc. Fifth Symp. on Antarctic Logistics and Operations, San Carlos de Bariloche, Argentina, 1992* (O. Melander, L.R. Fontana, eds.). Buenos Aires, *Dir. Nac. Antarct.*: 173 – 175
- KÖHNEN, H. and MÜLLER, N. (1992). The transport concept at the Antarctic stations for field operations of the Alfred Wegener Institute. In: *Proc. Fifth Symp. on Antarctic Logistics and Operations, San Carlos de Bariloche, Argentina, 1992* (O. Melander, L.R. Fontana, eds.). Buenos Aires, *Dir. Nac. Antarct.*: 267 – 273
- KOTTMEIER, C. and ENGELBART, D. (1992). Generation and atmospheric heat exchange of coastal polynyas in the Weddell Sea Boundary Layer. *Meteorol.* 60: 207 – 234
- KOTTMEIER, C., WACHS, P. and SANNEMANN, K. (1992). Coastal Antarctic PBL flows under varying external influences. *Inst. of Math. and its Applications Conference Series 40, Oxf. Univ. Pr., Oxford: 61 – 89*

- KRAMAR, U., BARBARIN, J. M., PUCHELT, H., HUBBERTEN, H.-W. and VIERA, F. (1992). Variations of heavy metals in sediments of Rio Catarina passing the city of Monterrey/Nuevo Leon, Mexico. *Zbl. Geol. Paleontol. T. 1*: 1917 – 1925
- KRÖNCKE, I. and RACHOR, E. (1992). Macrofauna investigations along a transect from the inner German Bight towards the Dogger Bank. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 91: 269-276
- KRÖNCKE, I., DUINEVELD, G. C. A., RAAK, S., RACHOR, E. and DAAN, R. (1992). Effects of a former discharge of drill cuttings on the macrofauna community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 91: 277 – 287
- KÜNITZER, A., BASFORD, D., CRAEYMEERSCH, J. A., DEWAR-UMEZ, J. M., DÖRJES, J., DUINEVELD, G. C. A., ELEFTHERIOU, A., HEIP, C., HERMAN, P., KINGSTON, P., NIERMANN, U., RACHOR, E., RUMOHR, H. and DeWILDE, P. A. J. (1992). The benthic infauna of the North Sea: species distribution and assemblages. *ICES J. Mar. Sci.* 49: 127 – 143
- KYRÖ, E., TAALAS, P., JØRGENSEN, T. S., KNUDSEN, B., STORDAHL, F., BRAATHEN, G., DAHLBACK, A., NEUBER, R., KRÜGER, B. C., DOROKHOV, V., YUSKOV V. A., RUDAKOV, V. V. and TORRES, A. (1992). Analysis of the ozone soundings made during the first quarter of 1989 in the Arctic. *J. Geophys. Res.* 97/D8: 8083 – 8091
- LANGE, M. A. and HUBBERTEN, H.-W. (1992). Isotopic composition of sea-ice as a tool for understanding sea-ice processes in the polar regions. In: *Physics and chemistry of ice* (N. Maeno, T. Hondoh, eds.). Hokkaido Univ. Pr., Sapporo: 399 – 405
- LEGENDRE, L., ACKLEY, S. F., DIECKMANN, G., GULLIKSEN, B., HORNER, R., HOSHIAI, T., MELNIKOV, I. A., REEBURGH, W. S., SPINDLER, M. and SULLIVAN, C. W. (1992). Ecology of sea-ice biota. 2. Global significance. *Polar Biol.* 12: 429 – 444
- LEITERER, U., WELLER, M. and HERBER, A. (1992). Global changes of aerosol - ground based monitoring of the optical thickness in polar regions and Central Europe. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 96 (3): 377 – 380
- LICHTFOUSE, E., LITKE, R., DISKO, U., WILLSCH, H., RULLKÖTTER, J., and STEIN, R. (1992). Geochemistry and petrology of organic matter in Miocene to Quaternary deep-sea sediments from the Japan Sea (ODP-Sites 798 and 799). *Proc. ODP, Sci. Res.* 128: 667 – 676
- LOCHTE, K. (1992). Bacterial standing stock and consumption of organic carbon in the benthic boundary layer of the abyssal North Atlantic. In: *Deep-sea food chains and the global carbon cycle* (G.T. Rowe, V. Pariente, eds.). Kluwer, Dordrecht: 1 – 10
- LOCKWOOD, G. W., TÜG, H. and WHITE, N. M. (1992). A new solar irradiance calibration from 3295 Å to 8500 Å derived from absolute spectrophotometry of Vega. *Astrophys. J.* 390: 668 – 678
- MACKENSEN, A. (1992). Neogene benthic foraminifers from the southern Indian Ocean (Kerguelen Plateau): biostratigraphy and paleoecology. *Proc. ODP, Sci. Results* 120: 649 – 673
- MACKENSEN, A. and BERGGREN, W. A. (1992). Paleogene benthic foraminifers from the southern Indian Ocean (Kerguelen Plateau). *Proc. ODP, Sci. Results* 120: 603 – 630
- MACKENSEN, A. and EHRMANN, W. U. (1992). Middle Eocene through Early Oligocene climate history and paleoceanography in the Southern Ocean: Stable oxygen and carbon isotopes from ODP Sites on Maud Rise and Kerguelen Plateau. *Mar. Geol.* 108: 1 – 27
- MACKENSEN, A. and SPIEGLER, D. (1992). Middle Eocene to Early Pliocene *Bolboforma* (algae?) from the Kerguelen Plateau, southern Indian Ocean. *Proc. ODP, Sci. Results* 120: 675 – 682
- MACKENSEN, A., BARRERA, E. and HUBBERTEN, H.-W. (1992). Neogene circulation in the southern Indian Ocean: Evidence from benthic foraminifers, carbonate data, and stable isotope analyses (Site 751). *Proc. ODP, Sci. Results* 120: 867 – 880
- MARIENFELD, P. (1992). Postglacial sedimentary history of Scoresby Sund, East Greenland. *Polarforschung* 60 (3): 181 – 195
- MARIENFELD, P. (1992). Recent sedimentary processes in Scoresby Sund, East Greenland. *Boreas* 21: 169 – 186
- MEYER, U., DAMASKE, D., HOPPE, H., FINN, C. and JONAS, M. (1992). Aerogeophysical investigations over the Bowers Mountains, North Victoria Land, Antarctica. *Polarforschung* 60 (2): 157 – 161
- MOORE, J., PAREN, J. and OERTER, H. (1992). Sea salt dependent electrical conduction in polar ice. *J. Geophys. Res.* 97/B13: 19803 – 19812

- MORCHE, W., HUBBERTEN, H.-W., MACKENSEN, A. and KELLER, J. (1992). Geochemistry of Cenozoic ash layers from the Kerguelen Plateau (Leg 120): A first step toward a tephrostratigraphy of the southern Indian Ocean. Proc. ODP, Sci. Results 120: 151 – 160
- NEUBER, R., BEYERLE, G. and SCHREMS, O. (1992). LIDAR measurements of stratospheric aerosols in the Arctic. Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 96: 350 – 353
- NOTHOLT, J., HJORTH, J. and RAES, F. (1992). Formation of HNO<sub>2</sub> on aerosol surfaces during foggy periods in the presence of NO and NO<sub>2</sub>. Atmospheric Environ. 26A (2): 211 – 217
- NOTHOLT, J., HJORTH, J. and RAES, F. (1992). Long path field measurements of aerosol parameters and trace gas concentrations: Formation of nitrous acid during foggy periods. J. Aerosol Sci. 22, suppl.1: S411 – S414
- NOTHOLT, J., HJORTH, J., RAES, F. and SCHREMS, O. (1992). Simultaneous long path field measurements of HNO<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub>O and aerosol. Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 96 (3): 290 – 293
- OERTER, H., KIPFSTUHL, J., DETERMANN, J., MILLER, H., WAGENBACH, D., MINIKIN, A. and GRAF, W. (1992). Evidence for basal marine ice in the Filchner-Ronne Ice Shelf. Nature 358: 399 – 401
- OLBERS, D., GOURETSKI, V., SEISS, G. and SCHRÖTER, J. (1992). Hydrographic atlas of the Southern Ocean. Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven: 82 pls., 62 x 45 cm
- PATTIJN, F., HUYBRECHTS, P. and DECLEIR, H. (1992). Modeling glacier fluctuations in the Sør Rondane, Dronning Maud Land, Antarctica. Z. Gletscherkde. Glazialgeol. 25 (1): 33 – 47
- PAULY, D., SORIANO-BARTZ, M., MOREAU, J. and JARRETEICHMANN, A. (1992). A new model accounting for seasonal cessation of growth in fishes. Aust. J. Mar. Freshwater Res. 43: 1151 – 1156
- PETERSON, L. C., MURRAY, D. W., EHRMANN, W. U. and HEMPEL, P. (1992). Cenozoic carbonate accumulation and compensation depth changes in the Indian Ocean. In: Synthesis of results from scientific drilling in the Indian Ocean (R.A. Duncan, D.K. Rea, R.B. Kidd, U. von Rad, J.K. Weissel, eds.). Geophys. Monogr. 70, AGU, Washington, D.C.: 311 – 333
- PRIDDLE, J., SMETACEK, V. and BATHMANN, U. (1992). Antarctic marine primary production, biogeochemical carbon cycles and climatic change. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B338: 289 – 297
- PUSKPEPELEIT, M., QUINTERN, L. E., EL NAGGAR, S., SCHOTT, J.-U., ESCHWEILER, U., HORNECK, G. and BÜCKER, H. (1992). Long-term dosimetry of solar UV radiation in Antarctica with spores of *Bacillus subtilis*. Appl. Environment. Microbiol. 58 (8): 2355 – 2359
- REIPRICH, S. and BRODSCHOLL, A. L. (1992). Magnetic investigations on the Ekström Ice Shelf, Antarctica. Polarforschung 61 (2/3): 113 – 129
- RIEBESELL, U. (1992). The formation of large marine snow and its sustained residence in surface waters. Limnol. Oceanogr. 37 (1): 63 – 76
- RIEBESELL, U. and WOLF-GLADROW, D. (1992). The relationship between physical aggregation of phytoplankton and particle flux: a numerical model. Deep-Sea Res. 39 (7/8): 1085 – 1102
- ROBINSON, I., CALLISON, R., CARTER, D., NICHOL, J., SHEPPARD, C., SUDARSHANA, R., VIEHOFF, T., WELLS, N., BLACKBURN, D. and TROOST, D. (1992). Temporal and spatial variations in sea-ice concentration in the Southern Ocean. In: Applications of Marine and Coastal Image Data. Third computer-based learning module. Unesco, Paris: 65 – 74
- RODE, M., RACHOR, E., KÜNITZER, A. and WOLF, A. (1992). Hafenschlammaufspülung auf Brackwasserwatten in der Weser-Mündung. Abh. Naturw. Verein Bremen 42/1: 3 – 22
- ROSENBERGER, A. (1992). A multichannel adaptive filter for the suppression of surface related multiple reflections in marine seismograms. In: Signal Processing VI, Theories and Applications (J. Vandewalle, R. Boite, M. Moonen, A. Oosterlinck, eds.). Elsevier, Amsterdam: 1841 – 1844
- ROYER, J.-Y., MÜLLER, R. D., GAHAGAN, L. M., LAWVER, L. A., MAYES, C. L., NÜRNBERG, D. and SCLATER, J. G. (1992). A global isochron chart. Univ. of Texas, Inst. for Geophysics Techn. Rep. 117: 38 pp.
- RÜGER, H.-J. and HÖFLE, M. G. (1992). Marine star-shaped aggregate-forming bacteria: *Agrobacterium atlanticum* sp. nov.; *Agrobacterium meteori* sp. nov.; *Agrobacterium ferrugineum* sp. nov., nom. rev.; *Agrobacterium gelatinovororum* sp. nov., nom. rev.; and *Agrobacterium stellulatum* sp. nov., nom. rev.. Internat. J. System. Bacteriol. 42 (1): 133 – 143
- RÜGER, H.-J. and TAN, T. L. (1992). Community structures of cold and low-nutrient adapted heterotrophic sediment bacteria from the deep eastern tropical Atlantic. Mar. Ecol. Prog. Ser. 84: 83 – 93

- RUMMUKAINEN, M., JOFFRE, S., DAMSKI, J. and Von Der GATHEN, P. (1992). Stratospheric ozone variability over Spitsbergen in March – April 1991. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 96: 277 – 280
- SANDER, J. and HUTTER, K. (1992). Evolution of weakly non-linear shallow water waves generated by a moving boundary. *Acta Mechanica* 91: 119 – 155
- SCHEELE N. and HOEFS J. (1992). Carbon isotope fractionation between calcite, graphite and CO<sub>2</sub>: an experimental study. *Contrib. Mineral. Petrol.* 112: 35 – 45
- SCHENKE, H.-W. (1992). GPS und Fächersonarmessungen mit Hydrosweep auf FS „Polarstern“. *Z. f. Verm.-wes.* 117 (8/9): 599 – 616
- SCHENKE, H.-W. and WÜBBENA, G. (1992). GPS-based attitude control of RV „Polarstern“ for multibeam sonar operation. In: *Hydrographic Symposium, Monaco, 1992* (Internat. Hydrogr. Bur., Monaco, ed.): II.1.1. – II.1.24
- SCHULZ-BALDES, M. (1992). Baseline study on Cd, Cu and Pb concentrations in Atlantic neuston organisms. *Mar. Biol.* 112: 211 – 222
- SCHUMACHER, U., RAUH, G., PLÖTZ, J. and WELSCH, U. (1992). Basic biochemical data on blood from Antarctic Weddell seals (*Leptonychotes Weddelli*): ions, lipids, enzymes, serum proteins and thyroid hormones. *Comp. Biochem. Physiol.* 102A (3): 449 – 451
- SIEVERS, J., GROSFELD, K., HINZE, H., RITTER, B., SCHENKE, H.-W. und THYSSEN, F. (1992). Die topographische Karte und Satellitenbildkarte 1:500 000 Ekströmsen, Antarktis – Karten zur Schelfeiskinematik. *Nachr. Kart. Verm. Rh.* I 107: 49 – 54
- SMETACEK, V. (1992). Mirror-script and left-handedness. *Nature* 355: 118 – 119
- SMETACEK, V., SCHAREK, R., GORDON, L. I., EICKEN, H., FAHRBACH, E., ROHARDT, G. and MOORE, S.: Early spring phytoplankton blooms in ice placelet layers of the southern Weddell Sea, Antarctica. *Deep Sea Res.* 39 (2): 153 – 168
- SPEER, K., ZENK, W., SIEDLER, G., PÄTZOLD, J. and HEIDLAND, C. (1992). First resolution of flow through the Hunter Channel in the South Atlantic. *Earth Planet. Sci. Lett.* 113: 287 – 292
- STEIN, R. and STAX, R. (1992). Late Cenozoic changes in flux rates and composition of organic carbon at Sites 798 and 799 (Sea of Japan). *Proc. ODP, Sci. Results* 127 and 128: 423 – 437
- STENVERS, O., PLÖTZ, J. and LUDWIG, H. (1992). Antarctic seals carry antibodies against seal herpesvirus. *Arch. Virol.* 123: 421 – 424
- STRASS, V. H. (1992). Chlorophyll patchiness caused by meso-scale upwelling at fronts. *Deep Sea Res.* 39: 75 – 96
- STRASS, V. H., LEACH, H. and WOODS, J. D. (1992). On the seasonal development of mesoscale variability: The influence of the seasonal pycnocline formation. *Deep Sea Res.* 39 (9): 1627 – 1639
- SY, A., SCHAUER, U. and MEINCKE, J. (1992). The North Atlantic Current and its associated hydrographic structure above and eastwards of the Mid-Atlantic Ridge. *Deep Sea Res.* 39 (5): 825 – 853
- TEZKAN, B., CERV, V. and PEK, J. (1992). Resolution of anisotropic and shielded highly conductive layers using 2-D electromagnetic modelling in the Rhine Graben and Black Forest. *Phys. Earth Planet. Inter.* 74: 159 – 172
- THOMAS, D. N., BAUMANN, M. E. M. and GLEITZ, M. (1992). Efficiency of carbon assimilation and photoacclimation in a small unicellular *Chaetoceros* species from the Weddell Sea (Antarctica): influence of temperature and irradiance. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 157: 195 – 209
- TREES, C. C., AIKEN, J., HIRCHE, H.-J. and GROOM, S. B. (1992). Bio-optical variability across the Arctic Front. *Polar Biol.* 12: 455 – 461
- UENZELMANN-NEBEN, G., JOKAT, W., MILLER, H. and STEINMETZ, S. (1992). The Aegir Ridge: structure of an extinct spreading axis. *J. Geophys. Res.* 97/B6: 9203 – 9218
- URBAN, H.-J. (1992). Reproductive strategies of North Sea plaice, *Pleuronectes platessa*, and North Sea sole, *Solea solea*: batch spawning cycle and batch fecundity. *Meeresforsch.* 33: 330 – 339
- VERKULICH, S. and MELLES, M. (1992). Composition and paleoenvironmental implications of sediments in a fresh water lake and in marine basins of Bunger Hills, East Antarctica. *Polarforschung* 60 (3): 169 – 180



- VIEHOFF, T. (1992). Air-sea-ice interactions in the Weddell Sea. First ERS-1 Symposium Space At The Service Of Our Environment, Cannes, 1992. ESA SP-359: 85 – 86
- VOSS, J. (1992). *In memoriam* Else Wegener. Polarforschung 61 (2/3): 183 – 184
- WAND, U., MAASS, I. und HAENDEL, D. (1992).  $^{34}\text{S}$ -Messungen am Sulfat antarktischer Niederschläge, Seewässer und Salzausblühungen – ein Beitrag zur Untersuchung des natürlichen Schwefelkreislaufs. Polarforschung 61 (2/3): 131 – 145
- WEBER, K., BLUSZCZ, T., DREBING, W. and ERNST W. (1992). Levels of halogenated hydrocarbons in the eastern Mediterranean. Fresenius Envir. Bull. 1: 90 – 95
- WEIGELT, E., SOBIESAK, M., AULBACH, E. und BERCKHEMER, H., (1992). Elastische Deformationsmessungen im Schelfeis an der Georg-von-Neumayer-Station in der Antarktis. Messtechnische Briefe 28: 1 – 6
- WEISSENBARGER, J., DIECKMANN, G., GRADINGER, R. and SPINDLER, M. (1992). Sea-ice: a cast technique to examine and analyze brine pockets and channel structure. Limnol. Oceanogr. 37 (1): 179 – 183
- WELLER, R., LORENZEN-SCHMIDT, H. and SCHREMS, O. (1992). FTIR studies on the photo-oxidation mechanism of  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ,  $\text{CH}_3\text{Br}$ ,  $\text{CHBr}_3$  and  $\text{CF}_3\text{Br}$ . Ber. Bunsenges. Phys. Chem. 96: 409 – 413
- WELLERSHAUS, S. (1992). Social aspects of environmental protection. Neth. Inst. Sea Res. Publ. Ser. 20: 113 – 115
- WEYKAM, G. and WIENCKE, C. (1992). Seasonal photosynthetic performance of the endemic Antarctic alga *Palmaria decipiens* (Reinsch) Ricker. Plant Physiol. (Life Sci. Adv.) 11: 225 – 232
- WIENCKE, C., GORHAM, J., TOMOS, D. and DAVENPORT, J. (1992). Incomplete turgor adjustment in *Cladophora rupestris* under fluctuating salinity regimes. Estuar. Coast. Shelf Sci. 34: 413 – 427
- WILSON, R. P., COOPER, J. and PLÖTZ, J. (1992). Can we determine when marine endotherms feed? A case study with seabirds. J. Exp. Biol. 167: 267 – 275
- WOLF-GLADROW, D. (1992). Der Ozean als Teil des globalen Kohlenstoff-Kreislaufs. UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. 4 (1): 20 – 24
- WOLF-GLADROW, D. and VOGELER, A. (1992). Pair interaction lattice gas on general purpose computers: Fortran or C? Internat. J. Mod. Phys. C3 (6): 1179 – 1187
- ZACHOS, J. C., BERGGREN, W. A., AUBRY, M. P. and MACKENSEN, A. (1992). Isotope and trace element geochemistry of Eocene and Oligocene foraminifers from Site 748, Kerguelen Plateau. Proc. ODP, Sci. Results 120: 839 – 854

#### Nicht begutachtete Veröffentlichungen und Berichte

- BATHMANN, U. (1992): Die biologische Kohlenstoffpumpe. Bild Wiss. 3 (März): 94 – 97
- BATHMANN, U. (1991): Carbon fluxes in the Southern Ocean. Global Change Prisma 2: 7 – 10
- BERGSTRÖM, S., BØGGILD, C. E., EINARSSON, K., GJESSING, Y., SØELTHUN, N. R., THOMSEN, R., VAHILÄINEN, B. and SAND, K., eds. (1992). Snow modeling, water resources, climate change. SINTEF Report: 15 pp.
- EICKEN, H. and LANGE, M. A. (1992). Drill hole and ice-core studies of sea-ice thickness in Arctic and Antarctic: Report of the Sea-ice Thickness Workshop, New Carrollton, Maryland, 1991. Appl. Phys. Lab., Univ. of Washington, Seattle: 3 pp.
- HEIDLAND, K. (1992) Bathymetrisches Fächerecholot Hydrosweep, Navigation und Positionsbestimmung, Auswertung der HYDROSWEEP-Vermessungen. In: PARASOUND Sedimentecholot (L. Brück, C. Gaedicke, K. Heidland, eds.). Meteor Berichte 92 – 1, Reise Nr. 15, Institut für Meereskunde, Hamburg: 60 – 67
- NEUBER, R. (1992). Beobachtungen der arktischen Ozonschicht mit einem optischen Radar. Sterne und Weltraum 1: 30 – 31
- NEUBER, R. (1992). Die Koldewey-Station auf Spitzbergen, AGF-Jahresheft: 47 – 48
- NEUBER, R. (1992). Stratosphärische Ozon- und Aerosolmessungen in der Arktis. AGF-Publikation: Boden, Wasser und Luft, Umweltvorsorge in der AGF: 30 – 32
- RIEBESELL, U. und WOLF-GLADROW, D. A. (1992). Das Defizit in der Kohlenstoffbilanz. Spektrum Wiss. H.7: 28 – 32
- SCHNACK-SCHIEL, S. B. (1992). The contributions of the Federal Republic of Germany to the BIOMASS Program. BIOMASS Rep. Ser. 69: 73 – 115
- SCHREMS, O. (1992). Die Ozonschicht der nordpolaren Stratosphäre. Global Change Prisma 3 (1): 4 – 9
- WEIDICK, A., BØGGILD, C. E. and KNUDSEN, J. T. (1992). Glacier inventory and glacier atlas of West Greenland. Rapp. Grønland Geol. Unders. 158: 194 pp.

**Veröffentlichungen 1993**

- AGATHA, S., SPINDLER, M. and WILBERT, N. (1993). Ciliated protozoa (Ciliophora) from Arctic sea-ice. *Acta Protozoologica* 32: 261 – 268
- ARRIGO, K. R., ROBINSON, D. H. and SULLIVAN, C. W. (1993). A high-resolution study of the platelet ice ecosystem in McMurdo Sound, Antarctica: Photosynthetic and bio-optical characteristics of a dense microalgal bloom. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 98: 173 – 185
- BATHMANN, U. V., MAKAROV, R. R., SPIRIDONOV, V. A. and ROHARDT, G. (1993). Winter distribution and overwintering strategies of the Antarctic copepod species *Calanoides acutus*, *Rhincalanus gigas* and *Calanus propinquus* (Crustacea, Calanoida) in the Weddell Sea. *Polar Biol.* 13: 333 – 346
- BEHRMANN, G. (1993). Cytoarchitectonic studies of the cerebral cortex of the harbour porpoise, *Phocoena Phocoena* (Linné, 1758). In: *Investigations on Cetacea* (G. Pilleri, ed.). Bern, vol. 24: 261 – 285
- BEHRMANN, G. (1993). How do toothed whales (Odontoceti) protect their inner ear against pressure waves? *Lutra* 36: 30 – 38
- BERGER, W. H., LECKIE, R. M., JANECEK, T. R., STAX, R., and TAKAYAMA, T. (1993). Neogene carbonate sedimentation on Ontong-Java-Plateau: Highlights and open questions. *Proc. ODP, Sci. Res.* 130: 711 – 744
- BIJMA, J. (1993). Broeikas of ijstijd? *Mens & Wetenschap* 20 (3): 148 – 153
- BISCHOFF, B. and WIENCKE, C. (1993): Temperature requirements for growth and survival of macroalgae from Disko Island (Greenland). *Helgoländer Meeresunters.* 47: 167 – 191
- BÖTTGER, T., SCHIDLowski, M. and WAND, U. (1993). Stable carbon isotope fractionation in lower plants from the Schirmacher and Untersee Oases (Central Dronning Maud Land, East Antarctica). (Preliminary report). *Isotopenpraxis Environ. Health Stud.* 29: 21 – 25
- BRANDINI, F. P. (1993). Phytoplankton biomass in an Antarctic coastal environment during stable water conditions - implications for the iron limitation theory. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 93: 267 – 275
- BREY, T. and CLARKE, A. (1993). Population dynamics of marine benthic invertebrates in Antarctic and Subantarctic environments: Are there unique adaptations? *Antarct. Sci.* 5 (3): 253 – 266
- BREY, T., STARMANS, A., MAGIERA, U. and HAIN, S. (1993). *Lissarca notorcadensis* (Bivalvia: Philobryidae) living on *Notozoidaris* sp. (Echinozoa: Cidaridae): Population dynamics in limited space. *Polar Biol.* 13: 89 – 95
- BUDÉUS, G. and KRAUSE, G. (1993). On-cruise calibration of XBT probes. *Deep Sea Res.* 40 (7): 1359 – 1363
- BUDÉUS, G., MAUL, A.-A. and KRAUSE, G. (1993). Variability in the Greenland Sea as revealed by a repeated high-spatial resolution conductivity-temperature-depth survey. *J. Geophys. Res.* 98/C6: 9985 – 10000
- CRAWFORD, R., SIMONSEN, R., HINZ, F. and GARDNER, C. (1993). The diatoms *Hustedtiella baltica* and *H. sinuata* sp. nov. and the systematic position of the genus. *Nova Hedwigia, Beih.* 106: 151 – 160
- DAHM, C. (1993). Growth, production and ecological significance of *Ophiura albida* and *O. ophiura* (Echinodermata: Ophiurozoa) in the German Bight. *Mar. Biol.* 116: 431 – 437
- DAMM, E. (1993). Frühdiagenetische Verteilung von Schwermetallen in Schlicksedimenten der westlichen Ostsee. *Ber. Fachber. Geowiss., Univ. Bremen*, 31: 115 S.
- DETHLOFF, K. (1993). Modellierung und Diagnostik großräumiger Klimaprozesse der Atmosphäre auf der Grundlage einer Hierarchie von einfachen Klimamodellen und von Analysen globaler Datensätze. *Habilitationsschrift, Berlin*: 208 S. & Anh.e
- DIESTER-HAASS, L., ROBERT, C. and CHAMLEY, H. (1993). Paleooceanographic and paleoclimatic evolution in the Weddell Sea (Antarctica) during the middle Eocene - late Oligocene from a coarse sediment fraction and clay mineral data (ODP Site 689). *Mar. Geol.* 114 (3/4): 233 – 250
- DOWDESWELL, J. A., VILLINGER, H., WHITTINGTON, R. J. and MARIENFELD, P. (1993). Iceberg scouring in Scoresby Sund and on the East Greenland continental shelf. *Mar. Geol.* 111: 37 – 53
- EGGER, J., WAMSER, C. and KOTTMEIER, C. (1993). Internal atmospheric gravity waves near the coast of Antarctica. *Boundary-Layer Meteorol.* 66: 1 – 17
- EICKEN, H. (1993). Automated image analysis of ice thin sections - instrumentation, methods and extraction of stereological and textural parameters. *J. Glaciol.* 39 (132): 341 – 352
- FAHL, K. and KATTNER, G. (1993). Lipid content and fatty acid composition of algal communities in sea-ice and water from the Weddell Sea (Antarctica). *Polar Biol.* 13: 405 – 409

- FAHRBACH, E. (1993). Zirkulation und Wassermassenbildung im Weddellmeer. *Geowiss.* 11 (7): 246 – 253
- GERDES, D. and HESSE, K. J. (1993). Chemical and biological characteristics of different water masses in the German Bight. In: *Prog. Int. Coastal Congress (ICC)*, Kiel, 1992 (H. Sterr, ed.). Lang, Frankfurt: 305 – 321
- GERDES, R. (1993): A primitive equation ocean circulation model using a general vertical coordinate transformation. Part 1: Description and testing of the model. *J. Geophys. Res.* 98/C8: 14683 – 14701
- GERDES, R. (1993): A primitive equation ocean circulation model using a general vertical coordinate transformation. Part 2: Application to an overflow problem. *J. Geophys. Res.* 98/C8: 14703 – 14726
- GERLAND, S., RICHTER, M., VILLINGER, H. and KUHN, G. (1993). Non-destructive porosity determinations of Antarctic marine sediments derived from resistivity measurements with an inductive method. *Mar. Geophys. Res.* 15: 201 – 218
- GERSONDE, R. und KUHN, G. (1993). Der Meeresboden, Struktur und Sedimente. In: *Mikrobiologie des Meeresbodens* (L.-A. Meyer-Reil, M. Köster, Hrsg.). Fischer, Jena: 11 – 37
- GINGELE, F. X. and SCHULZ, H. D. (1993). Authigenic zeolites in Late Pleistocene sediments of the South Atlantic (Angola Basin). *Mar. Geol.* 111: 121 – 131
- GLEITZ, M. and THOMAS, D. N. (1993). Variation in phytoplankton standing stock, chemical composition and physiology during sea-ice formation in the southeastern Weddell Sea, Antarctica. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 173 (2): 211 – 230
- GOHL, K. and SMITHSON, S. B. (1993). Structure of Archean crust and passive margin of southwest Greenland from seismic wide-angle data. *J. Geophys. Res.* 98/B4: 6623 – 6638
- GOHL, K., HAWMAN, R. B. and SMITHSON, S. B. (1993). Wide-angle reflection studies of the crust and Moho beneath the Archean Gneiss Terrane of southern Minnesota. *Geophys. Res. Lett.* 20 (7): 619 – 622
- GORNY, M., BREY, T., ARNTZ, W. and BRUNS, T. (1993). Growth, development and productivity of *Chorismus antarctica* (Pfeffer 1887) in the eastern Weddell Sea, Antarctica. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 147: 261 – 275
- GOURETSKI, V. V., and DANILOV, A. I. (1993). Weddell Gyre: structure of the eastern boundary. *Deep Sea Res.* 40 (3): 561 – 582
- GROBE, H., HUYBRECHTS, P. and FÜTTERER, D. K. (1993). Late Quaternary record of sea-level changes in the Antarctic. *Geol. Rdsch.* 82: 263 – 275
- GROBE, H., FÜTTERER, D. K., HUBBERTEN, H. W., KUHN, G. und MACKENSEN, A. (1993). Zur Entwicklung der spätquartären Sedimentfazies im Südpolarmeer. *Z. Dt. Geol. Ges.* 144 (2): 330 – 351
- GROSSMANN S. and GLEITZ, M. (1993). Microbial responses to experimental sea-ice formation: Implications for the establishment of Antarctic sea-ice communities. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 173 (2): 273 – 289
- HAGEN, R. A. (1993): Fault patterns on the outer wall of the Peru-Chile trench. *GeoMar. Lett.* 13: 139 – 144
- HAGEN, W., KATTNER, G. and GRAEVE, M. (1993). *Calanoides acutus* and *Calanus propinquus*, Antarctic copepods with different lipid storage modes via wax esters or triacylglycerols. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 97: 135 – 142
- HARLOFF, J. (1993). Ostracoden des Unter-Pliensbachiums in Baden-Württemberg. *Stuttgarter Beitr. Naturk., Ser. B*, Nr. 191: 1 – 214
- HEIDELBERG, G., KOHNEN, H., LEHMANN, D. und ZASTROW F. (1993). Umweltschonende Energiegewinnung in der Antarktis. *Geowissenschaften* 11 (12): 419 – 420
- HELMERS, E. and RUTGERS VAN DER LOEFF, M. M. (1993). Lead and aluminium in Atlantic surface waters (50°N to 50°S) reflecting anthropogenic and natural sources in the eolian transport. *J. Geophys. Res.* 98/C11: 20261 – 20273
- HERBER, A., THOMASON, L. W., RADIONOV, V. F. and LEITERER, U. (1993). Comparisons of trends in the tropospheric and stratospheric aerosol optical depths in the Antarctic. *J. Geophys. Res.* 98/D10: 18441 – 18447
- HINZE, H., HAGEN, R. A., MONK, J., NIEDERJASPER, F., SCHENKE, H. W. und SCHÖNE, T. (1993). Ein bathymetrisches Kartenwerk als Grundlage für Wissenschaft und Nautik in der Antarktis In: 8. Symp. d. Dt. Hydrogr. Ges., Graal-Müritz, 1993: 125 – 133
- HIRCHE, H.-J. and KATTNER, G. (1993). Egg production and lipid content of *Calanus glacialis* in spring: Indication of a food-dependent and food-independent reproductive mode. *Mar. Biol.* 117: 615 – 622
- JENKINSON, I. (1993). Bulk-phase viscoelastic properties of seawater. *Oceanol. Acta* 16 (4): 317 – 334

- KLAGES, M. (1993). Distribution, reproduction and population dynamics of the Antarctic gammaridean amphipod *Eusirus perdentatus* Chevreux, 1912 (Crustacea). *Antarct. Sci.* 5: 349 – 359
- KNÖZINGER, E., BEICHERT, P., HERMELING, J. and SCHREMS, O. (1993). Matrix isolation of acetonitrile clusters from a pulsed supersonic beam. *J. Phys. Chem.* 97 (7): 1324 – 1331
- KOUGIAS, CH. F. (1993). Numerical simulations of small-scale oceanic fronts of river discharge type with the Lattice Gas Automata Method. *J. Geophys. Res.*: 1 – 12
- KRAUSE, P., KRIEWS, M., DANNECKER, W., GARBE-SCHÖNBERG, C. D. and KERSTEN, M. (1993). Determination of  $^{206}/^{207}\text{Pb}$  isotope ratios by ICP-MS in particulate matter from the North Sea environment. *Fresenius J. Anal. Chem.* 347: 324 – 329
- KRAUSE, R. A. (1993). Georg v. Neumayers Einfluß auf die deutsche Polarforschung. In: *Schiffahrt und Meer: 125 Jahre maritime Dienste in Deutschland* (P. Ehlers, G. Duensing, G. Heise, Hrsg.). Mittler & Sohn, Herford: 163 – 167
- KRAUSE, R. A. (1993). Zur Gründungsphase der deutschen Polarforschung in den Jahren 1865 bis 1875. *Dt. Hydrogr. Z., Erg.-H.* B25: 35 – 62
- KRÜGER, J. (1993). Simulated annealing, a tool for data assimilation into an almost steady model state. *J. Phys. Oceanogr.* 23: 679 – 688
- KUHN, G. and WEBER, M. (1993). Acoustical characterization of sediments by Parasound and 3.5 kHz systems: Related sedimentary processes on the southeastern Weddell Sea continental slope, Antarctica. *Mar. Geol.* 113: 201 – 217
- KUHN, G., MELLES, M., EHRMANN, W. U., HAMBREY, M. J. and SCHMIEDL, G. (1993). Character of clasts in glaciomarine sediments as an indicator of transport and depositional processes, Weddell and Lazarev Seas, Antarctica. *J. Sediment. Petrol.* 63 (3): 477 – 487
- KURBJEWIT, F., GRADINGER, R. and WEISSENBERGER, J. (1993). The life cycle of *Stephos longipes* – an example for cryopelagic coupling in the Weddell Sea (Antarctica). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 98: 255 – 262
- LANGE, G. (1993). Polarforschung der Deutschen Demokratischen Republik 1959 bis 1990. In: *125 Jahre deutsche Polarforschung*. Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven: 141-154
- LARA, R. J., HUBBERTEN, U. and KATTNER, G. (1993). Contribution of humic substances to the dissolved nitrogen pool in the Greenland Sea. *Mar. Chem.* 41: 327 – 336
- LEGENDRE, L., GOSSELIN, M., HIRCHE, H.-J., KATTNER, G. and ROSENBERG, G. (1993). Environmental control and potential fate of size-fractionated phytoplankton production in the Greenland Sea (75°N). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 98: 297 – 313
- LEHMANN, R. (1993). On the choice of relaxation coefficients for Davies' lateral boundary scheme for regional weather prediction models. *Met. Atmos. Physics* 52: 1 – 14
- LEMKE, P. (1993). Global Change and Arctic sea-ice. *Proc. 12th Internat. Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC)*, Hamburg, 1993: 988 – 994
- LEMKE, P. (1993). Modelling sea-ice mixed layer interaction. In: *Modelling oceanic climate interactions* (J. Willebrand, D. L. T. Anderson, eds). Springer, Berlin: 243 – 269
- LIND, I. L., JANECEK, T. R., KRISSEK, L. A., PRENTICE, M. L., and STAX, R. (1993). Colour bands in Ontong-Java-Plateau carbonate oozes and chalks. *Proc. ODP, Sci. Res.* 130: 453 – 470
- LOCHTE, K., DUCKLOW, H. W., FASHAM, M. F. R. and STIENEN, C. (1993). Plankton succession and carbon cycling at 47°N 20°W during the JGOFS North Atlantic Bloom Experiment. *Deep Sea Res. II*, 40: 91 – 114
- LÜPKES, C., (1993). Parametrisierung wolkenmikrophysikalischer Prozesse. *Promet* 1/2 '93: 34-40
- MACKENSEN, A., FÜTTERER, D. K., GROBE, H. and SCHMIEDL, G. (1993). Benthic foraminiferal assemblages from the eastern South Atlantic Polar Front region between 35° and 57°S: Distribution, ecology and fossilization potential. *Mar. Micropaleontol.* 22: 33 – 69
- MACKENSEN, A., HUBBERTEN, H.-W., BICKERT, T., FISCHER, G. and FÜTTERER, D. K. (1993).  $\delta^{13}\text{C}$  in benthic foraminiferal tests of *Fontbotia Wuellerstorfi* (Schwager) relative to  $\delta^{13}\text{C}$  of dissolved inorganic carbon in Southern Ocean deep water: implications for glacial ocean circulation models. *Paleoceanography* 8 (5): 587 – 610
- MARIN, V.H. and SCHNACK-SCHIEL, S. B. (1993). The occurrence of *Rhincalanus gigas*, *Calanoides acutus* and *Calanus propinquus* (Copepoda: Calanoida) in late May in the area of the Antarctic Peninsula. *Polar Biol.* 13: 35 – 40

- MARSHALL, J., OLBERS, D., ROSS, H. and WOLF-GLADROW, D. (1993). Potential vorticity constraints on the dynamics and hydrography of the Southern Ocean. *J. Phys. Oceanogr.* 23 (3): 465 – 487
- MEDLIN, L. K. and SIMS, P. A. (1993). The transfer of *Pseudoenotia doliolus* to *Fragilariopsis*. *Nova Hedwigia Beih.* 106: 323 – 334
- MEDLIN, L. K., WILLIAMS, D. M. and SIMS, P. A. (1993). The evolution of the diatoms (Bacillariophyta): I. Origin of the group and assessment of the monophyly of its major divisions. *Eur. J. Phycol.* 28: 261 – 275
- MELLES, M. and KUHN, G. (1993). Sub-bottom profiling and sedimentological studies in the southern Weddell Sea, Antarctica: Evidence for large-scale erosional/depositional processes. *Deep Sea Res.* 40 (4): 739 – 760
- MÜLLER, B., LUTZ, H. D., HERMELING, J. and KNÖZINGER, E. (1993). Raman studies of solid hydrogen cyanide (HCN, DCN) and of HCN argon matrices. *Spectrochim. Acta* 49A (2): 191 – 197
- MUSGRAVE, R. J., DELANEY, M. L., STAX, R. and TARDUNO, J. A. (1993). Magnetic diagenesis, organic input, interstitial water chemistry, and paleomagnetic record in the carbonate sequence on the Ontong-Java-Plateau. *Proc. ODP, Sci. Res.* 130: 527 – 546
- NIESSEN, F., LAMI, A. and GUILIZZONI, P. (1993) Climatic and tectonic effects on sedimentation in central Italian volcano lakes (Latium) – implications from high-resolution seismic profiles. In: *Paleolimnology of Maar Lakes* (J.F.W. Negendank & B. Zolitschka, eds.). *Lecture Notes in Earth Sciences* 49, Springer, Berlin: 129 – 148
- NOTHOLT, J., NEUBER, R., SCHREMS, O. and VON CLARMANN, T. (1993). Stratospheric trace gas concentrations in the Arctic polar night derived by FTIR-spectroscopy with the moon as IR light source. *Geophys. Res. Lett.* 20 (19): 2059 – 2062
- OLBERS, D. (1993). Links of the Southern Ocean to the global climate. In: *Modelling the ocean circulation and transient tracer transport* (J. Willebrand, D. L.T. Anderson, eds). Springer, Berlin: 205 – 241
- OPPEN, M. J. H. Van, OLSEN, J. L., STAM, W. T., HOEK, C. Van Den and WIENCKE, C. (1993). Arctic-Antarctic disjunctions in the benthic seaweeds *Acrosiphonia arcta* (Chlorophyta) and *Demarestia viridis/willii* (Phaeophyta) are of recent origin. *Mar. Biol.* 115: 381 – 386
- PAULS, M. (1993). Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung und Beispiele aus seiner Arbeit. In: *125 Jahre deutsche Polarforschung*. Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven: 171 – 183
- PFANNKUCHE, O. and LOCHTE, K. (1993) Open ocean pelagobenthic coupling: Cyanobacteria as tracers of sedimenting salp faeces. *Deep Sea Res.* 40: 727 – 737
- PÖRTNER, H. O. (1993). Multicompartmental analyses of acid-base and metabolic homeostasis during anaerobiosis: invertebrate and lower vertebrate examples. In: *Surviving hypoxia: mechanisms of control and adaptation* (P. W. Hochachka, P. L. Lutz, M. Rosenthal, T. J. Sick, G. van den Thillart, eds.). CRC Press, Boca Raton, FL: 139 – 156
- PÖRTNER, H. O. and GRIESHABER, M. K. (1993). Critical PO<sub>2</sub>(s) in oxyconforming and oxyregulating animals: gas exchange, metabolic rate and the mode of energy production. In: *The vertebrate gas transport cascade: adaptations to environment and mode of life* (J.E.P.W. Bicudo, ed.). CRC Press, Boca Raton FL: 330 – 357
- PÖRTNER, H. O., WEBBER, D. M., O'DOR, R. K. and BOUTILLIER, R. G. (1993). Metabolism and energetics in squid (*Illex illecebrosus*, *Loligo pealei*) during muscular fatigue and recovery. *Am. J. Physiol.* 265: R157 – R165
- POHL, C., KATTNER, G. and SCHULZ-BALDES, M. (1993). Cadmium, copper, lead and zinc on transects through Arctic and Eastern Atlantic surface and deep waters. *J. Mar. Syst.* 4: 17 – 29
- PUGH, P. R. and PAGES, F. (1993). A new species of *Clausophyes* (Siphonophorae, Clausophyidae), with a redescription of *C. Galeata* and *C. Moserae*. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 73: 595 – 608
- RACHOR, E. (1993). Zusammenfassung und Anmerkungen. In: *Geht es der Nordsee besser? SDN-Bilanz vor der 4. Internationalen Nordsee-Schutzkonferenz (INK), Hamburg, 1992* (W. Lenz, E. Rachor, B. Watermann, Hrsg.). *Schriftenreihe d. Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste*, Wilhelmshaven: 169 – 176
- RAGHUKUMAR, S. and SCHAUMANN, K. (1993) An epifluorescence microscopy method for direct detection and enumeration of the fungilike marine protists, the thraustochytrids. *Limnol. Oceanogr.* 38 (1): 182 – 187
- RAUSCHERT, M. und ANDRES, H.G. (1993). *Scaphodactylus*, eine neue Stenothoiden-Gattung aus dem Sublitoral der Süd-Shetland-Inseln. (Crustacea: Amphipoda: Gammaridea). *Mitt. Zool. Mus. Berlin* 69 (2): 347 – 358

- RIEBESELL, U. (1993). Aggregation of *Phaeocystis* during phytoplankton spring blooms in the southern North Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 96: 281 – 289
- RIEBESELL, U., WOLF-GLADROW, D. A. and SMETACEK, V. (1993). Carbon dioxide limitation of marine phytoplankton growth rates. Nature 361: 249 – 251
- RIEBESELL, U., WOLF-GLADROW, D. A. and SMETACEK, V. (1993). Phytoplankton growth and CO<sub>2</sub>. Nature 363: 678 – 679
- RIEMANN, F. (1993). The mouthless deep-sea nematode *Rhaptothyreus minor* sp. n. (Rhaptothyreidae, mermithoid nematodes of uncertain systematic position). Zool. Scr. 22 (4): 341 – 346
- RIEMANN, F. and SCHAUMANN, K. (1993). Thraustochytrid protists in Antarctic fast ice? (Short note). Antarct. Sci. 5 (3): 279 – 280
- RIEMANN, F., TENDAL, O. S. and GINGELE, F. X. (1993). *Reticulamina antarctica* nov. spec. (Xenophyophora, Protista) from the Weddell Sea, and aspects of the nutrition of xenophyophores. Polar Biol. 13: 543 – 547
- RIEMANN-ZÜRNECK, K. (1993). Redescription of the athenarian sea anemone *Halcampoides abyssorum* Danielssen, 1890 (Actinaria: Halcampoididae). Mitt. hamb. zool. Mus. Inst. 90: 31 – 40
- ROETHER, W., SCHLITZER, R., PUTZKA, A., BEINING, P., BULSIEWICZ, K., ROHARDT, G. and DELAHOYDE, F. (1993). A chlorofluoromethane and hydrographic section across Drake Passage: Deep water ventilation and meridional property transport. J. Geophys. Res. 98/C8: 14423 – 14435
- RUTGERS VAN DER LOEFF, M. and BERGER, G. W. (1993). Scavenging of <sup>230</sup>Th and <sup>231</sup>Pa near the Antarctic Polar Front in the South Atlantic. Deep-Sea Res. 40 (2): 339 – 357
- SCHENKE, H. W. (1993). Fächersonarmessungen für geowissenschaftliche Untersuchungen. Z. f. Verm.wesen 118: 171 – 187
- SCHMIEDL, G. and MACKENSEN, A. (1993). *Cornuspiroides striolatus* (Brady) and *C. rotundus* nov. spec.: Large miliolid foraminifera from Arctic and Antarctic oceans. J. Foraminiferal Res. 23 (4): 221 – 230
- SCHRÖTER, J., SEILER, U. and WENZEL, M. (1993). Variational assimilation of GEOSAT data into an eddy-resolving model of the Gulf Stream extension area. J. Phys. Oceanogr. 23 (5): 925 – 953
- SIEGERT, C.: Aluminas in Quaternary sedimentary rocks of Yakutia: New findings concerning mineral formation in permafrost regions. In: Permafrost: Proc. Sixth Intern. Conf. on Permafrost, Beijing, 1993, vol. 1: 569 – 573
- SIEVERS, J., VAUGHAN, D. G., BOMBOSCH, A., DOAKE, C. S. M., HEIDRICH, B., MANTRIPP, D. R., POZDEEV, V. S., RITTER, B., SANDHÄGER, H., SCHENKE, H. W., SWITHINBANK, C., THIEL, M. and THYSSEN, F. (1993). Filchner-Ronne-Schelfeis (Satellitenbildkarte) 1:2 000 000. Inst. Angew. Geod. Frankfurt/M.
- SIGNES, M., BIJMA, J., HEMLEBEN, C. and OTT, R. (1993). A model for planktic foraminiferal shell growth. Paleobiol. 19 (1): 71 – 91
- STAX, R. and STEIN, R. (1993). Long-term changes in accumulation of organic carbon in Neogene sediments of ODP-Leg 130 (Ontong Java Plateau). Proc. ODP Sci. Res. 130: 573 – 584
- STEIN, R., GROBE, H., HUBBERTEN, H., MARIENFELD, P. and NAM, S. (1993). Latest Pleistocene to Holocene changes in glaciomarine sedimentation in Scoresby Sund and along the adjacent East Greenland continental margin: Preliminary results. GeoMar. Lett. 13: 9 – 16
- STRASS, V. H., FAHRBACH, E., SCHAUER, U. and SELLMANN, L. (1993). Formation of Denmark Strait overflow water by mixing in the East Greenland Current. J. Geophys. Res. 98/C4: 6907 – 6919
- TEZKAN, B. and YARAMANCI, U. (1993). The effect of sea tides on gravity tidal observations on the Antarctic Ekström Ice Shelf. Geophys. J. Int. 114: 561 – 568
- THOMAS, D. N. and GLEITZ, M. (1993). Allocation of photoassimilated carbon into major algal metabolite fractions: Variation between two diatom species isolated from the Weddell Sea (Antarctica). Polar Biol. 13: 281 – 286
- VIEHOFF, T., LEMKE, P., DIERKING, W., SCHMIDT-GRÖTTURUP, M. (1993). Air-sea-ice interactions in the Weddell Sea. Proc. First ERS-1 Symposium Space at the Service of our Environment, Cannes, 1992. ESA SP-359: 325 – 327
- VOGELER, A. and WOLF-GLADROW, D. A. (1993). Pair interaction lattice gas simulation: Flow past obstacles in two and three dimensions, J. Stat. Phys. 71 (1/2): 163 – 190
- VOSS, J. (1993). Alfred Wegeners Weg als Polarforscher. In: 125 Jahre deutsche Polarforschung. Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven: 81 – 94

- VOSS, J. und PAULS, M. (1993). Polarforschung der Bundesrepublik Deutschland von 1975 bis heute. In: 125 Jahre deutsche Polarforschung. Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven: 155 – 170
- WÄTJEN, U., KRIEWS, M. and DANNECKER, W. (1993). Preparing an ambient aerosol filter reference material for elemental analysis. In: Proc. 5th Internat. Symp. on Biological and Environmental Reference Materials, Aachen, 1992. Fresenius J. Anal. Chem. 345: 261 – 264
- WÄTJEN, U., KRIEWS, M. and DANNECKER, W. (1993). The preparation of ambient aerosol filter candidate reference materials for elemental analysis. Nucl. Inst. and Methods in Physics Research B75: 257 – 261
- WANG ZIPAN and NORMAN, F. I. (1993). Foods of the South Polar skua *Catharacta maccormicki* in the eastern Larsemann Hills, Princess Elizabeth Land, East Antarctica. Polar Biol. 13: 255 – 262
- WELLER, R. and SCHREMS, O. (1993). H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in the marine troposphere and seawater of the Atlantic Ocean (48°N - 63°S). Geophys. Res. Lett. 20 (2): 125 – 128
- WIENCKE, C., RAHMEL, J., KARSTEN, U., WEYKAM, G. and KIRST, G. O. (1993). Photosynthesis of marine macroalgae from Antarctica: Light and temperature requirements. Bot. Acta 106: 78 – 87
- WOLF, K. U. and STRASS, V. H. (1993). Seasonal and meridional variability of the remotely sensed fraction of euphotic zone chlorophyll predicted by a Lagrangian plankton model. In: Ocean colour: Theory and applications in a decade of CZCS experience (V. Barale, P.M. Schlittenhardt, eds.). ECSC, EEC, EAEC, Brussels and Luxembourg: 319 – 329
- nichtbegutachtete Publikationen und Berichte 1993:**
- BATHMANN U. und SMETACEK, V. (1993). Die Reaktion des Küsten- und Schelfplanktons auf anthropogene Umweltveränderungen. In: Klimaänderung und Küste – Einblick ins Treibhaus (H.-J. Schellnhuber, H. Sterr, Hrsg.). Springer, Berlin: 196 – 211
- BØGGILD, C. E., REEH, N. and OERTER, H. (1993). Ablation reconstruction and mass-balance sensitivity to climate change – assessed by modelling on Storstrømmen, North-East Greenland. GGU Open File Report Series 93/5, Copenhagen: 60 – 63
- ENTZIAN, G., PETERS, D., FEISTER, U., GRASNICK, K. H. und GERNANDT, H. (1993). Dynamische Bedingungen für die Entstehung von Ozon-Mini-Holes, EASOE - Winter 1991/92. In: BMFT - 3. Statusseminar zum Ozonforschungsprogramm, Bonn, 1993: 264 – 268
- GERLAND, S. (1993). Zerstörungsfreie Widerstandsmessungen im Labor an marinen Sedimenten. Protokoll über das 14. Kolloquium Elektromagnetische Tiefenforschung, Borkheide, 1992 (V. Haak, H. Rodemann, Hrsg.): 369 – 375
- GRIP Project Members (incl. KIPFSTUHL J., MILLER H., THORSTEINSSON, T.) (1993). Climatic instability during the last interglacial revealed in the Greenland Summit ice-core. Nature 364: 203 – 207
- HELMKE, E. and WEYLAND, H. (1993). Some aspects of deep-sea microbiology with emphasis on the environment of the Southern Ocean. In: Proc. Int. Mar. Biotech. Conf. (W. Fenical, W., M. Greenberg, H.O. Halvorson, F.C. Hunter-Cevera, eds.). Brown Publishers, Dubuque, IA: 68 – 77
- NEUBER, R., VON DER GATHEN, P. and SCHREMS, O. (1993). Ozonabbau in der arktischen Stratosphäre. AGF-Publikation: Atmosphärisches Ozon - Prozesse und Wirkungen: 37 – 38
- OERTER, H. (1993). Die marine Eisschicht an der Unterseite des Filchner-Ronne-Schelfeises. Spektr. Wiss. April 1993: 21 – 25
- PEIL, S., WELLER, R. and SCHREMS, O. (1993). Polar stratospheric cloud model surfaces: Preparation and FTIR-spectroscopic studies of nitric acid hydrates and of heterogeneous reactions involving HBr and N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Final report for STEP Programme, contract no. STEP-CT 90-0071 (SMA)
- PLÖTZ, J. (1993). Weddellrobben – Taucher in der Antarktis. AGF-Jahresheft: 35 – 36
- REA, D. K., et al. [STAX, R.] (1993). Paleoceanographic record of North Pacific quantified. Eos, AGU, 74: 406 – 411
- REEH, N. and OERTER, H., eds. (1993). Mass balance and related topics of the Greenland ice sheet. GGU Open File Series 93/5, Copenhagen
- REEH, N., BØGGILD, C. E. and OERTER, H. (1993). On the dynamics of Storstrømmen, an outlet glacier from the North-East Greenland ice sheet. GGU Open File Report Series 93/5, Copenhagen: 54 – 59
- REEH, N., OERTER H. and BØGGILD C. E. (1993). Mass balance and ice dynamics of the north-east Greenland ice sheet margin. In: Climate change, sea level rise and associated impacts in Europe. Final Report for EPOC Programme PL890075, contract. no. EPOC-CT90-0015

- RIEBESELL, U. und WOLF-GLADROW, D. A. (1993). Bremsen Algen die globale Erwärmung? *Spektr. Wiss.*, Oktober 1993: 24 – 26
- RIEBESELL, U. und WOLF-GLADROW, D. (1993). Das Kohlenstoffrätsel. *Biologie in unserer Zeit* 23 (2): 97 – 101
- SCHREMS, O., KÜNZI, K., VON DER GATHEN, P., NEUBER, R., FABIAN, R., and NOTHOLT, J. (1993). Stratosphärische Ozonvariationen im Bereich des arktischen Polarwirbels II. Bericht zum 3. Statusseminar des Ozonforschungsprogramms des BMFT: 8 – 14
- SCHRÖTER, J. (1993). Estimation of free parameters by inverse modelling. In: *Statistical methods on oceanography: Proc. Aha Hulikoa Hawaiian Winter Workshop 1993*: 303 – 329
- SMETACEK, V. and BATHMANN, U. (1993). Spring at the ice edge: German JGOFS cruise visits the Southern Ocean. *U. S. JGOFS Newsletter*, June: 11 – 13
- UENZELMANN-NEBEN, G. (1993). Sedimentstrukturen im Bereich des Scoresby-Sund (Ost-Grönland). *DGG Mittlg.* 3 – 4: 18 – 24
- VIEHOFF, T. (1993). The Winter Weddell Gyre Study WWGS-92: RV Polarstern cruise, May 1992. *SeaSpace Rep.* 3 (1): 2 – 3
- WELLER, R. und WEITKAMP, C. (1993). Variationen der Ozonverteilung in der marinen und polaren Troposphäre. AGF-Publikation: *Atmosphärisches Ozon – Prozesse und Wirkungen*: 9 – 11



## V. Abgeschlossene Examensarbeiten

### Diplomarbeiten und Promotionen der Sektion Bio I

Dipl. Biol. **Bettina Bischoff**, 1992. Der Temperaturbedarf polarer Makroalgen und ihre geographische Verbreitung. Universität Bremen

Dipl. Biol. **Tatjana Bruns**, 1992. Experimentelle Untersuchungen zur Larvalentwicklung antarktischer Garnelen (Decapoda, Natantia). Universität Osnabrück

Dipl. Biol. **Jens Heuers**, 1993. Entwicklung des Makrozoobenthos in einem Sandgebiet der Deutschen Bucht 1967. Universität Bremen

Dipl. Biol. **Stephan Kühne**, 1992. Die Fauna des Steingrundes in der Deutschen Bucht – unter besonderer Berücksichtigung der Epifauna. Universität Bremen

Dipl. Biol. **Helga Meinken**, 1993. Nahrungsuntersuchungen an Fischen der unteren Ems. Universität Bremen

Dr. **Ricardo Federizon**, 1993. Using vital statistics of survey catch composition data for multispecies fish stock assessment: Application to the demersal resources of the Central Philippines. Universität Bremen

Dr. **Michael George**, 1993. Reproduktionszyklen und Fortpflanzungsbiologie zweier pelagischer Fischarten, *Sardinops sagax* ... (Clupeidae) und *Tradurus picturatus murphyi* ... (Carangidae). Universität Bremen

Dr. **Matthias Gorny**, 1992. Untersuchungen zur Ökologie antarktischer Garnelen (Decapoda, Natantia). Universität Bremen

Dr. **Astrid Jarre-Teichmann**, 1992. Steady-state modelling of the Peruvian upwelling ecosystem. Universität Bremen

Dr. **Frank Kurbjeweit**, 1993. Reproduktion und Lebenszyklen dominanter Copepodenarten aus dem Weddellmeer. Universität Bremen

Dr. **Hans-Jörg Urban**, 1992. Ökologie ökonomisch wichtiger Muschelarten im Auftriebssystem der Pazifikküste Lateinamerikas. Universität Bremen

Dr. **Guillermo Valenzuela**, 1992. The influence of environmental factors on the growth rate and abundance of *Sprattus sprattus* (L.) larvae in the North Sea. Universität Bremen

### Diplomarbeiten und Promotionen der Sektion Bio II

Dipl. Biol. **Claus Schenk**, 1992. Experimentelle Untersuchungen zur Lösungskinetik mariner Diatomeenschalen. Universität Bremen

Dr. **Paulo Abreu**, 1992. Phytoplankton-Ökologie der Lagune „Lagoa dos Patos“ in Brasilien. Universität Bremen

Dr. **Markus Gleitz**, 1993. Produktionsbiologische Untersuchungen an Phytoplankton und Meereisalgen der Hochantarktis im jahreszeitlichen Verlauf. Universität Bremen

### Habilitation der Sektion Bio II

Dr. **Ulrich Bathmann**, 1993. Partikelfluß im Ozean: Modifikation durch Zooplankter. Universität Bremen

### Diplomarbeiten und Promotionen der Sektion Chemie

Dipl. Chem. **Petra Ahlers**, 1992. Spurenanalyse von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen im Wasser des Nord- und Südatlantiks. Universität Bremen

Dipl. Chem. **Monika Anker**, 1992. Nachweis und Quantifizierung polarer Bromverbindungen des marinen Polychaeten *Lanice conchilega*. Universität Bremen

Dipl. Chem. **Heide Giese**, 1992. Freie und gebundene Sterole in Echinodermen der Antarktis. Universität Bremen

Dipl. Chem. **Susanne Graubner**, 1993. Untersuchung von Lipiden im Phytoplankton in Hinsicht auf Humifizierungsprozesse. Universität Bremen

Dipl. Chem. **Jennifer Kölm**, 1993. Gaschromatographische Bestimmung von leichtflüchtigen Schwefelverbindungen in arktischen Luftproben. Universität Bremen

Dipl. Ing. **Rainer Lilischkis**, 1993. Ozonsondierungen über dem Atlantik. Universität Gesamthochschule Essen

Dipl. Chem. **Jürgen Ortlam**, 1993. Variabilität der Phosphorlipide in benthischen Organismen der Arktis. Universität Bremen

Dipl. Chem. **Markus Rex**, 1993. Stratosphärische Ozon-Abbauraten aus dem Ozon-Sonden und Trajektorien-Datensatz der EASOE-Meßkampagne. Universität Bremen

Dipl. Chem. **Silke Wessel**, 1993. Anreicherung und Isolierung organischer Spurenstoffe aus marinen Organismen mit Methoden der mehrdimensionalen Gaschromatographie. Universität Bremen

Dr. **Georg Beyerle**, 1993. Lidarmessungen von Ozon und Aerosolen in der polaren Stratosphäre. Universität Bremen

Dr. **Martin Graeve**, 1992. Umsatz und Verteilung von Lipiden in arktischen marinen Organismen, unter besonderer Berücksichtigung unterer trophischer Stufen. Universität Bremen

Dr. **Anke Jurr**, 1992. Verteilungsmuster biogener und abiogener organischer Halogenverbindungen in ausgewählten marinen Organismen verschiedener Meeresgebiete. Universität Bremen

Dr. **Frank Laturnus**, 1993. Bildung und Abgabe kurzkettiger halogenierter Kohlenwasserstoffe aus Makroalgen der Polarregion. Universität Bremen

Dr. **Thomas Oertel**, 1992. Verteilung leichtflüchtiger Organobromverbindungen in der marinen Troposphäre und im Oberflächenwasser des Atlantiks. Universität Bremen

#### **Promotionen der Sektion Geologie**

Dr. **Michaela Dersch-Hansmann**, 1993. Zur Klimaentwicklung in Ostasien während der letzten 5 Millionen Jahre: terrigener Sedimenteintrag in die Japan-See (ODP-Ausfahrt 128). Universität Bremen

Dr. **Rainer Stax**, 1993. Org.-Kohlenstoff-Zyklen in der Japan-See: Anzeiger für Änderungen von Paläoozeanographie und Paläoklima im Spätkänozoikum. Universität Bremen

Dr. **Michael Weber**, 1992. Spätquartäre Sedimentation am Kontinentalrand des südöstlichen Weddellmeeres, Antarktis. Universität Bremen

Dr. **Ulrich Zielinski**, 1993. Quantitative Bestimmung von Paläoumweltparametern des antarktischen Oberflächenwassers im Spätquartär anhand von Transferfunktionen mit Diatomeen. Universität Bremen

#### **Habilitation der Sektion Geologie:**

Dr. **Werner U. Ehrmann**, 1993. Die känozoische Vereisungsgeschichte der Antarktis. Universität Bremen

#### **Diplomarbeiten und Promotionen der Sektion Geophysik/Glaziologie**

Dipl. Geophys. **Astrid Lambrecht**, 1993. Bearbeitung und Interpretation reflexionsseismischer Daten im Bereich des Astrid-Rückens/Fenno Deep. Technische Universität Clausthal

Dr. **Notker Fehner**, 1993. Detaillierte refraktionsseismische Untersuchungen im inneren Scoresby-Sund/Ostgrönland. Universität Bremen

Dr. **Sebastian Gerland**, 1993. Zerstörungsfreie hochauflösende Dichteuntersuchungen mariner Sedimente. Universität Bremen

Dr. **Klemens Heidland**, 1993. Satellitenaltimetrie über Eis. Universität Bremen

#### **Promotionen der Sektion Meeresphysik und Meßwesen**

Dr. **Rolf Freimann**, 1993. Ein optisches Verfahren zur in-situ-Messung der kleinskaligen Verteilung von Zooplankton im Meer und der Volumina der Plankter. Universität Kiel

#### **Promotionen der Forschungsstelle Potsdam**

Dr. **Andreas Herber**, 1992. Untersuchung der optischen Eigenschaften des Aerosols in den Polargebieten. Universität Leipzig

#### **Habilitation der Forschungsstelle Potsdam**

Dr. **Klaus Dethloff**, 1993. Modellierung und Diagnostik großräumiger Klimaprozesse der Atmosphäre auf der Grundlage einer Hierarchie von einfachen Klimamodellen und von Analysen globaler Datensätze. Universität Berlin

## VI. „POLARSTERN“-Expeditionen

Fahrt	Datum	Hafen (an-ab)	Fahrtleiter	Arbeitsgebiet	Wissenschaftliche Disziplinen
ANT X/1b	10. 12. 1991 – 2. 1. 1992	Puerto Madryn – Punta Arenas	O. Schrems	Antarktische Halbinsel	Chemie, Biologie, Taxonomie
ANT X/2	4. 1. 1992 – 25. 3. 1992	Punta Arenas – Kapstadt	H. Miller	Antark. Halbinsel, Neumayer, Forster	Geophysik, Geologie; Landoperationen
ANT X/3	27. 3. 1992 – 19. 5. 1992	Kapstadt – Kapstadt	M. Spindler	Kap Norwegia, Bouvet Island	„Herbst im Eis“; Biologie, Chemie
ANT X/4	21. 5. 1992 – 5. 8. 1992	Kapstadt – Puerto Madryn	P. Lemke	Kap Norwegia, South Orkney, King George	Hydrographie, Ozeanographie, Fernerkundung
ANT X/5	8. 8. 1992 – 26. 9. 1992	Puerto Madryn – Punta Arenas	R. Gersonde	Argentinisches Becken, Scotia-Meer	Marine Geologie
ANT X/6	29. 9. 1992 – 29. 11. 1992	Punta Arenas – Kapstadt	V. Smetacek	Südatlantik	„Frühling am Eisrand“; Biologie, Chemie
ANT X/7	3. 12. 1992 – 22. 1. 1993	Kapstadt – Ushuaia	E. Fahrbach	Antark. Halbinsel, Atka- Bucht, Weddellmeer	Ozeanographie, Physik, Chemie
ANT X/8	24. 1. 1993 – 22. 2. 1993	Ushuaia – Bremerhaven	G. Krause	Heimreise	Chemie, Luftchemie, Ozeanographie
ARK IX/1a	26. 2. 1993 – 23. 3. 1993	Bremerhaven – Longyearbyen	H. Eicken	Grönlandsee, Framstraße	Glaziologie, Meteorologie, Ozeanographie
ARK IX/1b	24. 3. 1993 – 17. 4. 1993	Longyearbyen – Bremerhaven	J. Meincke	Grönlandsee, Framstraße	Hydrographie, Biologie, Chemie
ARK IX/2	16. 5. 1993 – 24. 6. 1993	Bremerhaven – Tromsø	G. Kattner	Nordostgrönland Polynya	Biologie, Ozeanographie, Chemie
ARK IX/3	25. 6. 1993 – 4. 8. 1993	Tromsø – Tromsø	H.-J. Hirche	Nordostgrönland Polynya	Biologie, Ozeanographie, Chemie
ARK IX/4	6. 8. 1993 – 5. 10. 1993	Tromsø – Bremerhaven	D. Fütterer	Barents-See, Kara-See, Laptev-See	Geologie, Biologie, Ozeanographie, Physik
ANT XI/1	18. 10. 1993 – 27. 11. 1993	Bremerhaven – Kapstadt	O. Schrems	Ausreise	Luftchemie, Ozeanographie, Meteorologie
ANT XI/2	12. 12. 1993 – 11. 1. 1994	Kapstadt – Punta Arenas	R. Gersonde	Atlantisches Südpolarmeer	Geologie, Sedimentologie, Geochemie



