

# Copyright ©

---

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Das Werk bzw. der Inhalt darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtsinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

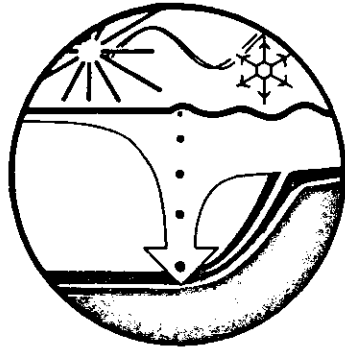
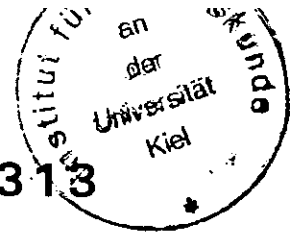
Copyright and Moral Rights for this thesis are retained by the author and/or other copyright owners. The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

22. JULI 1991

BERICHTE

aus dem

SONDERFORSCHUNGSBEREICH 313



Nr. 28

Veränderungen der Umwelt:  
Der nördliche Nordatlantik

Organisation und Forschungsprogramm  
des Sonderforschungsbereiches 313 für den Zeitraum  
1991 - 1993

J. Thiede, S. A. Gerlach und A. V. Altenbach

22. Juli 1991



Nr. 28

**VERÄNDERUNGEN DER UMWELT: DER NÖRDLICHE NORDATLANTIK**

**Organisation und Forschungsprogramm**

**des Sonderforschungsbereiches 313 für den Zeitraum 1991 - 1993**

**Thiede, J., Gerlach, S.A. und Altenbach, A.V.**

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
1. <u>Vorwort des Sprechers</u>	3
2. <u>Allgemeine Angaben zum Sonderforschungsbereich</u>	5
2.1 Alphabetische Liste der am Sonderforschungsbereich beteiligten Wissenschaftler/Mitglieder	5
2.2 Forschungsprogramm	11
2.3 Bisherige und künftige Arbeitsgebiete im nördlichen Nordatlantik	18
2.4 Bedeutung des Sonderforschungsbereichs für die beteiligten Institutionen	22
2.5 Verzeichnis der laufenden Dissertationen oder vergleichbarer Arbeiten auf dem Gebiet des Forschungsprogramms	26
3. <u>Projektbereich A: Produktion und Sedimentbildung</u>	29
4. Teilprojekt A 1	31
5. Teilprojekt A 2	48
6. Teilprojekt A 3	89
7. Teilprojekt A 4	105
8. <u>Projektbereich B: Geschichte der Umwelt</u>	145
9. Teilprojekt B 1	147
10. Teilprojekt B 2	169
11. Teilprojekt B 3	198
12. Teilprojekt B 4	219
13. Teilprojekt V (Verwaltung)	228
14. <u>Ordnung des Sonderforschungsbereichs</u>	229
15. <u>Veröffentlichungen des SFB 313</u>	236

## 1. VORWORT

Der Sonderforschungsbereich 313 der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, der im Juli 1985 seine Tätigkeit aufgenommen hat, wurde im Oktober 1990 zum dritten Mal begutachtet. Nachdem er in den ersten fünfeinhalb Jahren unter dem Titel "Sedimentation im Europäischen Nordmeer: Abbildung und Geschichte der ozeanischen Zirkulation" geführt wurde, hat jetzt eine Erweiterung der wissenschaftlichen Fragestellungen und der Arbeitsgebiete auch zu dem neuen Titel "Veränderungen der Umwelt: Der nördliche Nordatlantik" geführt. Mit der Änderung des Themas geht auch eine Neukonzipierung der wissenschaftlichen Teilbereiche und der Teilprojekte einher, die von einer in ihrer Zusammensetzung wesentlich veränderten Gruppe von Forscherinnen und Forschern in den Jahren 1991 bis 1993 getragen werden soll. Zu den den SFB-tragenden Institutionen hat sich jetzt auch das Institut für Polarökologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel gesellt.

Das geänderte Thema des Sonderforschungsbereiches deutet an, daß die Schwerpunkte der Arbeiten unter einer globalen Perspektive durchgeführt werden, ohne daß der wissenschaftliche Ansatz der bisherigen Jahre völlig verlassen werden soll. Zum zentralen Untersuchungsthema wird die Veränderlichkeit der Lebensbedingungen, der "Umwelt", in verschiedenen Skalen von Raum und Zeit, wie sie in den heutigen Lebensgemeinschaften und in den marinen Sedimenten des nördlichen Nord-Atlantiks dokumentiert sind. Die Ergebnisse der Untersuchungen der vergangenen Jahre haben ebenso dazu geführt, daß auch regional neue Arbeitsgebiete aufgegriffen werden. Vorarbeiten sind bereits in dem Arbeitsgebiet vor dem Kontinentalrand Grönlands durchgeführt worden. Das Meeresgebiet südlich von Island (in der näheren und weiteren Umgebung von Rockall) soll zu Vergleichszwecken aufgesucht werden. Im Europäischen Nordmeer haben sich die Lebensbedingungen im Response auf die glazial/interglazialen Klimaschwankungen so drastisch geändert, daß große Teile der pelagischen Biota während der Eiszeit fehlen. Im Gegensatz dazu kann in den Teilbecken des Nordatlantiks, südlich von Island, eine kontinuierliche Beobachtungsserie der Sedimentbildung aus biogenen Partikeln über den gesamten glazialen/interglazialen Klimazyklus hinweg beobachtet werden. Trotzdem werden die bisherigen Schwerpunkte des SFB 313 im Gebiet des Vöring-Plateaus vor Mittelnorwegen und im Seegebiet vor der Barentssee aufrechterhalten. Der SFB 313 ist zuversichtlich, daß mit den bisher bereits geplanten Schiffszeiten auch eine ausreichende Expeditionstätigkeit in dem Seegebiet des Europäischen Nordmeeres und der angrenzenden Tiefseebecken aufrechterhalten werden kann.

Die ersten fünfzehn Jahre des SFB 313 haben eine reiche Beute an wissenschaftlichen Ergebnissen erbracht. Sie sind in zahlreichen Publikationen dokumentiert, über die anhand von zwei Berichtsbänden, die anlässlich der Begutachtung zusammengestellt worden sind, eine Übersicht gewonnen werden kann. Die Mitglieder des SFB 313 sehen den kommenden drei Jahren der Arbeiten im nördlichen Nord-Atlantik, speziell im Europäischen Nordmeer, mit großen Erwartungen entgegen und sind der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und den Fördereinrichtungen des Landes Schleswig-Holstein sowie in Bonn, dabei vor allem der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), zu großem Dank verpflichtet.

## 2. ALLGEMEINE ANGABEN ZUM SONDERFORSCHUNGSBEREICH

2.1 Alphabetische Liste der am Sonderforschungsbereich beteiligten Wissenschaftler/Mitglieder im Sinne der Ordnung des Sonderforschungsbereiches sind durch X vor dem Namen gekennzeichnet. GA = Grundausrüstung EA = aus Mitteln des Sonderforschungsbereichs finanzierte Ergänzungsausrüstung

Stand Anfang 1991

Name, Vorname, akad. Grad, Dienststellung	Fachrichtung	Bezeichnung d. Inst. d. Hoch- schule / Ein- richtung außer- halb der Hoch- schule	GA/EA Stipen- diaten	Teilproj. (Kenn- ziffer)
1	2	3	4	5
x Altenbach, A. Dr., Hochschul- ass.	Paläontologie	GPI	GA	B2
x Barthel, D. Dr., Hochschul- ass.	Benthos- ökologie	IfM	GA	A3
Bauch, H. Dipl. Geol., Doktorand	Sedimento- logie	GEOMAR	EA	B2
x Bauerfeind, E. Dr., wiss. Ang.	Planktologie	IfM	EA	A1
Baumann, A. Dipl. Biol. Doktorand	Paläontologie	GPI	EA	B3
x Baumann, K.-H. Dr., wiss. Ang.	Paläontologie	GEOMAR	GA	B3
Blaume, F. Dipl. Geol., Doktorand	Sedimento- logie, Modelling	GPI	EA	A2
Bobsien, M. Dipl. Doktorand	Geophysik	GEOMAR	EA	B1
x Bodungen, B.v. Dr., Priv. Doz. Oberass.	Planktologie	IfM	GA	A1, B3
Boje, R. Dr., Akad. Rat	Planktologie	IfM	GA	A1
x Botz, R. Dr., wiss. Ang.	Geochemie	GPI	GA	A2, A4, B2
Chi, I. Dipl. Doktorand	Sediment- physik	GEOMAR/IAP	EA	B1
x Duinker, J.C. Dr., Professor	Meereschemie	IfM	GA	A1, A4
x Erlenkeuser, H. Dr., wiss. Ang.	Kernphysik	IfK	GA	A1, A2, A3, B2, B3

## Fortsetzung 2.1

Name, Vorname, akad. Grad, Dienststellung	Fachrichtung	Bezeichnung d. Inst. d. Hoch- schule / Ein- richtung außer- halb der Hoch- schule	GA/EA Stipen- diaten	Teilproj. (Kenn- ziffer)
1	2	3	4	5
Fischer, J. Dr., wiss. Ang.	Regionale Ozeanographie	IfM	GA	A2
Flüh, E. Dr., wiss. Ang.	Geophysik	GEOMAR	GA	B1
x Gerlach, S.A. Dr., Professor	Benthos- ökologie	IfM	GA	A3
Goldschmidt, P. Dipl. Geol., Doktorand	Eisdrift- sedimentation	GEOMAR	EA	A2
x Graf, G. Dr., Priv. Doz. Oberass.	Benthos- ökologie	IfM	GA	A2, A3, B2
x Haake, F. Dr., wiss. Ang.	Paläontologie	GPI	GA	B2
x Hagen, W. Dr., Hochschul- ass.	Biol. Meereskunde	IPÖ	GA	A1, A3
Hahn, M. Dipl. Geol., Doktorandin	Sedimento- logie	GPI	EA	B2
x Hartmann, M. Dr., wiss. Ang.	Geochemie	GPI	GA	A4
x Hempel, G. Dr., Professor	Biol. Meereskunde	IPÖ	GA	A1, A3
x Henrich, R. Dr., Hochschul- ass.	Sedimento- logie	GEOMAR	GA	A2, A4, B2
x Hubold, G. Dr., Hochschul- ass.	Biol. Meereskunde	IPÖ	GA	A1, A3
x Huene, R.v. Dr., Professor	Geophysik	GEOMAR	GA	B1
x Kassens, H. Dr., wiss. Ang.	Akustostrati- graphie	GEOMAR	GA	B1, B2



## Fortsetzung 2.1

Name, Vorname, akad. Grad, Dienststellung	Fachrichtung	Bezeichnung d. Inst. d. Hoch- schule / Ein- richtung außer- halb der Hoch- schule	GA/EA Stipen- diaten	Teilproj. (Kenn- ziffer)
1	2	3	4	5
x Keir, R. Dr., wiss. Ang.	Paläo- ozeanologie	GEOMAR	GA	A4, B4
x Kögler, F.C. Dr., wiss. Ang.	Geologie	GPI	GA	B1
Köster, M. Dipl. Biol., Doktorandin	Mikrobiologie	IfM	EA	A4
Kohly, A. Dipl. Geol, Doktorand	Mikropal.	GPI	EA	B3
x Kroebel, W. Dr., Professor	Meeresmeß.	IAP	GA	A1
Lammers, S. Dipl. Geol., wiss. Ang.	Umwelt- geologie	GEOMAR	GA	A4
x Lange, H. Dr., wiss. Ang.	Tonminera- logie	GPI	GA	A2, A4, B2
x Lenz, J. Dr., Professor	Planktologie	IfM	GA	A1
x Linke, P. Dr., wiss. Ang.	Benthos- ökologie	IfM	EA	A3
x Locker, S. wiss. Ang.	Paläontologie	GPI	EA	B2
x Lutze, G.-F. Dr., Professor	Paläontologie	GPI	GA	B2
Maaßen, J. Dipl. Chem. Doktorand	Meereschemie	IfM	EA	A4
Machado, E. Dipl. Biol.	Planktologie	IfM	Stip.	A1
Matthießen, J. Dipl. Geol. wiss. Ang.	Paläontologie	GEOMAR	EA	B3
x Meißner, R. Dr., Professor	Geophysik	IG	GA	B1
x Meyer-Reil, L.-A. Dr., Priv. Doz. Oberass.	Mikrobiologie	IfM	GA	A4, V
x Mienert, J. Dr., wiss. Ang.	Akustostrati- graphie/ Sediment- physik	GEOMAR	GA	B1

## Fortsetzung 2.1

Name, Vorname, akad. Grad, Dienststellung	Fachrichtung	Bezeichnung d. Inst. d. Hoch- schule / Ein- richtung außer- halb der Hoch- schule	GA/EA Stipen- diaten	Teilproj. (Kenn- ziffer)
1	2	3	4	5
Nees, S. Dipl. Geol., Doktorand	Paläontologie	GEOMAR	EA	B2
x Oehmig, R. Dr., wiss. Ang.	Sedimento- logie	GEOMAR	GA	A2, V
Paetsch, H. Dipl. Geol., Doktorand	Geochemie	GPI	EA	A4
Peeken, I. Dipl-Biol., Doktorandin	Planktologie	IfM	GA	A1
x Peinert, R. Dr., Hochschul- ass.	Planktologie	IfM	GA	A1
x Pflaumann, U. Dr., wiss. Ass.	Paläontologie	GPI	GA	A1, B3, B4
x Piepenburg, D. Dr., wiss. Ang.	Benthos- ökologie	IPÖ	EA	A3
Preuß, H. Dipl. Geoph. Doktorand	Geophysik	GEOMAR	EA	B1
x Rheinheimer, G. Dr., Professor	Mikrobiologie	IfM	GA	A4
Ritzrau, W. Dipl. Biol., Doktorand	Benthos- ökologie	IfM	EA	A3
x Rumohr, J. Dr., wiss. Ang.	Sedimento- logie	GEOMAR	GA	A2, A3
x Samtleben, C. Dr., wiss. Ang.	Paläontologie	GPI	GA	A1, A2, B2, B3
x Sarnthein, M. Dr., Professor	Paläo- ozeanographie	GPI	GA	B2, B3, B4
x Schäfer, P. Dr., Professor	Paläontologie	GPI	GA	A1, A3, B2, B3
x Scholten, J. Dr., wiss. Ang.	Geochemie/ Sedimentgeol.	GPI	EA	A4
Schott, F. Dr., Professor	Regionale Ozeanographie	IfM	GA	A2

## Fortsetzung 2.1

Name, Vorname, akad. Grad, Dienststellung	Fachrichtung	Bezeichnung d. Inst. d. Hoch- schule / Ein- richtung außer- halb der Hoch- schule	GA/EA Stipen- diaten	Teilproj. (Kenn- ziffer)
1	2	3	4	5
Schröder, A. Dipl. Geol., Doktorandin	Mikropal.	GPI	EA	B3
x Schulz, D. Dr., wiss. Ang.	Meereschemie	IfM	GA	A1, A4
x Stattegger, K. Dr., Professor	Mathemat.	GPI	GA	B4
x Stoffers, P. Dr., Professor	Meeres- geologie	GPI	GA	A4
Struck, U. Dipl. Geol., Doktorand	Paläontologie	GEOMAR	EA	B2
Sündermann, J. Dr., Professor	Ozeanographie	IfM, Hamburg	GA	B4
x Suess, E. Dr., Professor	Umwelt- geologie	GEOMAR	GA	A1, A4
x Theilen, F. Dr., Akad. Rat	Geophysik	IG	GA	B1
x Thiede, J. Dr., Professor	Paläo- ozeanologie	GEOMAR	GA	A1, A2, B2, B3
Thomsen, C. Dipl. Biol., Doktorand	Planktologie	IfM	EA	A1
Thomsen, L. Dipl. Biol., Doktorandin	Benthos- ökologie	IfM	EA	A3
x Unsöld, G. Dr., wiss. Ang.	Sedimento- logie	GPI	GA	A2
Vosberg, H. Dipl. Geophys., wiss. Ang.	Geophysik	GEOMAR	GA	B1
Voß, M. Dipl. Biol., Doktorandin	Planktologie	IfM	EA	A1
Wagner, T. Dipl. Geol., Doktorand	Analytik org. Substanz	GEOMAR	EA	A2
Weinrebe, W. Dr., wiss. Ang.	Informatik	GEOMAR	GA	B1
x Werner, F. Dr., wiss. Ang.	Sedimento- logie	GPI	GA	A2, B1

## Fortsetzung 2.1

Name, Vorname, akad. Grad, Dienststellung	Fachrichtung	Bezeichnung d. Inst. d. Hoch- schule / Ein- richtung außer- halb der Hoch- schule	GA/EA Stipen- diaten	Teilproj. (Kenn- ziffer)
1	2	3	4	5
x Willkomm, H. Dr., Professor wiss. Dir.	Kernphysik	IfK	GA	A1, B2
x Zeitzschel, B. Dr., Professor	Planktologie	IfM	GA	A1

## 2.2 Forschungsprogramm

Unsere Umwelt wird von unterschiedlichen physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen in den verschiedensten Skalen von Raum und Zeit geprägt. Die Menschheit stellt sich auf die vorhersagbaren Schwankungen im täglichen und jahreszeitlichen Rhythmus ein, um den Lebensunterhalt bestmöglich zu sichern. Langfristige Änderungen der Umwelt, vor allem die Klimaveränderungen der Eiszeiten, lassen sich über lange Zeiträume nachzeichnen, in ihren kausalen Zusammenhängen weitgehend erklären und in die Zukunft projizieren. Dagegen sind Schwankungen über Jahrzehnte, Jahrhunderte und Jahrtausende zwar erkannt und beschrieben, und ihre Auswirkungen haben die Kulturgeschichte des Menschen auch nachhaltig beeinflusst. Die tatsächlichen Ursachen dieser kurzfristigen Veränderungen sind aber weitgehend unbekannt. Anthropogene Einflüsse wirken in jüngster Zeit zusätzlich auf die Veränderlichkeit unserer Umwelt ein und erschweren eine gesicherte Vorhersage unserer zukünftigen Lebensbedingungen (Crowley, 1989).

Es gibt jedoch wissenschaftliche Belege für die Annahme, daß auch in der nahen Zukunft drastische Veränderungen unserer Umwelt auf der Basis natürlicher Zyklen einsetzen könnten. Die rasche Geschwindigkeit natürlicher Klimaschwankungen wurde anhand grönländischer Eiskerne für die nördliche Hemisphäre nachgewiesen (Dansgaard et al., 1989). Europa und das Europäische Nordmeer wurden im Ausklang der letzten Vereisung von einer pulsartigen Klimaänderung betroffen, in der sich wieder ein fast eiszeitliches Klima ausbreitete (Jüngere Dryas).

Der Rückgang dieses dramatischen Klimaumschwungs dauerte nur zwei bis fünf Dekaden, und nicht mehrere hundert Jahre, wie früher vermutet. Das Europäische Nordmeer mit seinen angrenzenden Gebieten gewinnt über seine Rolle als Tiefenwasserpumpe des Ozeans eine beunruhigende Aktualität als Monitor und damit eventuell die Bedeutung einer treibenden Kraft der natürlichen Veränderlichkeit unserer Umwelt (Broecker, 1987; Broecker et al., 1990).

Temperierte und eisbedeckte Oberflächenwassermassen treten hier, durch scharfe ozeanographische Gradienten getrennt (Koltermann und Lüthje, 1989), in enger räumlicher Nachbarschaft auf (Abb. 1). Die Ausdehnung der temperierten Klimazonen nach Norden, im Bereich Nordwesteuropas, wird durch die Lage dieser temperierten Wasserkörper bedingt. Der nördliche Nordatlantik ist heute, wie schon im Glazial, ein Gebiet intensiver Erneuerung der ozeanischen Tiefenwassermassen.  $\text{CO}_2$  und  $\text{O}_2$  wird dabei physikalisch gelöst in die Tiefe transportiert ("Löslichkeitspumpe"), gleichzeitig werden Teile der saisonal erheblichen Primärproduktion zum Meeresboden exportiert ("Biologische Pumpe"). Die hier gebildeten Bodenwassermassen erreichen die entferntesten Gebiete und beeinflussen so die Zirkulationssysteme des gesamten Weltmeeres (Broecker, 1987; Broecker et al., 1990).

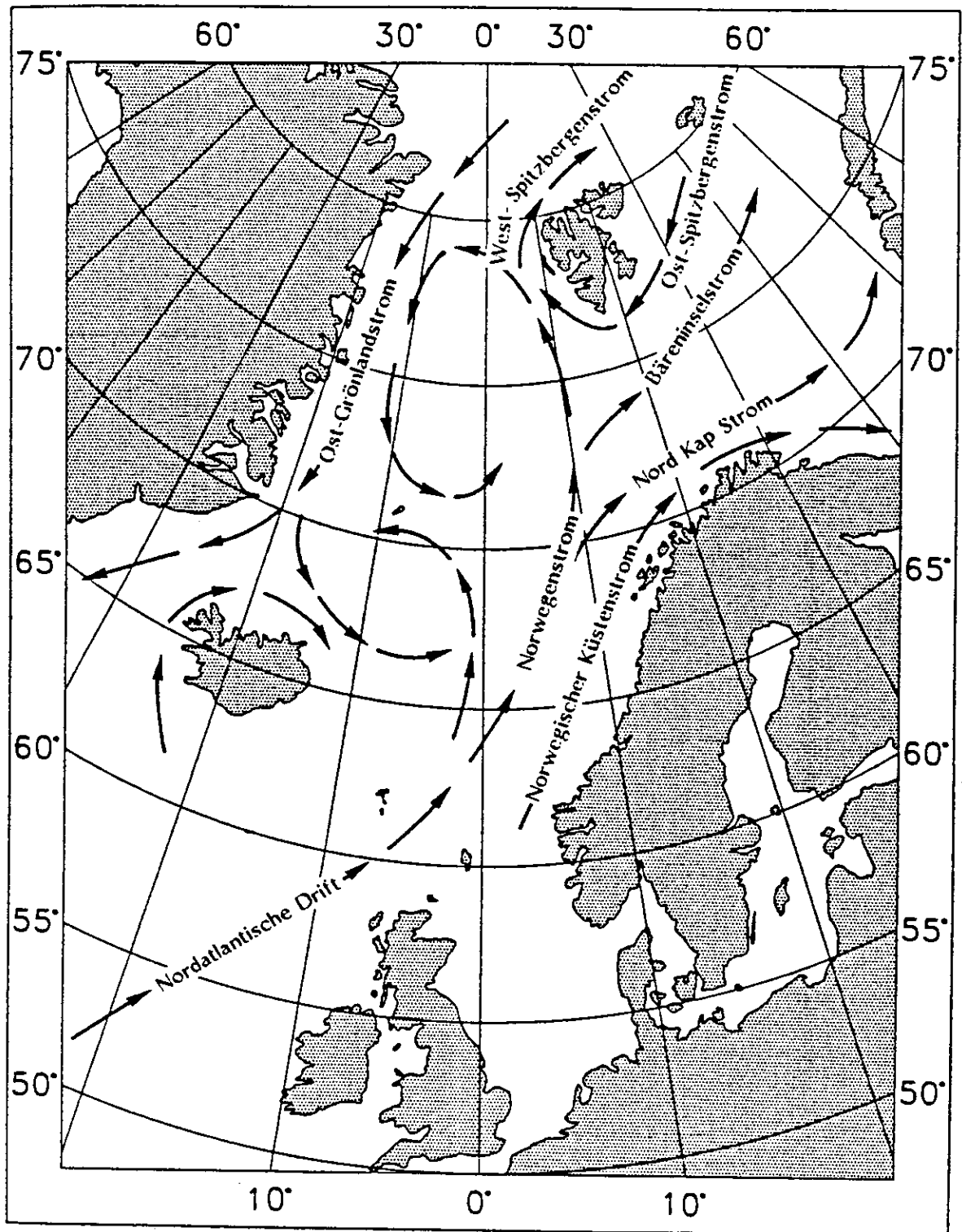


Abb. 1: Zirkulation der Oberflächenwassermassen im Europäischen Nordmeer und im angrenzenden Nordatlantik (nach verschiedenen Quellen).

Wie kaum ein anderes Teilbecken des Weltmeeres ist der nördliche Nordatlantik somit geeignet, Aussagen über Raten und Skalen der Veränderlichkeit der Klimageschichte unserer Erde zu wagen (Crowley, 1989). Das gilt aller Voraussicht nach gerade für die möglichen Auswirkungen des Treibhauseffektes oder einer kommenden Abkühlung. Der nördliche Nordatlantik muß daher in seinen heutigen Eigenschaften und Prozessen, die sich in der Bildung und Ablagerung der Sedimente dokumentieren, besonders gut verstanden werden.

Der SFB 313 hat bisher die SEDIMENTATION IM EUROPÄISCHEN NORDMEER untersucht, um die Prozesse und Geschichte der ABBILDUNG DER OZEANISCHEN ZIRKULATION zu verfolgen. In den ersten fünf Jahren seines Bestehens hat sich dieser Sonderforschungsbereich auf mehrere Schwerpunkte konzentriert (Thiede et al., 1988):

1. Die Stoffumsätze und Partikelbildung in der Wassersäule im Norwegenstrom und der Nachweis der saisonalen Veränderlichkeit der Primär- und Exportproduktion (v. Bodungen, 1989).
2. Struktur und Eigenschaften des Benthos im Bereich des Vøring-Plateaus und seine Reaktion auf die vertikale und horizontale Advektion von organischen Substanzen. Besondere Erfolge dieser Arbeiten umfassen den Nachweis der saisonal gesteuerten Nahrungseinträge in die Tiefseebecken und die rasche Einmischung künstlicher Radionuklide in die obersten Sedimentschichten (Graf, 1989; Balzer, 1990).
3. Die Beschreibung und Deutung der langfristigen Paläo-Ozeanographie des Norwegenstromes und der Nachweis des frühen Einsetzens glazialer Ablagerungsbedingungen im Europäischen Nordmeer (Thiede et al., 1989).
4. Die Veränderlichkeit von Sedimentation, Zirkulation und Ventilation des Europäischen Nordmeeres von Eiszeit zu Zwischeneiszeit (Vogelsang 1990, Kassens 1990, Henrich et al. 1989)

In den kommenden Jahren will der SFB 313 Thema und Schwerpunkte verschieben, ohne den bisherigen wissenschaftlichen Ansatz völlig zu verlassen. Zum zentralen Untersuchungsthema wird die Veränderlichkeit der Lebensbedingungen und Umwelt in verschiedenen Skalen von Raum und Zeit, wie sie in den heutigen Lebensgemeinschaften und in den marinen Sedimenten des nördlichen Nordatlantiks dokumentiert sind. Neben den weiter laufenden Untersuchungen im Gebiet des Vøring-Plateaus, in die zusätzlich die Kohlenstoff-Zufuhr aus dem Sediment in das Benthos aufgenommen werden soll, werden vor allem die Gebiete intensiver Bodenwassererneuerung (Grönland-Becken) und die biologisch hochaktive Eisrandzone mit einbezogen. Der Eisrand stellt das sich am schnellsten verlagernde und sich wohl am deutlichsten in den Sedimenten abbildende Zeugnis der Umwelt dar (Sakshaug und Holm-Hansen, 1984).

Diese Umstellung und Neugliederung der geplanten wissenschaftlichen Arbeiten im Sonderforschungsbereich 313 findet ihren Niederschlag in der Veränderung seines Namens und der Neugliederung der Teilbereiche und Teilprojekte (Tab. 1).

Neue regionale Schwerpunkte der Arbeiten werden das Seegebiet vor Grönland, die Tiefsee vor Südwest-Spitzbergen und die benachbarten Kontinentalränder sein (Abb. 2). Zusätzlich sollen ausgewählte Stationsprofile südlich von Island für vergleichende Betrachtungen von fossilen Planktongemeinschaften im offenen Atlantik sowie der ein- und ausströmenden Wassermassen während unterschiedlicher Klimaphasen hinzugezogen werden.

Die geologische Dokumentation der zu untersuchenden Veränderungen wird auf die letzten 200 000 bis 330 000 Jahre, d.h. die drei letzten großen Insolationszyklen beschränkt. Von besonderem Interesse sind dabei Zeiträume mit rascher und hoher Veränderlichkeit der paläo-ozeanographischen Verhältnisse.

Neu ist der wissenschaftliche Ansatz, mit Hilfe numerischer Modelle eine quantitative Simulation der Stoffkreisläufe und der jungquartären Klimaschwankungen im Bereich des nördlichen Nordatlantiks zu versuchen.



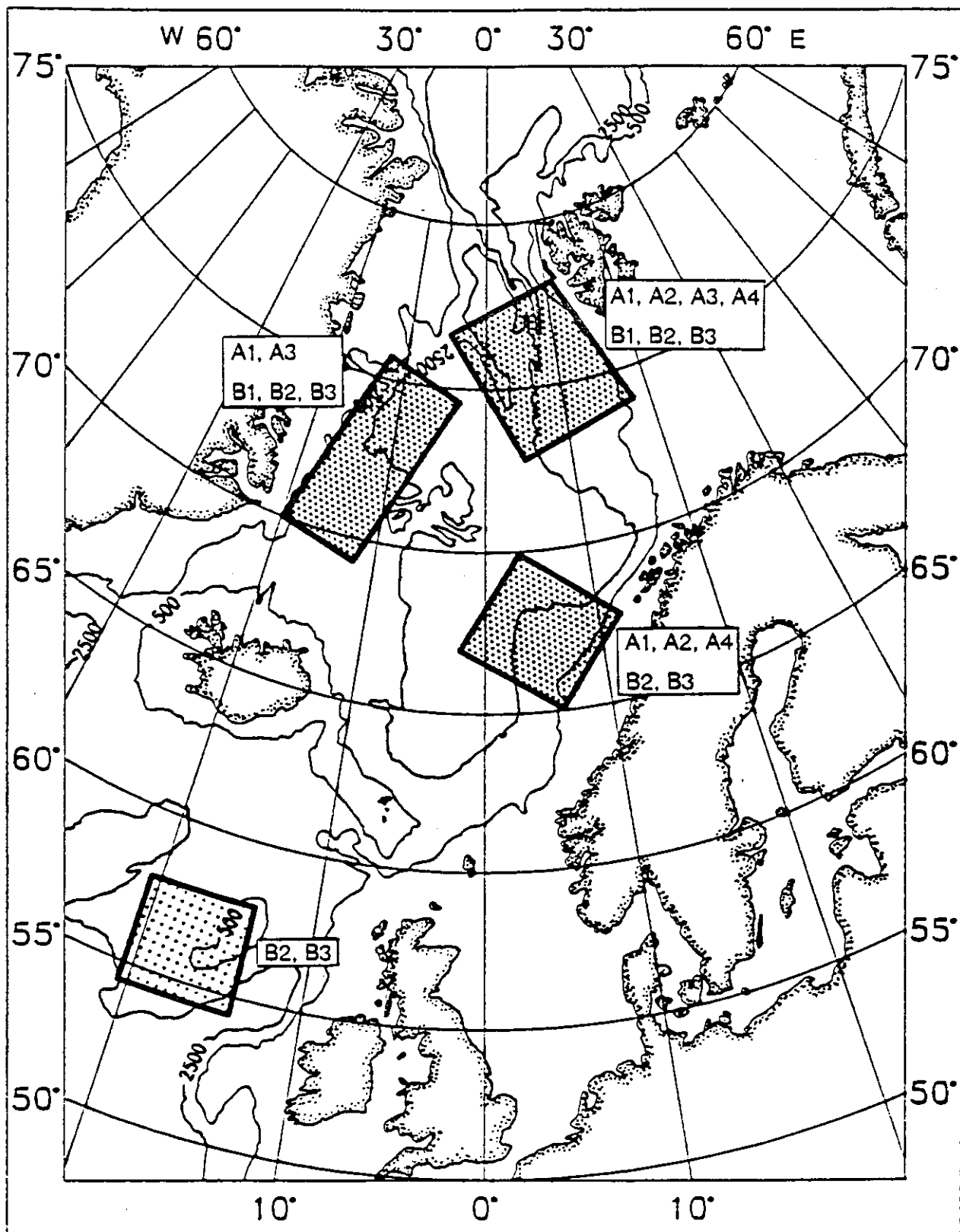


Abb. 2: Schwerpunktgebiete der Untersuchungen des SFB 313 in den Jahren 1991 bis 1993. Die vorgesehenen Arbeiten werden von mehreren Teilprojekten geplant und durchgeführt. Das neue Arbeitsgebiet südlich des Grönland-Schottland-Rückens dient der Verzahnung mit JGOFS (A1, B2, B3).

Tab. 1: Übersicht über die Teilprojekte, gegliedert nach Projektbereichen - neue Teilprojekte sind mit X gekennzeichnet -

Kennziffer d. Teilprojekts	Bezeichnung d. Projektbereichs/Teilprojekt	spez.wissensch. Arbeitsrichtung (engeres Fach) d. Teilprojekts	Leiter des Teilprojekts	Antrag Seite
6	7	7a	8	9
	<u>Projektbereich A</u> "Produktion und Sedimentbildung"			29
A1	"Pelagische Prozesse und vertikaler Partikelfluß"	Planktologie, Meereschemie, Kernphysik, Paläontologie, Paläo- ozeanologie	v. Bodungen/ Zeitzschel	31
A2	"Prozesse und Bilanzen des Sedimenttransportes"	Sedimentologie, Paläontologie, Paläo- ozeanologie, Kernphysik	Henrich/ Rumohr	48
A3	"Besiedlungsmuster und Partikelfluß im Benthos"	Benthos- ökologie, Biol. Meereskunde, Paläontologie, Kernphysik	Graf/ Hubold	89
A4	"Stoffumsätze im Benthos"	Mikrobiologie, Meereschemie, Geochemie, Umweltgeologie	Meyer-Reil/	105

## Fortsetzung Tab. 1

Kennziffer d. Teil- projekts	Bezeichnung d. Pro- jektbereichs/Teil- projekt	spez.wissensch. Arbeitsrichtung (engeres Fach) d. Teilprojekts	Leiter des Teilprojekts	Antrag Seite
6	7	7a	8	9
	<u>Projektbereich B</u> "Geschichte der Umwelt"			145
B1	"Geophysikalische Signale in Sedi- menten"	Geophysik, Akustostrati- graphie, Sedimentphysik, Informatik	Mienert/ v. Huene	147
B2	"Geschichte der Oberflächen- und Bodenwassermassen"	Paläontologie, Kernphysik, Paläo- ozeanographie, Akustostrati- graphie	Altenbach/ Sarnthein	169
X B3	"Palökologie des Pelagials (Synpal)"	Paläontologie, Kernphysik, Planktologie, Paläo- ozeanographie	Samtleben/ Schäfer	198
X B4	"Numerische Modelle von Paläoklima, Paläoozeanographie und Sedimentation"	Paläontologie, Ozeanographie, Paläo- ozeanologie, Math. Geologie	Stattegger/ Keir	219
V	<u>Projektbereich V</u> "Verwaltung und zentrale Dienste"		Thiede/ Gerlach	228

### 2.3 Bisherige und künftige Arbeitsgebiete im nördlichen Nordatlantik

In Abb.2 ist die Lage der Arbeitsgebiete des SFB 313 im Europäischen Nordmeer dargestellt. Wegen der veränderten thematischen Ausrichtung des SFB 313 und wegen der neuen Erkenntnisse der ersten zwei Bewilligungsperioden wird vorgeschlagen, zusätzlich ein Arbeitsgebiet südlich von Island in die Untersuchungen einzubeziehen. Dieses Arbeitsgebiet wird in enger Zusammenarbeit mit dem JGOFS-Programm besucht werden und findet seine Begründung darin, daß wir uns im Europäischen Nordmeer in einer ökologischen Randzone vieler pelagischer Organismengruppen befinden (darunter wichtige Produzenten von Mikrofossilien; Baumann, 1990).

In Abb.3 sind die bisher durchgeführten und die weiterhin geplanten Expeditionen für die Jahre 1991 bis 1993 in ihrem zeitlichen Verlauf dargestellt. Es erschien für den SFB 313 besonders wichtig, daß das Europäische Nordmeer während aller Jahreszeiten aufgesucht werden konnte. Dank glücklicher Umstände in den ersten zwei Bewilligungsperioden konnte dieses Ziel sehr gut erreicht werden.

Für die kommende Bewilligungsperiode haben wir Schiffszeit auf dem FS METEOR beantragt. Nach Planungen der Senatskommission für Ozeanographie sind in jedem Jahr ca. zwei Monate Schiffszeit zur Durchführung von SFB-eigenen Arbeiten vorgesehen. Weiterhin wird daran gedacht, auf dem PFVS POLARSTERN Schiffszeit einzuwerben, um die eisbedeckten Gebiete des nordwestlichen Europäischen Nordmeeres, vor allem die Gebiete vor dem Scoresbysund und auf dem ostgrönländischen Schelf aufzusuchen, die in enger Zusammenarbeit mit Arbeitsgruppen des ESF-Programms PONAM und des arktischen Polynyen-Programmes in die Untersuchungen einbezogen worden sind. Neben den beiden genannten Schiffen wird Schiffszeit auch auf VALDIVIA (in Zusammenarbeit mit dem Hamburger SFB 318, Thema: "Klimarelevante Prozesse") und auf den Kieler Forschungsschiffen POSEIDON und ALKOR eingeworben werden. Die Schiffszeitverteilung für die letztgenannten Schiffe wird nur jährlich fortgeschrieben, und daher sind die Planungen bisher noch nicht abgeschlossen.

Mittelfristig denken wir an die Einbeziehung der FWG (Forschungsanstalt für Unterwasserschall und Geophysik) in Kiel und von Arbeitsgruppen des Institute of Oceanographie Sciences in Wormley Großbritannien, um eine großräumige Sonaraufnahme eines breiten Schnittes über das gesamte Europäische Nordmeer vom Vøring Plateau bis in die Gegend vor dem Scoresbysund zu erzielen. Vorabsprachen zu diesem Vorhaben laufen bereits und werden vermutlich durch Förderung außerhalb des SFB's getragen werden können.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
1985	JOIDES-RESOLUTION ————— B1,B2 POSEIDON ————— A1,A3											
1986	POSEIDON ————— A1,A2,A3 METEOR ————— A1,A2,A3,B1,B2 VALDIVIA ————— B1,B2											
1987	————— A1,A2,A3 POSEIDON <u>A1,A2,A3</u>											
1988	POSEIDON ————— A1,A2,A3 METEOR ————— A1,A2,A3,A4,B1,B2											
1989	POSEIDON ————— POLARSTERN ————— POSEIDON —————											
1990	POLARSTERN ————— B2 POSEIDON ————— A1,A4 METEOR ————— A1,A2,A3,A4,B2											
1991	POLARSTERN ————— METEOR ————— VALDIVIA ————— POSEIDON —————											
1992	VALDIVIA ————— METEOR ————— ALKOR ————— POSEIDON —————											
1993	POSEIDON ————— METEOR ————— POLARSTERN ————— ALKOR —————											

Abb. 3: Durchgeführte und geplante Expeditionen des SFB 313. Nur schwerpunktmäßige Teilnahme an Ausfahrten deutscher Forschungsschiffe.

In Abb.4 sind die für die neue Zielsetzung des SFB 313 wichtigen Sedimentproben, die während der ersten beiden Antragsphasen gewonnen wurden, eingezeichnet. Dieses Probenetz wird ergänzt durch Proben, die im Rahmen des BMFT-geförderten Framstraßen-Projektes zwischen Spitzbergen und dem Grönländischen Kontinentalrand gewonnen worden sind, und durch Proben, die im Rahmen des Klimaprojektes (BMFT) südlich von Island während einer METEOR-Ausfahrt gesammelt wurden. Diese Probensammlungen stehen jetzt ebenfalls für Bearbeitungen seitens des SFB's zur Verfügung. Aus der Verteilung der durch den SFB gesammelten Proben ergibt sich eine klare Bündelung der bisher durchgeführten Arbeiten im Bereich des Sedimentationsgebietes vor der südlichen Barents-See, im Bereich des Vøring-Plateaus und entlang eines Schnittes über relativ flache Gebiete nach Westen an Jan Mayen vorbei in die Richtung auf den Scoresbysund. In den gleichen Gebieten konzentrierten sich die Arbeiten der biologischen Arbeitsgruppen.

Für die Antragsphase 1991 bis 1993 ist eine Verlagerung der wichtigsten Arbeitsgebiete vorgesehen, wobei aber das Vøring-Plateau auch weiterhin aufgesucht werden soll, um Langzeitstationen zu belegen und über mehrere Jahre laufende Datenserien zu gewinnen. Die Erweiterung des SFB's um die Arbeitsgruppen des Institutes für Polarökologie wird eine verstärkte Bearbeitung des Sedimentationsgebietes unter dem Ostgrönlandstrom erlauben. Das Gebiet vor der westlichen Barents-See hat sich als ein außerordentlich wichtiges Gebiet zur Gewinnung hochauflösender stratigraphischer Serien gezeigt. Es soll in enger Zusammenarbeit mit dem DFG-geförderten Schelf-Projekt "Boreale Flachwasserkarbonate" in den kommenden Jahren wiederholt aufgesucht werden.

Völlig neu ist jedoch das Beprobungsgebiet südlich von Island. Es hat sich während der ersten 4 1/2 Jahre des SFB 313 herausgestellt, daß viele Prozesse im eigentlichen Europäischen Nordmeer durch den Grönland-Schottland-Rücken vom Hauptbecken des Nordatlantiks deutlich abgesetzt sind. Dabei spielt vor allem die geologische Geschichte des Europäischen Nordmeeres eine wichtige Rolle, da dieses Gebiet während der Kaltzeiten über lange Zeiträume hinweg eisbedeckt gewesen sein muß und deshalb die biogeographische Verbreitung wichtiger Planktongruppen in das Hauptbecken des Nordatlantiks südlich von Island verlagert wurde. Um stratigraphisch kontinuierliche Probenserien mit einem vollständigen "Record" dieser Gruppen sowie Einblick in die ein- und ausströmenden Wassermassen aus dem Europäischen Nordmeer zu gewinnen, ist es unabdingbar, daß ein Arbeitsgebiet südlich von Island in die Betrachtung des SFB einbezogen wird. Dieses neue Arbeitsgebiet kommt vor allem den Teilprojekten B2, B3 und B4 zugute.

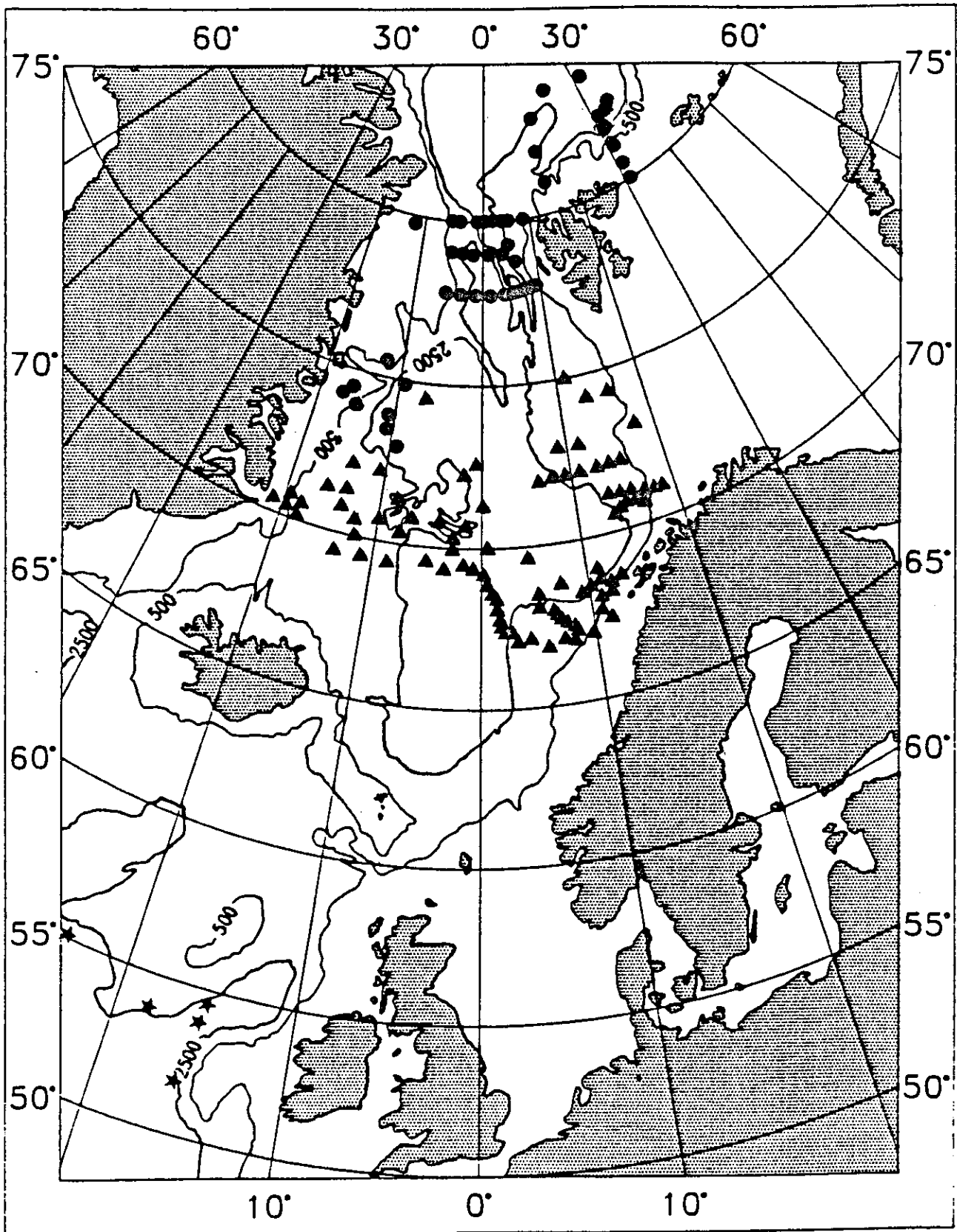


Abb. 4: Dem SFB 313 zur Verfügung stehende Sedimentkerne  
Dreiecke: SFB 313-Sedimentkerne  
Kreise: Sedimentstationen des Framstraßen-Projekts  
Sterne: Sedimentstationen des Klimaprojektes

#### 2.4 Bedeutung des Sonderforschungsbereiches für die beteiligten Institutionen

Aufbauend auf den Erfahrungen des Sonderforschungsbereiches 95 (Wechselwirkungen Meer-Meeressboden) ist der SFB 313 in seiner zweiten Bewilligungsphase zu einem umfangreichen wissenschaftlichen Vorhaben der Christian-Albrechts-Universität herangereift. Als eines der wichtigen interdisziplinären Projekte vereint er Arbeiten des Institutes für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, des GEOMAR Forschungszentrums für marine Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und mehrerer Institute der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, darunter besonders des Geologisch-Paläontologischen Institutes und Museums, des Institutes für Geophysik und des  $^{14}\text{C}$ -Labors des Institutes für Reine und Angewandte Kernphysik. In der kommenden Bewilligungsphase wird diese Gruppe von Institutionen durch den neuen Beitrag des Institutes für Polarökologie beträchtlich erweitert.

Vier Kollegen sind im Rahmen des SFB 313 zur Habilitation geführt worden (in alphabetischer Reihenfolge: Balzer, von Bodungen, Graf, Meyer-Reil), weitere Habilitationen sind in der Vorbereitung und werden im Laufe des Jahres 1990 oder während der nächsten Antragsphase vollendet werden. Im Rahmen des SFB 313 sind eine große Anzahl von Dissertationen und Diplomarbeiten abgeschlossen worden, die wesentlich zu den Ergebnissen der sechs Teilprojekte beigetragen haben. Seit Anfang seines Bestehens hat der SFB 313 wichtige Mitglieder durch Rufe an andere Universitäten bzw. Forschungsinstitutionen verloren; auch gegenwärtig haben eine Reihe von Mitgliedern des SFB 313 Stellenangebote nach außerhalb Kiels. Trotzdem ist es bisher immer geglückt, entstehende Lücken sofort zu füllen bzw. erfolgreich Angebote auf andere Stellen abzuwehren. Darin kann ein wichtiger Hinweis auf den "Gesundheitszustand" des SFB 313 gesehen werden.

Während der letzten Bewilligungsphase des SFB 313 ist es zu bedeutsamen Veränderungen der Forschungslandschaft der Christian-Albrechts-Universität gekommen. Das Geologisch-Paläontologische Institut und Museum ist durch Neuberufungen auf freie Stellen bzw. durch die Zuweisung neuer Stellen in den Stand versetzt worden, neue wissenschaftliche Fragestellungen aufzugreifen. Mitglieder des Institutes für Polarökologie haben sich dem SFB 313 angeschlossen und werden prägend auf das Programm einwirken. Das GEOMAR Forschungszentrum für marine Geowissenschaften wäre schwerlich ohne den SFB 313 und ohne die kollegiale Zusammenarbeit mit Mitgliedern verschiedener Institutionen der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität in Kiel gegründet worden; es ist in den Jahren 1988 bis 1990 von einem sehr bescheidenen Anfang zu seiner jetzigen Größe gewachsen und hätte ohne die Zuarbeit der Fakultätsinstitute und des Institutes für Meereskunde kaum aus dem Stand heraus gegründet werden können. Die Zusammenarbeit mit dem Institut für Meereskunde an der Chri-



stian-Albrechts-Universität hat sich jetzt über viele Jahre hinweg bewährt, so daß der SFB 313 in dem forschungspolitischen Schwerpunkt Meereskunde der Christian-Albrechts-Universität eine bedeutende Stellung einnimmt.

Räumlich ist der SFB 313 seit dem Sommer 1990 endlich in seinem eigenen Gebäude auf dem Gelände der ehemaligen ELAC in der nördlichen Verlängerung des Universitäts-Campus angesiedelt (Abb. 5). Es sind dort neu ausgebaute Werkstätten, Laboratorien und Arbeitsräume bezogen worden, so daß erstmalig die Aktivitäten des SFB 313 zum größten Teil in einem Hause versammelt sind. Da dieses Gebäude auf dem Campus der Christian-Albrechts-Universität liegt, spielt es eine wichtige Rolle in der Verknüpfung der Arbeiten der Institute der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, des Institutes für Meereskunde, das in seinem modernen Gebäude an der Kieler Förde angesiedelt ist, und des GEOMAR Forschungszentrums, das auf dem Kieler Seefischmarkt an der Schwentinemündung aufgebaut wird. Nachdem die ersten Jahre des SFB's durch eine große räumliche Zersplitterung gekennzeichnet waren, wird die kommende Förderperiode als eine Phase intensiver Zusammenarbeit, die durch die räumliche Nähe begünstigt wird, gekennzeichnet sein.

Der SFB 313 schafft interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen biologischen, meeresgeologischen, maringeophysikalischen, kernphysikalischen, meereskundlichen und modellierenden Arbeitsrichtungen. Dadurch, daß der SFB sein Hauptarbeitsgebiet im Bereich des Europäischen Nordmeeres hat und dadurch, daß dieses Gebiet in der kommenden Antragsphase in den Nordatlantik hinein erweitert werden soll, hat sich über die vergangenen Jahre hinweg eine Tradition intensiver Zusammenarbeit mit ausländischen Forschungseinrichtungen ergeben. Dazu gehören vor allen anderen die skandinavischen Arbeitsgruppen der norwegischen Universitäten Oslo, Bergen und Tromsø, das Institute of Continental Shelf Studies in Trondheim, und ein enger Kontakt zu schwedischen, isländischen, dänischen und englischen Arbeitsgruppen. Skandinavische Forscherinnen und Forscher waren als Gäste des SFB in Kiel und haben an nahezu allen wichtigen Ausfahrten teilgenommen. Im Rahmen des ESF-Schwerpunktes PONAM sind diese Arbeiten auch in das europäische Konzert eingebunden. Daneben haben sich aus dem SFB 313 heraus und aus den Arbeitsgruppen der einzelnen Institutionen besonders intensive Beziehungen zu Forschungseinrichtungen in Frankreich, England, Kanada und den Vereinigten Staaten von Amerika gebildet, die dazu geführt haben, daß die Arbeiten des SFB zum Teil an ausländischen Institutionen durchgeführt worden sind und daß wir eine große Zahl ausländischer Gäste in Kiel begrüßt haben. Besonders intensiv waren diese Beziehungen zu ausländischen Einrichtungen während der Durchführung und Bearbeitung der wissenschaftlichen Ergebnisse im Anschluß an Leg 104 des Ozeanbohrprojektes (ODP), als an drei Lokalitäten auf dem Vøring-Plateau (einem der zentralen Arbeitsgebiete des SFB 313) Bohrungen abgeteuft wurden.

Der SFB 313 verändert in der kommenden Antragsphase seinen Namen, während der wissenschaftliche Ansatz im wesentlichen beibehalten wird. Das Europäische Nordmeer und der nördliche Nordatlantik spielen eine zentrale Rolle in der kurzfristigen Veränderlichkeit der Ozeanographie des gesamten Weltmeeres. Diese Veränderlichkeit hat einen großen Einfluß auf das Klima in Nordwesteuropa gehabt und wird es auch in Zukunft haben. Die Auswirkungen solcher Umweltveränderungen werden in den kommenden Jahren intensiv im Rahmen von GLOBAL CHANGE untersucht werden. Diesem Problem kann man sich anhand des Beispiels "nördlicherer Nordatlantik" sehr gut nähern, man kann diese Problematik aber nur durch die enge Zusammenarbeit einer interdisziplinären Forschergruppe vom Zuschnitt des SFB 313 aufgreifen. Diese Untersuchungen fordern die Bearbeitung außerordentlich komplexer Problemkreise, die effizient als ein koordiniertes, größeres meereskundliches Forschungsvorhaben nur von einer interdisziplinären Forschergruppe bearbeitet werden können, die sich im engen räumlichen Verbund an einem Ort aufhält. Die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel ist sich daher sicher, daß der SFB 313 auch in den kommenden Jahren einen wichtigen Beitrag zu diesem innovativen und zukunftsweisenden Forschungsthema leisten kann.

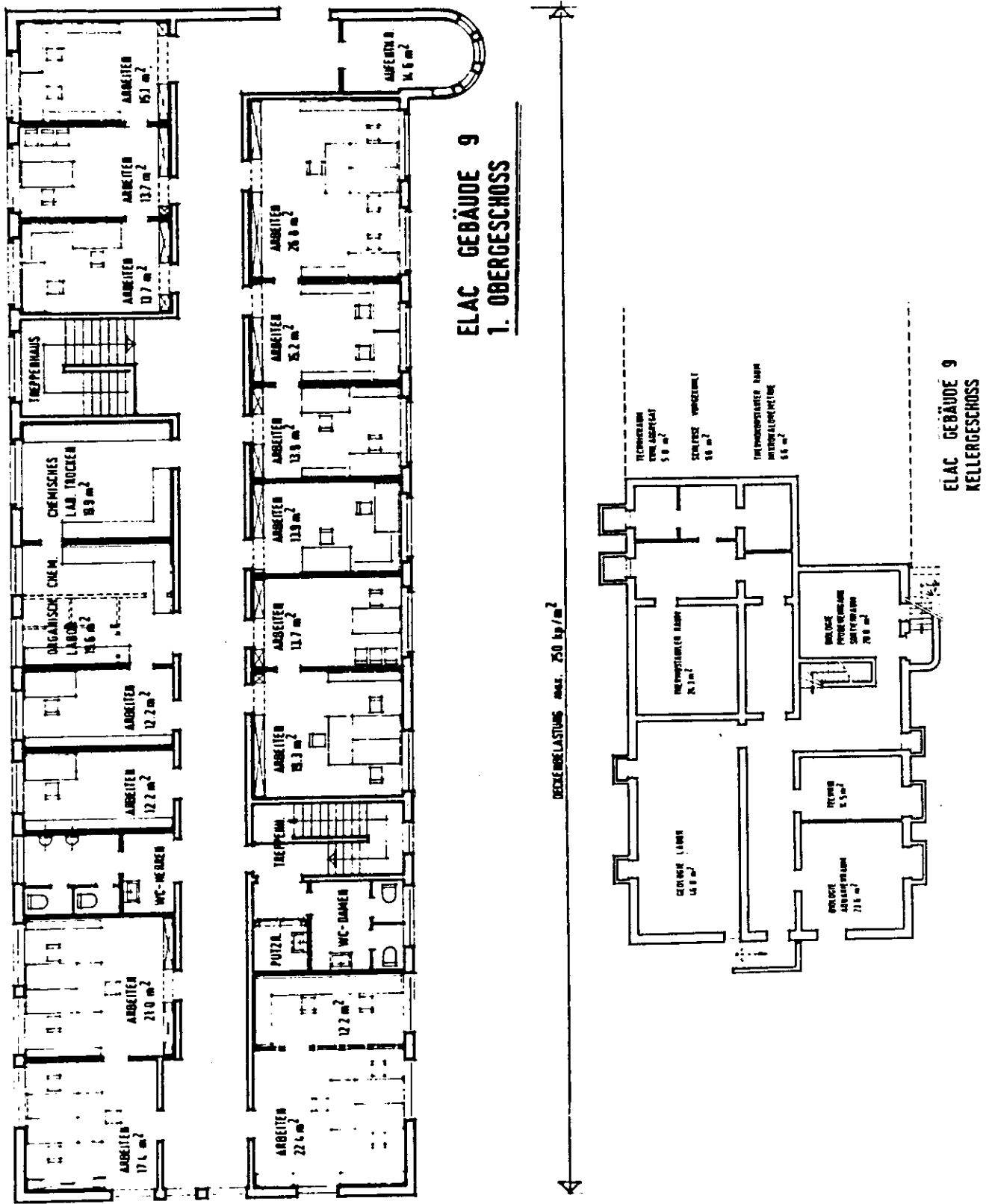


Abb. 5: Raumaufteilung des Gebäudes des SFB 313. Hier nur Kellergeschoß und 1. Obergeschoß. Das Gebäude hat 3 Geschosse, Nebengebäude und Lagerhalle sind zusätzlich vorhanden.

## 2.5 Verzeichnis der laufenden Dissertationen oder vergleichbarer Arbeiten auf dem Gebiet des Forschungsprogramms

### A1:

Antia, A.: Die Rolle des Mikrozooplanktons im Pelagial des Europäischen Nordmeeres

Koeve, W.: Neue Produktion und gelöster Stickstoff im Europäischen Nordmeer

Machado, E.: Aufnahme, Lösung und Sedimentation von biogenem Silikat im Europäischen Nordmeer

Mumm, N.: Zur sommerlichen Verteilung des Mesozooplanktons im Nansenbecken, Nordpolarmeer

Pilnay, C.: Biomarker in der Wassersäule und Sinkstoffallenmaterial mit Schwerpunkt auf Kalkschalern

Peeken, I.: Modifikation von Pigmenten im Nahrungsnetz

Voß, M.: Stabile Isotopen im partikulären Material der Wassersäule und in Sinkstoffen des Europäischen Nordmeeres

### A2:

Blaume, F.: Hochakkumulationsgebiete und Advektionsprozesse in der Termination I am Norwegischen Kontinentalhang

Goldschmidt, P.: Genese und paläo-ozeanographische Signifikanz glaziomariner Diamikte auf dem Schelf und in der Tiefsee (in weitem zeitlichem Rahmen)

Wagner, T.: Paläo-ozeanographische Signifikanz des Eintrags terrigener und mariner organischer Substanz in Glazialen und Interglazialen

Wieger, C.: Rekonstruktion von Bodenströmungsregimen mit Sinkgeschwindigkeitsverteilungen und Bilanzierung des vertikalen Partikelflusses

### A3:

Thomsen, L.: Biochemische Stoffumsätze in der bodennahen Nepheloidschicht

### A4:

Paetsch, H.: Geochemische und mineralogische Variationen in den Sedimenten des Europäischen Nordmeeres und ihre Datierung mit der <sup>230</sup>Th-Methode

B1:

Kaufhold, P.: Rekonstruktion strömungsgeprägter Paläomorphologie und oberflächennaher Sedimentstrukturen im Europäischen Nordmeer

B2:

Bauch, H.: Pelagische Foraminiferen als Anzeiger für spätglaziale Klimawechsel im Europäischen Nordmeer

Hahn, M.: Paläo-ozeanographische Gradienten und Zirkulationsmuster im Europäischen Nordmeer; Umschwünge und Sonderereignisse in den letzten 120.000 Jahren

Nees, S.: Die Benthosforaminiferengemeinschaft im Europäischen Nordmeer in ausgesuchten Interglazialen - ein Vergleich

Struck, U.: Paläo-Ökologie benthischer Foraminiferen im Europäischen Nordmeer während der letzten 500.000 Jahre

#### Literatur

- Balzer, W. (1990): Chemische Reaktionen und Transportprozesse in oberflächennahen Sedimenten borealer und polarer Meeresgebiete.- Habilitationsschrift, Universität Kiel: 312 pp.
- Baumann, K.H. (1990): Veränderlichkeit der Coccolithenflora des Europäischen Nordmeeres im Jungquartär.- Ber. Sonderforschungsber. 313 (in press).
- Bodungen, B.von (1989): Pelagische Primärproduktion und vertikaler Partikelfluß im Ozean. Methodische und konzeptionelle Aspekte.- Habilitationsschrift, Universität Kiel: 158 pp.
- Broecker, W.S. (1987): The biggest chill.- Natural. Hist. 10/87: 74-82.
- Broecker, W.S., G. Bond, M. Klas, G. Bonani and W. Wölfli (1990): A salt oscillator in the Glacial Northern Atlantic.- Paleoceanographie (in press).
- Crowley, T.-J. (1989): Paleoclimate perspectives on a greenhouse warming.- In: A. Berger et al., Climate and Geosciences, Kluwer Academic Publ., Dordrecht: 179-207.
- Dansgaard, W., J.W.C. White and S.J. Johnson (1989): The abrupt termination of the Younger Dryas climate event.- Nature 339: 532-534.
- Graf, G. (1989): Benthisch pelagische Kopplung aus benthischer Sicht.- Habilitationsschrift, Universität Kiel: 77 pp.
- Henrich, R., H. Kassens, E. Vogelsang und J. Thiede (1989): Sedimentary facies of glacial-interglacial cycles in the Norwegian Sea during the last 350 ka.- Mar. Geol., 86: 283-319.
- Kassens, H. (1990): Verfestigte Sedimentlagen und seismische Reflektoren: Frühdiagenese und Paläo-Ozeanographie in der Norwegischen See.- Diss. Math.-Naturw. Fak., Univ. Kiel: 120 pp.

- Koltermann, K.P. and H. Lüthje (1989): Hydrographischer Atlas der Grönland- und nördlichen Norwegischen See.- Dt. Hydro. Inst., Hamburg, 2328: 274 pp.
- Sakshaug, E. and O. Holm-Hansen (1984): Factors governing pelagic production in polar oceans.- In: O. Holm-Hansen, L. Bolis and R. Gilles (eds.): Marine phytoplankton and productivity.- Lect. Not. Coast. Estuar. Stud. 8 (Springer Verlag): 1-18.
- Thiede, J., S.A. Gerlach, A. Altenbach and R. Henrich (1988): Sedimentation im Europäischen Nordmeer - Organisation und Forschungsprogramm des Sonderforschungsbereiches 313 für den Zeitraum 1988-1990.- Ber. Sonderforschungsber. 313, Univers. Kiel, 8: 211 pp.
- Thiede, J., O. Eldholm and E. Taylor (1989): Variability of anozic Norwegian-Greenland Sea paleoceanography and northern hemisphere paleoclimate.- In: O. Eldholm, J. Thiede, E. Taylor et al.: Proc. ODP, Sci. Results, 104, College Station, TX (Ocean Drilling Program): 1067-1118.
- Vogelsang, E. (1990): Paläo-Ozeanographie des Europäischen Nordmeers anhand stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope.- Diss. Math-Naturw. Fakultät Univers. Kiel: 137 pp.

3. DARSTELLUNG DES PROGRAMMES NACH PROJEKTBEREICHEN UND  
TEILPROJEKTEN:  
Projektbereich A "Produktion und Sedimentbildung"

Der vertikale Partikelfluß aus den produktiven Oberflächenwassermassen und der laterale Transport aus den angrenzenden hochproduktiven Schelfgebieten sind die entscheidenden Prozesse, die zur Sedimentbildung in der Norwegischen See und Grönländischen See beitragen. Die Umverteilung durch Resuspension und bodennahen Partikeltransport sowie die biologischen und chemischen Umwandlungsprozesse in der bodennahen Nepheloidschicht (BNL = Bottom Nepheloid Layer) und im Sediment beeinflussen die quantitative und qualitative Zusammensetzung der Sedimente.

Die bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, daß die vertikale Zufuhr aus dem Pelagial am ungestörtesten in den zentraleren Teilen der Becken untersucht werden kann. In der nächsten Antragsphase soll darüber hinaus die laterale Zufuhr vom Schelf und vom Kontinentalhang in den Randzonen der Becken erfaßt werden. Besonders geeignet erscheinen hierfür topographisch bedingte Hochakkumulationsgebiete, in denen durch höhere stratigraphische Auflösung vertikale und laterale Quellen besser unterschieden werden können. In diesen Gebieten soll insbesondere die Auswirkung der Partikelresuspension und der Austritt von Porenwässern auf Prozesse und Bilanzen in der BNL untersucht werden.

Die übergeordneten Themen des Projektbereiches sind:

1. Der Einfluß der pelagischen Strukturen und Prozesse auf die Qualität und Quantität des vertikalen Exportes soll in Abhängigkeit von den deutlich unterschiedlichen physikalisch-chemischen Rahmenbedingungen in den beiden Seegebieten erfaßt werden (A1,A4).
2. Die laterale Partikelfracht und die Bildung von Hochakkumulationsgebieten soll unter Berücksichtigung des Einflusses der benthischen Organismen analysiert werden (A2,A3).
3. Die Stoffflüsse, Bilanzen und Modifikationen im Bereich der BNL sollen beschrieben werden und ihre Auswirkungen auf die benthischen Besiedlungsmuster erfaßt werden (A1,A2,A3,A4).
4. Im Sediment werden die Stoffumsätze, die Modifikation der organischen Substanz, die Rückflüsse in die BNL und letztlich die Akkumulationsraten untersucht (A2,A3,A4).

Im Projektbereich A wird damit angestrebt, ein möglichst vollständiges Bild der für die rezente Sedimentbildung relevanten Stoffflüsse zu erstellen. Die zu erwartenden Ergebnisse werden direkt in die paläo-ozeanographischen Befunde und Modelle des Projektbereiches B einfließen.

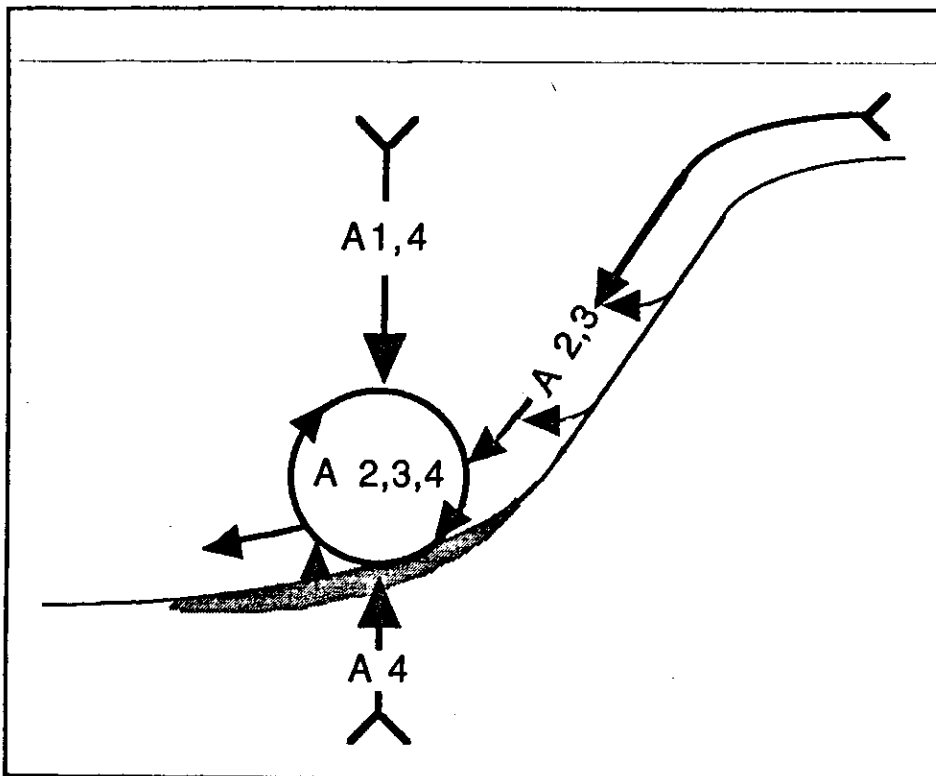


Abb. 6: Die Stellung der einzelnen Teilprojekte bei der Untersuchung des Stoffkreislaufes.



#### 4. TEILPROJEKT A1: Pelagische Prozesse und vertikaler Partikelfluß

4.11 Fachgebiet und Arbeitsrichtung: Biologische Meereskunde (Bestandsaufnahmen und Umsatzraten von Phyto-, Protozo- und Metazooplankton, pelagische Sedimentation), Biochemie (Pigmente, Lipide), Kernphysik (stabile Isotope)

#### 4.12 Leiter:

Priv.Do. Dr. Bodo v.Bodungen  
Institut für Meereskunde  
an der Universität Kiel  
Düsternbrooker Weg 20  
2300 Kiel 1  
Tel.: (0431) 880-1435

Prof. Dr. Bernt Zeitzschel  
Institut für Meereskunde  
an der Universität Kiel  
Düsternbrooker Weg 20  
2300 Kiel 1  
Tel.: (0431) 597-3860

#### 4.13 Personal Anfang 1991

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
------------------------------------	-----------------------------	---	-------------------------

#### Grundausrüstung: Wissenschaftler

1) Bodungen, B.v. Dr., Priv.Do., Oberass.	Planktologie IfM	20	7/85
2) Boje, R. Dr., Akad.Rat	Planktologie IfM	5	1/90
3) Duinker, J.C. Dr., Prof.	Meereschemie IfM	beratend	7/85
4) Erlenkeuser, H. Dr., wiss.Ang.	Kernphysik IfK	2	7/85
5) Hagen, W. Dr., Hochschul- ass.	Biol. Meereskunde IPÖ	10	12/89
6) Hempel, G. Dr., Prof.	Biol. Meereskunde IPÖ	beratend	12/89
7) Hubold, G. Dr., Hochschul- ass.	Biol. Meereskunde IPÖ	5	12/89
8) Kroebe, W. Dr., Prof.	Meeresmeß. IAP	beratend	7/85
9) Lenz, J. Dr., Prof.	Planktologie IfM	5	7/85
10) Machado, E. Dipl.Biol., Stipendiatin	Planktologie IfM	38,5	10/89
11) Peecken, I. Dipl.-Biol. Doktorandin	Planktologie IfM	38,5	1/90

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
12) Peinert R. Dr., Hochschul- ass.	Planktologie IfM	1992/93 20	7/85
13) Pflaumann, U. Dr., wiss. Ass.	Paläontologie GPI	beratend	7/85
14) Samtleben, C. Dr., wiss. Ang.	Paläontologie GPI	beratend	7/85
15) Schäfer, P. Dr., Prof.	Paläontologie GPI	beratend	2/89
16) Schulz, D. Dr., Hochschul- ass.	Meereschemie IfM	beratend	1/91
17) Suess, E. Dr., Prof.	Umwelt-Geol. GEOMAR	beratend	2/89
18) Thiede, J. Dr., Prof.	Paläo-Ozeanolog. GEOMAR	beratend	7/85
19) Willkomm, H. Dr., Prof.	Kernphysik IfK	2	7/85
20) Zeitzschel, B. Dr., Prof.	Planktologie IfM	5	7/85

Grundausstattung: nichtwiss. Mitarbeiter

21) Cordt, H. Laborant	IfK	5	7/85
22) Fritsche, P. techn. Ang.	IfM	5	7/85
23) Janssen, G. techn. Ang.	IPÖ	5	1/91
24) Junghans, U. techn. Ang.	IfM	5	1/87
25) Rapp, F.-P. techn. Ang.	IPÖ	5	1/91
26) Vogel, H. Büroangest.	IfM	5	1/88
27) Werner, R. techn. Ang.	IfM	5	1/88

Ergänzungsausstattung: Wissenschaftler

28) Bauerfeind, E. Dr., wiss. Ang.	Planktologie IfM	38,5	4/89
29) Thomsen, C. Dipl. Biol. Doktorandin	Planktologie IfM	19,25	6/89
31) Voß, M. Dipl. Biol. Doktorandin	Planktologie IfM	19,25	1/88

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
------------------------------------	-----------------------------	---	-------------------------

Ergänzungsausstattung: nichtwiss. Mitarbeiter

32) Wunsch, M. techn. Ang.	Planktologie SFB 313	38,5	1/88
-------------------------------	-------------------------	------	------

#### 4.2 Zusammenfassung

Im Teilprojekt A1 werden die Untersuchungen zur Beziehung zwischen pelagischen Prozessen und dem vertikalen Partikelfluß im nördlichen Nordatlantik weitergeführt. Der regionale Schwerpunkt in der Norwegischen See soll in das tiefe Becken verlagert werden; ein neuer Schwerpunkt soll in der östlichen Grönlandsee eingerichtet werden. In beiden Regionen wird die Aufnahme der Jahressedimentation mit verankerten Fallen in drei Tiefenhorizonten über mehrere Jahre fortgeführt. In der Nähe der Verankerungspositionen werden mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung saisonale Untersuchungen zu Zusammensetzung und Umsatzraten der pelagischen Gemeinschaften - bei gleichzeitigem Einsatz von treibenden Fallen - durchgeführt.

Ausgehend von den Ergebnissen während der letzten Antragsphase werden bewährte konzeptuelle und methodische Ansätze weiterverfolgt und um neue Ansätze erweitert. Zur Charakterisierung der pelagischen Gemeinschaften soll zusätzlich das Makrozooplankton und Mikronekton untersucht werden, das den Partikelfluß entscheidend beeinflussen kann. Eine aussagekräftigere Untersuchung der Prozesse von der Entstehung der partikulären organischen Substanz bis zum Erreichen der Sedimentoberfläche soll durch erweiterte Messungen der Isotopenverhältnisse, durch detailliertere Analysen spezifischer Photopigmente und ihrer Derivate sowie durch neue Untersuchungen zum Gehalt an Lipiden und verschiedenen Lipidklassen in Organismen und sedimentierter Materie gewährleistet werden. Aus regionalen und saisonalen Datensätzen sollen mit Hilfe internationaler Gruppen Modellansätze über die biologisch bewirkten Stoffkreisläufe und -flüsse entwickelt werden.

Mit diesem Ansatz soll zu einem besseren Verständnis der Beziehungen zwischen Umwelt und biologischen Prozessen und deren Überlieferung im Sediment beigetragen werden.

#### 4.3 Stand der Forschung

Mit dem Begriff der "biologischen Pumpe" im Ozean wird die Reduktion von CO<sub>2</sub> durch autotrophe Organismen, der Abbau der durch diesen Prozeß primär produzierten organischen Substanz

und schließlich der Export von reduziertem Kohlenstoff zum Meeresboden beschrieben. Neben dem Export von organischem Kohlenstoff werden durch diese Pumpe auch andere Komponenten, wie Karbonat und biogenes Silizium (Opal), zum Meeresboden transportiert, wo ein Teil durch Vergrabung im Sediment für lange Zeiträume dem pelagischen Kreislauf entzogen wird (Berger et al. 1989). Im Zusammenhang mit dem Austausch von  $\text{CO}_2$  zwischen Atmosphäre und Ozean, dem ein bedeutender Einfluß auf die Entwicklung des Klimas eingeräumt wird, sind auch Untersuchungen zum besseren Verständnis und zur Quantifizierung der biologischen Pumpe in den Mittelpunkt zahlreicher nationaler und internationaler Forschungsvorhaben gerückt, wie zum Beispiel im JGOFS-Programm (Joint Global Ocean Flux Studies).

Generell ist die Höhe des partikulären Exportes abhängig von der pelagischen Primärproduktion. Entscheidend für den Export jedoch ist die neue Produktion, die, bezogen auf die euphotische Zone aus allochthonen Nährsalzquellen versorgt wird. Demgegenüber basiert die regenerierte Produktion auf der Rezirkulierung der Nährsalze durch die heterotrophen Organismen innerhalb der euphotischen Zone. Physikalische Prozesse, wie vertikale Durchmischung, Auftrieb und turbulente Diffusion in unterschiedlichsten Zeit- und Raumskalen, stellen den quantitativ weitaus wichtigsten Mechanismus zur Versorgung der euphotischen Zone mit allochthonen Nährsalzen dar (Eppley 1989).

Quantitative Vorstellungen zur neuen Produktion aus direkten Messungen sind für weite Bereiche des Ozeans rar, ebenso wie über das f-Verhältnis (dem Anteil der neuen an der gesamten Produktion, Goldman 1988). Berechnungen der neuen Produktion aus der saisonalen und regionalen Verteilung von Nährsalzen und Sauerstoff und über Zirkulationsmodelle bedeuten explizit eine großräumige Bestimmung über Zeitskalen im Bereich von Monaten bis Jahren. Sie haben zu erheblich höheren Werten der neuen Produktion als denjenigen geführt, die aus der Gesamtproduktion und dem f-Verhältnis über direkte kleinskalige Messungen ermittelt wurden.

Grundsätzliche Diskrepanzen konnten nach einer kritischen Evaluation beider Ansätze ausgeräumt werden (Platt et al. 1989; v. Bodungen 1989). Die Versorgung mit neuen Nährsalzen erfolgt über weite Regionen des Ozeanes und über weite Teile des Jahres mehr unregelmäßig als kontinuierlich, so daß die neue Produktion aus den wenigen direkten Messungen bei weitem unterschätzt wurde. Das f-Verhältnis muß daher erheblich nach oben revidiert werden (Goldman 1988; Platt et al. 1989).

Die neue Produktion wird in der Regel dem Partikelexport gleichgesetzt, wobei letzterer durch den vertikalen Import von Nährsalzen kompensiert wird (Eppley 1989). Diesem Konzept folgend sind die einer erhöhten neuen Produktion entsprechenden vertikalen Partikel Flüsse bisher nicht gemessen worden (Brewer et al. 1986). In diesem Konzept wurde die gelöste organische Materie nicht berücksichtigt, deren Export aus den Oberflächenschichten und deren Abbau in größeren Wassertiefen nach neuesten Untersuchungen jedoch erheblich sind (Sugimura und Suzuki 1988).

Darüber hinaus wurde bisher bei diesen Betrachtungen nicht zwischen schnell sinkenden und suspendierten Partikel unterschieden. Erstere sinken im Bereich von Tagen bis Monaten bis zum Meeresboden und werden überwiegend bei den direkten Messungen mit Sinkstofffallen gesammelt, letztere haben eine Verweildauer von mehreren Jahren in der Wassersäule.

Hieraus läßt sich für die Exportkomponenten ein vereinfachtes Szenarium ableiten. Die schnell sinkenden Partikel gelangen bei relativ geringem Abbau schnell zum Boden und werden dort weiter abgebaut oder vergraben (Cho und Azam 1988). In mittleren und tieferen Wasserschichten überwiegt dagegen der Abbau der suspendierten Partikel und der gelösten organischen Materie (Suess 1988). Aus den Sauerstoff- und Nährstoffbilanzen sowie aus Zirkulationsmodellen läßt sich daher zwar die neue Produktion abschätzen, der vertikale Partikelexport zum Boden wurde jedoch erheblich überschätzt (v.Bodungen 1989).

Während durch die physiko-chemischen Rahmenbedingungen die Höhe des Gesamtexportes aus der euphotischen Zone festgelegt ist, bestimmt die jeweilige Systemstruktur im Pelagial den Charakter des Exportes (Peinert et al. 1989). Die regionalen und saisonalen Unterschiede in der Abundanz, in der Größen- und Tiefenverteilung von Primärproduzenten und Konsumenten sowie Unterschiede in der Anzahl oder Dominanz einzelner Trophieebenen bestimmen den Umfang und die Zusammensetzung des Exportes von partikulärer und gelöster Substanz (Michaels und Silver 1988).

Saisonal wandernde oder an der Oberfläche überwinterte Zooplankter können durch ihre Fraßaktivitäten, trotz ihrer potentiell schnell sinkenden Kotballen, während Phasen neuer Produktion zu einer erheblichen Rezirkulation beitragen (Bathmann et al. 1990). Sporadisch auftauchendes, schwarmbildendes Makrozooplankton kann hohe Partikelverluste auch während Phasen überwiegend regenerierter Produktion verursachen (Michaels und Silver 1988). Tägliche Vertikalwanderungen von Organismen, die in der euphotischen Zone Partikel fressen und Kotballen sowie gelöste Substanzen in größeren Wassertiefen ausscheiden, beeinflussen ebenso wie die bathypelagischen Organismen Menge und Zusammensetzung des Exportes (Longhurst und Harrison 1988).

Da Export und Rezirkulation gleichzeitig in allen trophischen Ebenen des pelagischen Systems auftreten, können sie weder mit der neuen noch mit der regenerierten Produktion spezifisch assoziiert werden. Dieses gilt auch für die Zusammensetzung des Exportes. Daher kann zur Zeit weder quantitativ noch qualitativ von einer allgemein gültigen Beziehung zwischen Primärproduktion und Partikelexport ausgegangen werden (Legendre und Gosselin 1989).

Die bisher umfassendsten Kenntnisse über Menge und Zusammensetzung des Partikelexportes stammen daher aus Langzeituntersuchungen mit Sinkstofffallen (Wefer 1989). Diese Untersuchungen lassen auch Rückschlüsse über die biologische Steuerung des Partikelflusses zu. Die Partikel sinken häufig in Form von sehr fragilen Aggregaten durch die Wassersäule und sind als solche in den Fallen nicht mehr erkennbar (Alldredge und Silver 1988).

Daher wird zunehmend der Weg der Partikel von der Primärproduktion bis zum Meeresboden über die Messungen stabiler Isotope, Radioisotope und spezifischer Biomoleküle (z.B. Pigmente, Lipide) verfolgt. Letztere stellen auch das Ausgangsmaterial für im Sediment überlieferte Biomarker dar (Bruland et al 1989).

Der nördliche Atlantik stellt ein ideales Untersuchungsgebiet dar, die biologische Steuerung des Partikelflusses zu untersuchen. Bei etwa gleichen winterlichen Nährsalzkonzentrationen unterscheiden sich die Norwegische See und die Grönland See erheblich in ihren physikalischen Rahmenbedingungen, wie Eisbedeckung und vertikaler Durchmischung, und auch in der Zusammensetzung der Primärproduzenten und Konsumenten.

#### Literatur

- Allredge, A.L. and M.W. Silver (1988): Characteristics, dynamics and significance of marine snow. *Prog. Oceanogr.*, 20: 41-82.
- Bathmann, U.V., T.T. Noji and B. von Bodungen (1990): Copepod grazing potential in late winter in the Norwegian Sea - a factor in the control of spring phytoplankton growth? *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 60: 225-233.
- Berger, W.H., V.S. Smetacek and G. Wefer (1989): Ocean productivity and paleoproductivity- an overview. In: W.H. Berger, V.S. Smetacek and G. Wefer (eds): *Productivity of the ocean: present and past*. Dahlem Konferenzen, J.Wiley and Sons: 1-34.
- Bodungen, B.von (1989): Pelagische Primärproduktion und vertikaler Partikelfluß im Ozean - Methodische und konzeptuelle Aspekte. *Habilitationsschrift*, Universität Kiel: 156 pp.
- Brewer, P.G., K.W. Bruland, R.W. Eppley and J.J. McCarthy (1986): The global ocean flux study (GOFS). *EOS*, 67: 827-832.
- Bruland, K.W. and 9 others (1989): Flux to the seafloor. In: W.H. Berger, V.S. Smetacek and G. Wefer (eds): *Productivity of the ocean: present and past*. Dahlem Konferenzen, J.Wiley and Sons: 193-215.
- Cho, B.C. and F. Azam (1988): Major role of bacteria in biogeochemical fluxes in the ocean's interior. *Nature*, 332: 441-443.
- Eppley, R.W. (1989): New production: history, methods, problems. In: W.H. Berger, V.S. Smetacek and G. Wefer (eds): *Productivity of the ocean: present and past*. Dahlem Konferenzen, J.Wiley and Sons: 85-97.
- Goldman, J.C. (1988): Spatial and temporal discontinuities of biological processes in pelagic surface waters. In: B.J. Rothschild (ed): *Toward a theory on biological-physical interactions in the world ocean*. Kluwer Academic Publishers: 273-296.
- Legendre, L. and M. Gosselin (1989): New production and export of organic matter to the deep ocean: consequences of some recent discoveries. *Limnol. Oceanogr.*, 34: 1374-1380.
- Longhurst, A.R. and G.W. Harrison (1988): Vertical nitrogen flux from the euphotic zone by diel migrant zooplankton and nekton. *Deep-Sea Res.*, 35: 881-889.

- Michaels, A.F. and M.W. Silver (1988): Primary production, sinking fluxes and the microbial food web. *Deep-Sea Res.*, 35: 473-490.
- Peinert, R., B. von Bodungen and V.S. Smetacek (1989): Food web structure and loss rate. In: W.H. Berger, V.S. Smetacek and G. Wefer (eds): *Productivity of the ocean: present and past*. Dahlem Konferenzen, J.Wiley and Sons: 35-48.
- Platt, T., W.G. Harrison, M.R. Lewis, W.K.W. Li, S. Sathyendranath, R.E. Smith and A.F. Vezina (1989): Biological production of the oceans: the case for a consensus. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 52: 77-88.
- Suess, E. (1988): Effects of microbe activity. *Nature* 333: 17-18
- Sugimura, Y. and Y. Suzuki (1988): A high temperature catalytic oxydation method of non-volatile dissolved organic carbon in seawater by direct injection of liquid sample. *Mar. Chem.*, 24: 105-131.
- Wefer, G. (1989): Particle flux in the ocean: effects of episodic production. In: W.H. Berger, V.S. Smetacek and G. Wefer (eds): *Productivity of the ocean: present and past*. Dahlem Konferenzen, J.Wiley and Sons: 139-153.

#### 4.4 Eigene Vorarbeiten

Die ersten Untersuchungen in der Norwegischen See ergaben, daß die erwartete Frühjahrsblüte kontrolliert wurde von aus ihren Überwinterungstiefen aufsteigenden Copepoden. Während dieser Phase traten nur geringe Partikelverluste auf, trotz der potentiell hohen Sinkgeschwindigkeit der Copepodenkotballen von ca. 100m/Tag (Peinert et al. 1987). Die Aufnahmen des Partikelflusses im Norwegenbecken und auf dem Vøring-Plateau über mehrere Jahre zeigten das Maximum des Partikelflusses im Spätsommer an, nachdem die Copepoden in tieferes Wasser abgewandert waren (Bathmann et al. 1990a, Honjo et al. 1988).

Untersuchungen zu diesem Phänomen zeigten, daß die Copepoden in 500-700m Wassertiefe überwintern. Ein kleiner Teil bleibt jedoch im Oberflächenwasser zurück. In Experimenten reagierte dieser mit gesteigerter Freßaktivität auf ein steigendes Futterangebot. Bei einer zeitlichen Verschiebung zwischen dem Beginn des Frühjahrswachstums und dem Aufstieg der Copepoden kann diese Oberflächenpopulation die schnelle Akkumulation von Phytobiomasse sowie deren frühe Sedimentation verhindern (Bathmann et al. 1990b; Noji 1989).

Die Membran der Kotballen wird stark von Bakterien besiedelt, deren Zahl jedoch später wieder abnimmt, weshalb die Kotballen erst nach 20 bis 30 Tagen zerfallen (Wille 1988). In dieser Zeit sollten die Kotballen, deren Sinkgeschwindigkeit in starkem Maße von der Nahrung der Copepoden abhängt, die euphotische Zone ohne substantiellen Abbau in derselben verlassen haben (Voß 1988; Voß subm.). Hiervon abweichende Beobachtungen im Feld wurden auf Coprophagie - dem Fressen der Kotballen durch die Copepoden - zurückgeführt (Peinert 1988). In Experimenten wurde ein anderer, bis dahin nicht beschriebener Mechanismus entdeckt. Die Copepoden ingestierten die Membran mit den anfänglich hohen

Bakterienzahlen, wodurch die Kotballen in kleine Bestandteile zerfallen (Coprorhexie). Deren Sinkgeschwindigkeit ist dadurch erheblich reduziert (Lampitt et al. 1990, Noji et al. subm.).

Diese Experimente bestätigten die Feldbeobachtungen, wonach die Kotballen erst sedimentieren, wenn die Abundanzen der Copepoden durch deren saisonale Wanderung verringert sind. Durch Messungen von Radiocaesium in dieser Zeit konnte gezeigt werden, daß die Kotballen dann etwa 60 bis 100m am Tag absinken (Baumann et al. 1989). Die Ergebnisse vom Vøring-Plateau verdeutlichen die unterschiedliche Bedeutung von saisonal wandernden Zooplanktern für die Partikelsedimentation gegenüber in Schwärmen auftretenden Salpen oder Krill (Peinert et al. 1989; Wassmann et al. subm.).

In den Monaten August bis Oktober treten Pteropoden der Art *Limacina retroversa* auf. Feldbeobachtungen im August 1988 zeigten, daß die Schalen der Pteropoden in 2 Wochen von <0,5 auf >1.0mm anwachsen. Dabei wurde eine hohe Mortalität bei den kleineren Formen beobachtet, die mit ca. 100m/Tag aus der Wassersäule sanken. Im Feld und in Experimenten wurde beobachtet, daß die schleimigen Velen der Pteropoden große Aggregate bilden, die wahrscheinlich ein wichtiges Transportvehikel für den vertikalen Fluß organischer Materie darstellen. In Fallen unterhalb von 500m Wassertiefe wurden kompakte, ovale Kotballen gefunden, die wahrscheinlich von dem Ostracoden, *Conchoecia obtusata*, stammen (Noji 1989).

Auffällig war während dieser Jahreszeit die fast vollständige Abwesenheit von Ciliaten, der sonst dominierenden Gruppe des Protozooplanktons bis in den November. Die HPLC-Analysen zeigten einen hohen Anteil von kleinen Chlorophyten, Coccolithophoriden und Picocyanobakterien an der Phytoplanktonbiomasse, Organismen, die eine ideale Nahrung für Ciliaten darstellen. Das Fehlen der Ciliaten könnte auf die sehr schleimigen Velen der Pteropoden zurückzuführen sein (Bathmann et al. subm.).

Der jährliche Partikelfluß in der Norwegischen See besteht zu >50% aus Karbonat, zu etwa 15% aus organischem Kohlenstoff und zu <10% aus Opal (Bathmann et al. 1990a). Der Kohlenstofffluß schwankte dabei zwischen 1,7 und 3,1 g m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>. Dieses könnte in jährlichen Variationen der Nährsalzzufuhr und/oder einer unterschiedlichen Regenerationseffizienz im Pelagial begründet sein (v.Bodungen 1989). Menge und Zusammensetzung der Sinkstoffe, über mehrere Jahre registriert, können über die individuelle oder kombinierte Wirkung solcher Variabilitäten Auskunft geben (Williams, v.Bodungen et al. 1989). Zur Zeit wird geprüft, ob die stabilen Isotope <sup>13</sup>C und <sup>15</sup>N in den Sinkstoffproben zur Klärung beitragen können.

Um aus den saisonalen Profilen der Nährsalze und des Sauerstoffes die jährliche neue Produktion und den Partikelfluß zu berechnen, wurden in Tanks Aufbau und Abbau von partikulärer organischer Substanz untersucht. Hierbei zeigte sich, wie schon bei Arbeiten in der Antarktis, daß die Abnahme und die Freisetzung von Nährsalzen in keinem festen Verhältnis zu Aufbau oder Abbau der



partikulären Substanz standen. Offensichtlich geht die gelöste organische Materie in diese Prozesse mit ein (v.Bodungen et al. 1988; Gloe 1988).

Bei Voruntersuchungen im Juni 1989 in der Grönland See wurde in einer Pilotverankerung ein deutlicher Sedimentationspuls von Diatomeen und Radiolarien im Mai registriert. Während der Meßphase wurden in den treibenden Fallen dagegen Foraminiferen, Tintinnen und Kotballen von Copepoden gefangen (v.Bodungen et al. 1990). Die Masse der Foraminiferen hielt sich zwischen 100 und 200m Tiefe auf. Diese Verteilung und die Sedimentationsraten wurden durch saisonales Reproduktionsverhalten bedingt (Bock 1990). Bei derartigen Untersuchungen kann in Zukunft die Biomasse der Foraminiferen durch die Messung der Aminosäuren aus Hydrolysaten bestimmt werden. Diese Methode wurde erfolgreich bei Untersuchungen im Nordost-Atlantik eingesetzt (Pilnay 1989; Pilnay et al. 1989).

Die Freßraten der Copepoden wurden über die Magenfluoreszenz bestimmt. Die Freßraten waren ähnlich denen, die bei anderen Untersuchungen in der Grönlandsee und in der Framstraße gefunden wurden (Diel und Buma 1987; Diel 1989; Knickmeyer 1989). Die Untersuchungen zeigten, daß die Rolle der Herbivoren zu Beginn der Wachstumsperiode in der Grönlandsee von geringerer Bedeutung als in der Norwegischen See ist (Zeller 1990). Die Artenzusammensetzung des Mesozooplanktons in der westlichen Grönlandsee zeigt deutliche Unterschiede zu der im Norwegenbecken, in der östlichen Grönlandsee und im Nansenbecken (Mumm 1990).

Die ersten Ergebnisse in der Grönlandsee zeigen, daß kurz nach dem Wachstumsbeginn ein großer Anteil der Primärproduktion absinkt. Etwa 50% des Opals der Diatomeen gehen dabei in Lösung (Puch 1990). Die stark ausgeprägte Saisonalität im Nahrungsangebot wird von den Copepoden mit der starken Anreicherung von Lipiden kompensiert (Hargrave et al. 1989), wie dieses in der Antarktis ebenfalls festgestellt wurde (Hagen 1988; Hagen und Van Vleet 1988,1989). Es ist daher anzunehmen, daß das Zooplankton der Grönlandsee einen anderen Einfluß auf die chemische Zusammensetzung der Sinkstoffe hat als in der Norwegischen See.

Im Protozooplankton dominierten Dinoflagellaten, Choanoflagellaten und Tintinnen (Arndt 1990). Diese Zusammensetzung und Mini-kotballen zeigten große Ähnlichkeit mit denen im antarktischen Sommer in der Weddell See (Nöthig und v.Bodungen 1989). Die Pigmentanalysen ergaben, daß neben Diatomeen und *Phaeocystis pouchetii* auch Cryptophyten und kleine Dinophyten erheblich zur Biomasse beitragen, während Picocyanobakterien, wie in der Framstraße, nicht vorkommen (Gradinger 1990; Gradinger und Lenz 1989). Im Material der Treibfallen konnten Pigmente von *Phaeocystis* und ein bisher nicht identifiziertes Carotenoid wiedergefunden werden. Die mikroskopische Erfassung der Diatomeen in den Sinkstoffen stellte sich als schwierig heraus, da diese zum Teil sehr schnell in Lösung gehen (Passow 1989; Puch 1990). Hierbei können jedoch Pigmentanalysen sehr hilfreich sein.

Der Einsatz von Treibnetzen und Kurzzeitverankerungen hat sich bewährt. Pelagische Messungen und der Partikelfluß bis in große Wassertiefen lassen sich dadurch direkt in Beziehung setzen. Für Massenbilanzen, wo in der Regel für eine Meßphase "steady state"-Annahmen gemacht werden, hat sich dabei herausgestellt, daß häufig im Tages- bis Wochenbereich kein steady state vorliegt (v. Bodungen 1989). Hierzu müssen die Messungen aus den Jahresverankerungen miteinbezogen werden.

Im Rahmen des internationalen JGOFS-Programmes wurde an der Standardisierung der Methoden intensiv mitgearbeitet (Zeitzschel 1989; Peinert 1989). Die im SFB 313 entwickelten Ansätze haben dabei starken Niederschlag in den Planungen des JGOFS-Programmes gefunden.

#### Literatur

- Arndt, K. (1990): Verbreitung, Produktion und Sedimentation von Diatomeen in der Grönland See. Diplom-Arbeit, Universität Kiel.
- Bathmann, U.V., R. Peinert, T.T. Noji and B. von Bodungen (1990a) (in press): Pelagic origin and fate of sedimenting particles in the Norwegian Sea. Prog. Oceanogr.
- Bathmann, U.V., T.T. Noji and B. von Bodungen (1990b): Copepod grazing potential in late winter in the Norwegian Sea - a factor in the control of spring phytoplankton growth? Mar. Ecol. Prog. Ser., 60: 225-233.
- Bathmann, U.V., T.T. Noji and B. von Bodungen : Sedimentation of pteropods in the Norwegian Sea in autumn. Deep-Sea Res (subm.).
- Baumann, M., M.S. Egl, G. Wefer and B. von Bodungen (1989): Chernobyl derived radiocaesium in the Norwegian Sea: flux between water column and sediment. In: W. Feldt (ed): The radioecology of natural and artificial radionuclides. Verlag TÜV Rheinland: 318-323.
- Bock, I. (1990): Bestand und Sedimentation von planktischen Foraminiferen im Europäischen Nordmeer. Diplom-Arbeit, Universität Kiel: 73 pp.
- Bodungen, B.von (1989): Pelagische Primärproduktion und vertikaler Partikelfluß im Ozean - Methodische und konzeptuelle Aspekte. Habilitationsschrift, Universität Kiel: 156 pp
- Bodungen, B.von, E.-M. Nöthig and Q. Sui (1988): New production of phytoplankton and sedimentation during summer 1985 in the south eastern Weddell Sea. Comp. Biochem. Physiol., 90B: 475-487
- Bodungen, B.von, E. Bauerfeind, W. Koeve and B. Zeitzschel (1990): Plankton development and vertical particle flux in June/July 1989 in the south-western Greenland Sea, METEOR 10/3. EOS, 71: 65 pp.
- Diel, S. (1989): Zur Lebensgeschichte dominanter Copepodenarten in der Framstraße. Dissertation, Universität Kiel: 140 pp.

- Diel, S. and A.G.J. Buma (1987): Zooplankton and phytoplankton relationships on the east Greenland shelf in July and August 1985. ICES-Symp., 33: 20-69.
- Gloe, T. (1988): Reaktionen natürliche Phytoplanktonpopulationen auf Licht- und Nährsalzveränderungen in Tankexperimenten. Diplom-Arbeit, Universität Kiel: 106 pp.
- Gradinger, R. (1990): Zur Bedeutung des Pico-Nanoplanktons in polaren Regionen am Beispiel der Grönländischen See. Dissertation, Universität Kiel: 168 pp.
- Gradinger, R. and J. Lenz (1989): Picocyanobacteria in the high Arctic. Mar. Ecol. Prog. Ser., 52: 99-101.
- Hagen, W. (1988): Zur Bedeutung der Lipide im antarktischen Zooplankton. Ber.Polarforsch. 49: 149 pp.
- Hagen, W. and E.S. Van Vleet (1988): Lipid biochemistry of three Antarctic euphausiids: ontogenetic and seasonal aspects. AGU-Abstract.
- Hagen, W. and E.S. Van Vleet (1989): Lipid biochemistry of Antarctic zooplankton: overwintering strategies and trophic relationships. Antarctic Journal US 1988 Rev. Iss., 23: 133-134.
- Hargrave, B.T., B. von Bodungen, R.J. Conover, A.J. Fraser, G. Phillips, W.P. Wass (1989): Seasonal changes in sedimentation of particulate matter and lipid content of zooplankton collected by sediment trap in the Arctic Ocean off Axel Heiberg Island. Polar Biol., 9: 467-475.
- Honjo, S., S.J. Manganini and G. Wefer (1988): Annual particle flux and a winteroutburst of sedimentation in the Northern Norwegian Sea. Deep-Sea Res., 35: 1223-1234.
- Knickmeyer, K. (1989): Bestimmung der Freßrate arktischer Copepoden mittels der Magenfluoreszenz-Methode. Diplom-Arbeit, Universität Kiel: 82 pp.
- Lampitt, R.S., T. Noji and B. von Bodungen (1990): What happens to zooplankton faecal pellets? Implications for material flux. Mar. Biol., 104: 15-23.
- Mumm, N., (1990, in Vorbereitung): Untersuchung zur Verteilung von Mesozooplanktongemeinschaften im Nansenbecken (81-86N), Biomassebestimmung und Reproduktion. Dissertation, Universität Kiel.
- Nöthig, E.-M. and B. von Bodungen (1989): Occurrence and vertical flux of faecal pellets of probably protozoan origin in the southeastern Weddell Sea (Antarctica). Mar. Ecol. Prog. Ser., 56: 281-289.
- Noji, T. (1989): The influence of zooplankton on sedimentation in the Norwegian Sea. Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ.Kiel, 17: 183 pp.
- Noji, T.T., K. Estep, F. MacIntyre and F. Norrbin: Evidence from image-analysis for the fragmentation of fecal pellets (coprorhexy) by copepods and its ecological implications. Mar. Ecol. Prog. Ser. (subm.).
- Passow, U. (1990): Vertikalverteilung und Sedimentation von Phytoplanktonarten in der mittleren Ostsee während des Frühjahres 1986. Ber. Inst. Meereskunde, Univ.Kiel, 192: 203
- Peinert, R. (1988): Seasonality of planktonic development and sedimentation. In: P. Wassmann and A.S. Heiskanen (eds): Sediment trap studies in the nordic countries, 1: 65-77.

- Peinert, R. (1989): Preliminary results of preservative investigations. Sediment trap technology and sampling. U.S. GOFS, 10: 73-74.
- Peinert, R., U. Bathmann, B. von Bodungen and T. Noji (1987): The impact of grazing on spring growth and sedimentation in the Norwegian current. In: E.T. Degens, E. Izdar and S. Honjo (eds): Particle flux in the ocean. SCOPE/UNEP, Sonderband, 62: 149-164.
- Peinert, R., B. von Bodungen and V.S. Smetacek (1989): Food web structure and loss rate. In: W.H. Berger, V.S. Smetacek and G. Wefer (eds): Productivity of the ocean: present and past. Dahlem Konferenzen. J.Wiley&Sons: 35-48.
- Pilnay, C. (1989): Biomasse und vertikale Verteilung von planktischen Foraminiferen im Nordostatlantik. Diplom-Arbeit, Universität Kiel: 57 pp.
- Pilnay, C., L. Thomsen und A. Altenbach (1989): Methodische Ansätze zur Biomassebestimmung mittels biochemischer Parameter und der computergesteuerten Bildanalyse. Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ.Kiel, 19: 155 pp.
- Puch, M. (1990): Zum Silikathaushalt des Pelagials im Europäischen Nordmeer. Diplom-Arbeit, Universität Kiel: 75 pp.
- Voß, M. (1988): Untersuchungen zum Inhalt von Kotballen neritischer und ozeanischer Copepoden. Diplom-Arbeit, Universität Kiel: 77 pp.
- Voß, M. : Content of copepod faecal pellets in relation to food supply in Kiel Bight and effects on sedimentation rates.- Mar. Ecol. Prog. Ser. (subm.).
- Wassmann, P., R. Peinert and V.S. Smetacek Patterns of production and sedimentation in the boreal and north east Atlantic. Polar Research (subm.).
- Williams, P.J.LeB., B. von Bodungen (rapporteurs) and 10 others (1989): Group report: Export productivity from the photic zone. In: W.H. Berger, V.S. Smetacek and G. Wefer (eds): Productivity of the ocean: present and past. Dahlem Konferenzen. J.Wiley&Sons: 99-115.
- Wille, S. (1988): Experimente zum Abbau von Copepoden-Kotballen. Diplom-Arbeit, Universität Kiel: 57 pp.
- Zeitzschel, B. (1989): Der Kohlenstoffkreislauf. 2. Die marine Komponente. AGF-Dokumentation, 6: 25-27.
- Zeller, U. (1990): Untersuchung zum Vorkommen und zur Nahrungsökologie von Copepoden in der Grönland See. Diplom-Arbeit, Universität Kiel: 73 pp.

#### 4.5 Ziele, Methoden, Arbeitsprogramm und Zeitplan

Das übergeordnete Ziel der Untersuchungen im Teilprojekt ist die qualitative und quantitative Beschreibung pelagischer Gemeinschaften und Prozesse, die in Abhängigkeit von den rezenten physiko-chemischen Umweltbedingungen

- die vertikale Zufuhr von organischer Substanz zum Benthos steuern,
- und an der Selektion von Partikeln und Stoffklassen beteiligt sind, die im Sediment überliefert werden können.

Das Arbeitsprogramm wird in vier Ansätze untergliedert:

- Bestand und Flußraten in pelagischen Gemeinschaften als Steuergröße des Partikelexportes
- Charakterisierung von Organismen der verschiedenen trophischen Ebenen, von Faezesmaterial und Sinkstoffen anhand von stabilen Isotopen sowie von Pigmenten und Lipiden
- Experimentelle Untersuchungen
- Modellansätze für biologisch bewirkte Stoffflüsse

Der bisherige regionale Schwerpunkt auf dem Vøring-Plateau in der Norwegischen See soll in den tieferen Bereich des Norwegenbeckens bei etwa 69°N und 0°W verlegt werden, um die Modifikation des Partikelexport bis in größere Wassertiefen (3300m) zu verfolgen. Ein neuer regionaler Schwerpunkt soll das Seegebiet vor Grönland um 72 bis 75°N und 5 bis 10°W bei Wassertiefen von 2700 bis 3200m werden. In dieser Region ist im internationalen JGOFS-Programm eine sogenannte "time series" Station vorgesehen, so daß die Arbeiten des Teilprojektes in eine breite Kooperation eingebettet sind. Vergleichende pelagische Untersuchungen sind im Rahmen des internationalen Polynya-Programmes in der großen Polynya im Nordosten Grönlands vorgesehen.

Beide Gebiete weisen die gleichen winterlichen Nährsalzkonzentrationen und einen ähnlichen Jahresgang in der Sonneneinstrahlung auf, wodurch zunächst die gleichen Rahmenbedingungen für die neue Produktion gesetzt sind. Sie unterscheiden sich jedoch fundamental in anderen physikalischen Rahmenbedingungen, da sowohl temperierte als auch permanent und saisonal eisbedeckte Wassermassen - durch eine ausgeprägte ozeanische Front getrennt - angetroffen werden. In der 500m mächtigen, permanenten Deckschicht von Atlantikwasser in der Norwegischen See sind daher andere winterliche Vermischungstiefen und eine unterschiedliche Ausbildung der saisonalen Deckschicht zu erwarten als in dem Oberflächenwasser polaren Ursprunges in der östlichen Grönlandsee.

#### Bestand und Flußraten in pelagischen Gemeinschaften

In Verankerungen soll der Partikelfluß in 3 Tiefenhorizonten über das Jahr verfolgt werden. Eine Falle soll in 300 bis 500m positioniert werden, um den Export aus der Deckschicht zu erfassen. Eine weitere Falle wird in 1000 bis 1500m sammeln, um unterhalb der Überwinterungstiefen des Zooplanktons die Modifikation der Partikel durch die bathypelagischen Gemeinschaften zu erfassen. Aus der dritten Falle im Abstand von 200 bis 300m vom Boden wird der vertikale Eintrag zum Sediment bestimmt. Zusätzlich werden treibende Fallen und Kurzzeitverankerungen eingesetzt. Bei der Auswertung der bodennahen Proben soll eng mit den TP A2 und A3 zusammengearbeitet werden, um den Beitrag von resuspendierten Partikeln zu erkennen.

Zur Charakterisierung der physiko-chemischen Umwelt werden die vertikalen Verteilungen von Salzgehalt, Temperatur, Sauerstoff sowie der anorganischen Nährsalze aufgenommen.

Die Beschreibung der Artenzusammensetzung des Silikat- und Kalkschalen tragenden Planktons wird in erster Linie im TP B3 vorgenommen. Darüber hinaus werden aber auch die "weichschaligen" Organismen im Phyto- und Protozooplankton erfaßt. Beim Metazooplankton sollen in Zukunft verstärkt das Makrozooplankton und das Mikronekton aufgenommen werden. Mit modernen statistischen Auswerteverfahren soll dann eine umfassende Charakterisierung der pelagischen Gemeinschaften erfolgen.

Die bisherigen Messungen zur biochemischen Zusammensetzung (organischer Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor, Chlorophyll, Karbonat und Opal) sollen durch die Bestimmung von Proteinen und Lipiden erweitert werden. Obwohl die Lipide nur etwa 5 bis 20% der gesamten organischen Substanz im Ozean ausmachen, sind sie von essentieller Bedeutung für die planktischen Organismen der polaren Regionen. Die Lipidmessungen an Phyto- und Zooplankton sollen Aufschluß über diese Substanzklasse als Nahrungsgrundlage und Energiespeicher geben. Ferner soll die Aufschlüsselung in einzelne Lipidklassen, wie z.B. in Triglyceride und Wachsester Einblick in die Lebenszyklen und -strategien von Organismengruppen geben. In Zusammenarbeit mit TP A3 sollen diese Untersuchungen auch auf dominante Benthosorganismen ausgedehnt werden, um die Weitergabe dieser Substanzen bis zu ihrer Ablagerung im Sediment zu verfolgen.

Zur klassischen Ratenmessungen der Primärproduktion im Pelagial durch  $^{14}\text{C}$ -Aufnahme soll die Messung der neuen Produktion über  $^{15}\text{NO}_3$ -Aufnahme und der Silikataufnahme über  $^{68}\text{Ge}$ -Aufnahme hinzugefügt werden. Der Nahrungsumsatz beim Mikrozooplankton wird mit der Verdünnungsmethode und beim herbivoren Mesozooplankton über die Magenfluoreszenz abgeschätzt. Zur besseren Einordnung von Nahrungsumsatz und Stoffwechselaktivität des Zooplanktons sollen zusätzlich die Aktivität der Verdauungsenzyme und die Respiration gemessen werden.

Die Auswirkung der pelagischen Aktivitäten auf den Partikelfluß wird durch entsprechende Analysen an den Sinkstoffen untersucht. Die Abschätzung der neuen Partikelproduktion und des exportierten Anteiles wird dabei durch die Messung der Vertikalverteilung des  $^{234}\text{Th}$ -Isotopes im TP A4 unterstützt.

#### Charakterisierung der organischen Substanz

Die Selektion von Partikeln und Stoffklassen, die aus den verschiedenen pelagischen Gemeinschaften exportiert werden, kann aus den obigen Analysen nur bedingt abgeleitet werden. Daher soll die organische Substanz durch weitere Messungen, von denen sich auch auf trophodynamische Beziehungen zurückschließen läßt, charakterisiert werden.

Die Messungen der natürlichen stabilen Isotope  $^{13}\text{C}$  und  $^{15}\text{N}$  in der organischen Substanz sollen fortgesetzt und durch  $^{15}\text{N}$ -Messungen im Nitrat erweitert werden. Da das Phytoplankton bei der Nitrataufnahme das leichtere  $^{14}\text{N}$ -Isotop bevorzugt aufnimmt, können Sedimentationspulse, die direkt aus neuer Produktion stammen, anhand der Isotopenzusammensetzung der Sinkstoffe identifiziert werden. Ebenso soll die isotopische Zusammensetzung der herbivoren Organismen verfolgt werden, die durch die Fraktionierung bei den Ausscheidungsprozessen selber isotopisch schwerer werden. Auch stark abgebauter Detritus zeigt eine Anreicherung der schwereren Isotope. Hierdurch können in den Sinkstoffen Phasen erkannt werden, die durch die Sedimentation von herbivoren Organismen und stark abgebautem Detritus dominiert werden. In der zweiten Hälfte der Antragsphase soll versucht werden, die Isotopenverhältnisse auch in der gelösten organischen Substanz zu bestimmen. Hierüber ist bisher wenig bekannt. Es wird erwartet, daß dadurch insbesondere anhand der N-Isotope bessere Abschätzungen über die Beziehung zwischen neuer Produktion und Partikelexport gelingen. Bei diesen Untersuchungen wird eng mit den TP B2 und B3 zusammengearbeitet, um die Zusammenhänge zwischen pelagischen Prozessen und Isotopensignalen im Sediment besser zu verstehen.

Neben den Messungen des Chlorophylla und seiner fluoreszierenden Derivate sollen die akzessorischen Pigmente durch spektrophotometrische Detektion bestimmt werden. Dadurch kann die qualitative Zusammensetzung des Phytoplanktons und der quantitative Anteil, insbesondere von kleinen Dinophyten, Chlorophyten, Cryptophyten, Chrysophyten, Prymnesiophyten und Cyanobakterien, die jeweils ein spezifisches Pigmentbesteck aufweisen, besser erfaßt werden. Die Freibaktivitäten des Mikro- und Makrozooplanktons sollen durch die Veränderungen im Pigmentspektrum bis in die Sinkstoffe verfolgt werden. Der Abbau zu Phytodetritus und die heterotrophen Aktivitäten führen zu einer Veränderung der chemischen Struktur der Pigmente, die durch die Messung der Absorptionsspektren individueller Pigmente und ihrer Derivate dokumentiert werden soll. Dadurch werden die Untersuchungen im TP B3 zur Überlieferung von Phytoplanktongruppen im Sediment unterstützt und die Ausgangssubstanzen von möglichen Biomarkern im Sediment erfaßt (TP A4).

Dieser Ansatz soll durch die Untersuchung spezifischer Lipide und z.B. n-Alkane, Fettsäuren, Steroide sowie acyclische und polycyclische Isoprenoide, erweitert werden. Es soll festgestellt werden, inwieweit diese Stoffklassen zur Klärung der Herkunft der organischen Substanz und spezifischer "pathways" im pelagischen Nahrungsnetz beitragen können. Diese Untersuchungen sollen schwerpunktmäßig an ausgesuchten Organismengruppen und Prozessen in der Wassersäule vorgenommen werden, da über die genauen Quellen dieser "Biomarker" gegenwärtig noch Unklarheit herrscht. In enger Zusammenarbeit mit TP A4 sollen die Sinkstoffe auf diese Substanzen hin untersucht werden, um so analog zu den Pigmentanalysen den Ursprung von im Sediment überlieferten Substanzklassen besser zu verstehen. Darüber hinaus soll versucht werden, über die Lipidmessungen die zur Zeit völlig offene Frage des Beitrages von Zooplanktonleichen zum vertikalen Partikelfluß zu klären.

### Experimentelle Ansätze

Die Feldmessungen sollen durch gezielte Experimente ergänzt werden. Es soll für das Wachstum der Diatomeen die Schwellenkonzentration des Silikats festgestellt werden. Bisher liegen keine Kenntnisse darüber vor, inwieweit die frühe Sukzession von Diatomeen zu Prymnesiophyten im Nordmeer auf eine frühzeitige Silikatlimitierung oder auf selektiven Wegfraß zurückzuführen ist. Ebenfalls in Experimenten soll die Löslichkeit des Opals in Phytodetritus und in Kotballen verfolgt werden, um zu prüfen, ob einmal oder mehrfach ingestierte Diatomeenschalen schneller aufgelöst werden.

Die Veränderungen im Isotopenverhältnis, Pigment- und Lipidgehalt sollen beim Wachstum und Altern von isolierten Phytoplanktongruppen und in Fütterungsexperimenten verfolgt werden. Bei letzteren sollen insbesondere Kotballen untersucht werden. Diese Experimente sollen an die jeweils bei den Ausfahrten angetroffenen Verhältnisse angepaßt werden. Durch die gezielte Untersuchung einzelner Prozesse soll eine bessere Interpretation der Felddaten erreicht werden.

### Modellansätze

Aufgrund der in 4.2 geschilderten Unsicherheiten soll der ursprüngliche Ansatz, aus den räumlichen und zeitlichen Verteilungsmustern chemischer Parameter die Beziehung zwischen Primärproduktion und Partikelfluß zu errechnen, erweitert werden. Bei dem ursprünglichen Ansatz werden die biologischen Prozesse der Verteilung der chemischen Parameter angepaßt. Derartige Generalisierungen werden der Vielfalt der sinkenden Partikel und der Organismen, die den Partikelfluß beeinflussen, nicht gerecht. Zunächst soll daher auf regionaler und saisonaler Basis versucht werden, aus der Vielfalt der Beobachtungen dominante Prozesse mit Hilfe der internationalen Modellgruppen im JGOFS-Programm in repräsentativen numerischen Werten und Gleichungen auszudrücken. Aus der Abweichung zwischen Beobachtung und Modell werden sowohl Anregungen für zukünftige Untersuchungen als auch die ständige Verbesserung der Modelle erwartet. Erkenntnisse aus den rezenten Modellansätzen sollen in die Arbeit des TP B4 einfließen.

Die Ausfahrten sollen einmal im Jahr in vollem Umfange stattfinden. Außerdem sollen sich kleine Gruppen auch an Ausfahrten anderer Projekte beteiligen, um Lücken in der Erhebung saisonaler Datensätze weiter zu schließen. Schiffszeit auf Polarstern, Meteor und Poseidon steht zur Verfügung. Die Untersuchungen in der Polynya sollen 1993 durchgeführt werden.

### Zusammenarbeit mit anderen Institutionen

- 1) Alfred-Wegener-Institut (AWI), Bremerhaven: Prof.Dr.Smetacek, Dr.Bathmann, Dr.Hirche, Dr.Kattner, Dr.Fahrbach (Phytoplankton, Zooplankton, Lipide, Hydrographie)
- 2) Universität Bremen: Prof.Dr.Wefer, Dr.Fischer, Dr.Müller (Partikelfluß, stabile Isotope, Opal)



- 3) Universität Tromsø: Prof.Dr.Hopkins, Dr.Wassmann (Zooplankton, Partikelfluß)
- 4) Universität Bergen: Prof.Dr.Schrader, Dr.Noji (Diatomeen, Zooplankton)
- 5) Plymouth Marine Laboratory (PML): Dr.Mantoura, Dr.Burkhill (Pigmente, Lipide, Mikrozooplankton)
- 6) Universität Tübingen: Prof.Dr.Hemleben (Foraminiferen)
- 7) Institute of Oceanographic Sciences (IOS) Wormley: Dr.Fasham, Dr.Lampitt (Modelle, Partikelfluß)
- 8) Universität South Florida: Prof.Dr.Van Vleet (Lipide)
- 9) Woods Hole Oceanographic Institute (WHOI): Dr.Altabet, Dr.Deuser (stabile Isotope)
- 10) JGOFS-Büro Kiel: Dr.Evans (Modelle)
- 11) Universität Maryland: Dr.Ducklow (Modelle)

#### 4.6 Stellung innerhalb des Sonderforschungsbereiches

Der Beitrag des TP A1 zur gesamten Fragestellung im SFB ist die Erfassung der pelagischen Steuerung der vertikalen Zufuhr von Partikelgruppen und Stoffklassen aus den beiden großen Wassermassen des nördlichen Nordatlantiks zur Sedimentoberfläche unter den rezenten Umweltbedingungen. Zum TP A2 bestehen Verbindungen über die Modifikation des vertikalen Partikelflusses durch Resuspension und lateralen Transport in Bodennähe sowie bei der Quantifizierung des pelagischen Eintrages von organischer Substanz in das Sediment. Hierüber bestehen auch die Beziehungen zum TP A3, mit dem die Proben in bodennahen Fallen gemeinsam auf "frisches" pelagisches Material und resuspendierte Partikel untersucht werden. Darüber hinaus wird gemeinsam mit TP A3 die Weitergabe von Lipiden aus dem Pelagial an das Benthal verfolgt. Gemeinsam mit dem TP A4 werden Stoffklassen untersucht, die als Biomarker im Sediment Rückschlüsse auf pelagische Prozesse erlauben. Bei der Abschätzung der Partikelproduktion und des exportierten Anteiles wird die Messung der partikelreaktiven Zerfallsprodukte von Radionukleiden im TP A4 eine wesentliche Unterstützung der Messungen des TP A1 sein. Aus den im TP B2 erarbeiteten Proxydaten werden Hinweise erwartet, welche Organismen und Prozesse auf ihre Eignung als Signalträger für Umweltparameter besonders untersucht werden sollten. Mit dem TP B3 bestehen über den Vergleich der rezenten Ökologie mit der Paläoökologie des Pelagials besonders enge methodische und inhaltliche Beziehungen. Erkenntnisse aus den Modellansätzen zu rezenten Prozessen sollen in das TP B4 einfließen.

5. TEILPROJEKT A2: Prozesse und Bilanzen des Sediment-  
transports

5.11 Fachgebiete und Arbeitsrichtung: Marine Geologie,  
Sedimentologie, Stratigraphie, Flachseismik, Sonographie,  
Ozeanographie, Paläo-Ozeanographie

5.12 Leiter:

Dr. R. Henrich, GEOMAR  
Forschungszentrum  
für Marine  
Geowissenschaften der  
Universität Kiel  
Wischhofenstraße 1-3  
2300 Kiel  
Tel. (0431)7202-138

Dr. J. Rumohr, GEOMAR  
Forschungszentrum  
für Marine  
Geowissenschaften der  
Universität Kiel  
Wischhofenstraße 1-3  
2300 Kiel  
Tel. (0431)880-2369

5.13 Personal Anfang 1991

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
------------------------------------	-----------------------------	---	-------------------------

Grundausrüstung: Wissenschaftler

1) Botz, R. Dr., wiss. Ass.	Geochemie GPI	beratend	3/87
2) Erlenkeuser, H. Dr., wiss. Ang.	Kernphysik IfK	5	7/85
3) Fischer, J. Dr., wiss. Ass.	Region. Ozeanogr. IfM	beratend	1/91
4) Graf, G. Dr., Priv. Doz., Oberass.	Benthosökologie IfM	beratend	7/85
5) Henrich, R. Dr., Hochschul- ass.	Sedimentologie GEOMAR	10	7/85
6) Lange, H. Dr., wiss. Ang.	Tonmineralogie GPI	beratend	7/85
7) Oehmig, R. Dr., wiss. Ang.	Sedimentologie GEOMAR	20	2/89
8) Rumohr, J. Dr., wiss. Ang.	Sedimentologie GEOMAR	20	7/85
9) Samtleben, C. Dr., wiss. Ang.	Paläontologie GPI	beratend	7/85
10) Schott, F. Dr., Prof.	Region. Ozeanogr. IfM	beratend	1/91
11) Thiede, J. Dr., Prof.	Paläo-Ozeanolog. GEOMAR	beratend	7/85
12) Unsöld, G. Dr., wiss. Ang.	Sedimentologie GPI	beratend	7/85
13) Werner, F. Dr., wiss. Dir.	Sedimentologie GPI	beratend	7/85

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
------------------------------------	-----------------------------	---	-------------------------

Grundausrüstung: nichtwiss. Mitarbeiter

14) Cordt, H.N. techn. Ang.	IfK	5	7/85
15) Gumz, M. techn. Ang.	IfK	5	7/85
16) Meinke, H. Elektroniker	IfM	1	1/91
17) Rehder, W. techn. Ang.	GPI	5	7/85
18) Reimers, W. techn. Ang.	GPI	5	7/85
19) Runze, O. techn. Ang.	GEOMAR	5	7/85

Ergänzungsausstattung: Wissenschaftler

20) Blaume, F. Dipl. Geol. Doktorand	Sedimentologie/ Modelling GPI	19,25	2/88
21) Goldschmidt, P. Dipl. Geol. Doktorand	Eisdriftsediment. GEOMAR	19,25	1/91
22) Wagner, T. Dipl. Geol. Doktorand	Analytik org. Substanz GEOMAR	19,25	11/89

Ergänzungsausstattung: nichtwiss. Mitarbeiter

23) Schultz, S. techn. Ang.	SFB 313	38,5	1/90
24) Seib, M. techn. Ang.	SFB 313	19,25	4/86
25) Voigt, C. techn. Ang.	SFB 313	19,25	2/90

**5.2 Zusammenfassung**

Im Verlauf der geologischen und biologischen Untersuchungen des SFB 313 wurde immer deutlicher, daß der laterale Partikelfluß auch in der Tiefsee über weite Strecken wirksamer ist, als bisher angenommen wurde. Offenbar spielt der biologische Eintrag in die bodennahe Nepheloid-Schicht (benthic nepheloid layer=BNL) dabei die entscheidende Rolle, so daß auch bei geringen Bodenstrom-Geschwindigkeiten noch feines Material transportiert werden kann.

Diese These soll im folgenden Antragszeitraum durch die Untersuchung rezenter Prozesse im Bereich von Hochakkumulationsgebieten überprüft und auch bei der Interpretation der geologischen Abbilder auf zwei Ost-West-Schnitten (Schelf-Becken Transect) berücksichtigt und bilanziert werden. Bei der Untersuchung von Hochakkumulationsgebieten sollen zwei Möglichkeiten, die man in anderen, "normal marinen" Ablagerungsgebieten so nicht antrifft, genutzt werden:

1. Die stratigraphische Auflösung in Hochakkumulationsgebieten erlaubt wegen der geringen Zeitvermischung durch Bioturbation sedimentologische Feingliederungen, durch die sich innerhalb der großräumigen Isotopenstratigraphie regionale Korrelationsmöglichkeiten für kurze Zeitscheiben anbieten. Kürzere und in den Amplituden weniger dramatische Umwelt-Variationen, deren geologische Dokumentation andernorts durch Bioturbation verwischt ist, sollen so zumindest regional dokumentiert und in einen konkreten ozeanographischen Bezug gestellt werden. Geht man mit dieser Information vom Zentrum der Akkumulation in den typischen Bereich hemipelagischer Sedimentation, so lassen sich Sedimentkomponenten, die für die Advektion charakteristisch sind, u.U. auch dort erkennen, wo sie mit Partikeln anderer Herkunft vermischt sind. Damit sollen Transportwege und klimagesteuerte Variationen von bodennahen Strömungsmustern in historischen oder geologischen Zeiträumen (z.B. Kleine Eiszeit, Jüngere Dryas) rekonstruiert werden.
2. In Hochakkumulationsgebieten liegen die Zeit- und Raumskalen geologischer Abbildung in vergleichbarer Größenordnung wie die von numerischen Modellen für Topographie-gesteuerte Strömungsmuster. Von der Simulation der bodennahen Strömungen gestützt auf gemessene topographische und ozeanographische Vorgaben aus dem Umfeld der Hochakkumulationsgebiete erwarten wir eine wesentliche Verbesserung der Interpretation sedimentologischer Befunde.

Die Modellierung liefert nur eine Voraussetzung für die Interpretation der sedimentologischen Befunde. Ebenso wichtig ist das Verständnis der biologischen Resuspension durch Bioturbation in Exportgebieten und auf Transportwegen, wo rein physikalische Erosion unwahrscheinlich oder selten ist. Im neuen Antragszeitraum sollen deshalb Untersuchungen in der bodennahen Nepheloid-Schicht und der rezenten Bioturbationsschicht zusammen mit Biologen (TP A3) und Geochemikern (TP A4) durchgeführt werden. Der Schwerpunkt der Arbeiten im TP A2 wird dabei auf der Messung und Interpretation physikalischer Parameter liegen. Von den Ergebnissen erwarten wir Erkenntnisse über Transportmöglichkeiten feiner Partikel in der Tiefsee, auch bei relativ schwachen bodennahen Strömungen.

Die Abhängigkeit pelagischer und glaziomariner Sedimentation von Klimaveränderungen im Europäischen Nordmeer soll an Ost-West Transecten in den Zeitscheiben Isotopenstadium 2 bis Rezent und Isotopenstadium 6 bis 5 rekonstruiert werden. Durch vergleichende Betrachtung der Transectes vom Vøring Plateau nach Jan Mayen und

von Süd-Spitzbergen nach Grönland sollen die Nord-Süd-Gradienten des pelagischen und glaziomارين Sedimenteintrags aus den wichtigsten Oberflächenstromsystemen sowie die bodennahe Advektion von den benachbarten Schelfgebieten im Rezenten und im Glazial quantitativ erfaßt werden. Zusätzlich werden Schlüsselgebiete der Tiefenwasserzirkulation beprobt, die Aussagen über Bodenwasseraustausch in Glazial- und Interglazialzeiten ermöglichen.

Grundlage für die geplanten Untersuchungen bildet eine kombinierte Faziesanalyse. Untersuchungen am organischen Material lassen Aussagen zu über Paläoproduktivität sowie über frühdiagenetische Stoffumsätze und Bilanzierungen des Eintrags von terrigenem organischen Material in Glazial- und Interglazialzeiten. Untersuchungen der glaziomارين Sedimentkomponenten ermöglichen die Bilanzierung des Eintrags von Meereis versus Eisbergtransport und die Rekonstruktion glaziomارين Events, die zur Ausbildung von Diamikthorizonten in den Tiefseesedimenten führten.

Texturelle Untersuchungen mit einem im SFB neu entwickelten Korngrößen-Separator liefern Daten, die zu Rekonstruktionen von Strömungsregimes am Meeresboden und zu Bilanzierungen der lokalen Anteile von vertikal und lateral herantransportierten Partikeln genutzt werden sollen.

### 5.3. Stand der Forschung

#### Hochakkumulationsgebiete

Hochakkumulationsgebiete am Kontinentalhang und in der Tiefsee können durch regional vorherrschende oder sich wiederholende ozeanographische Prozesse entstehen, die topographisch gesteuert sind, wie z.B. Winterwasser-Kaskaden, Brandung interner Wellen oder topographisch gefangene Wirbel. Diese Prozesse sind in das allgemeine Strömungsmuster eingebunden. Deshalb lassen ihre geologisch-sedimentologischen Dokumente auch Rückschlüsse auf allgemeine ozeanographisch-klimatische Verhältnisse erwarten.

Von verschiedenen Positionen am norwegischen Kontinentalhang wird über hohe Sedimentmächtigkeiten im Holozän und Spätglazial berichtet (Jansen und Björklund 1985, Vorren et al. 1988). Als Entstehungsprozeß dafür wird plausibel aber pauschal "winnowing from the shelf" genannt. Es war unvermeidlich, daß dabei die Ablagerungen verschiedener ozeanographischer Situationen zusammengefaßt wurden. Die räumliche Ausdehnung und sedimentologische Zusammensetzung eines Hochakkumulationsgebietes und der Bezug zur regionalen Topographie sowie zu möglichen ozeanographischen Transportprozessen wird von Rumohr (subm.) diskutiert.

An Erhebungen in der Tiefsee (z.B. seamounts) können sich regional ungleiche Mächtigkeitsverteilungen bilden, wenn das Hindernis über geologische Zeit bevorzugt aus einer Richtung angeströmt wird und sich deshalb immer wieder topographisch

geführte Wirbel ausbilden. Stationäre antizyklonale Wirbel ("Taylor-Säulen") im geschichteten Wasserkörper über Tiefseekuppen wurden beschrieben u.a. von der Anton Dohrn-Kuppe und der Rosemarie-Bank (Roberts et al. 1974) und aus der Iberischen Tiefsee (Mittelstedt 1986). Von der Möglichkeit, diese Erscheinung für paläo-ozeanographische Rekonstruktionen heranzuziehen, berichtet Roberts et al. (1974). Konsequenterweise genutzt wurde diese Möglichkeit bislang von Geologen jedoch kaum.

Der Ostgrönlandstrom in der Framstraße bringt See-Eis mit Ton und Silt aus dem Arktischen Ozean in Kontakt mit relativ warmem Atlantikwasser. In bevorzugten Abschmelzgebieten wird mit einem bedeutenden Beitrag zur Sedimentationsrate gerechnet. Das Eisdriftmaterial hat in der Siltfraktion eine charakteristische Korngrößen-Zusammensetzung unabhängig vom Herkunftsgebiet (Wollenburg et al., subm.).

### Ozeanographische Modelle und Messungen

Eide (1979) berichtet von einem stationären antizyklonalen Wirbel auf dem mittelnorwegischen Schelf mit Kern über Haltenbanken und über seinen Zusammenbruch durch die Bildung von kaltem (dichtem) Wasser. Aus der Barents-See wird ebenfalls die Bildung und das Abfließen von dichtem Winterwasser beschrieben (Knipowich (1905), Blindheim (1989) und Midttun (1989)).

Direkte Bodenstrom-Messungen zu derartigen Ereignissen sind aus dem Arbeitsgebiet nicht publiziert. Westlich Spitzbergen jedoch wurden in Tiefen zwischen 500 und 1000 m Wassermassen angetroffen, die sich durch erhöhte Salinität und Trübung von ihrer Umgebung unterscheiden. Sie sollen auf dem Schelf südlich Spitzbergen (Storfjord und Bäreninsel-Trog) durch Abkühlung und bei der Meereisbildung (brine rejection) gebildet und von dort über die Schelfkante abgeflossen sein (Pfirmann et al., MS). Südlich und westlich von Spitzbergen ist in der Norwegischen See der Wärmeverlust durch die Meeresoberfläche mit bis zu 10 Metern jährlicher Evaporation am stärksten (Hopkins 1990), die Voraussetzung für die Bildung neuer Wassermassen also gegeben.

Ozeanographen haben in letzter Zeit immer detailliertere Modelle für Wind-getriebene und Topographie-gesteuerte Strömungen entwickelt, die z.B. im Bereich der Bäreninsel in der westlichen Barents-See erfolgreich durch Messungen verifiziert wurden (Harms und Backhaus 1990, Mcclimans 1990). Damit lassen sich auch realistische Prognosen über Zeit und Ort der Bildung schwerer Wassermassen und ihr Abfließen über die Schelfkante erstellen. Für das Vøring-Plateau existieren bereits numerische Modelle (Leguttko, IfM Hamburg; Mcclimans, Trondheim, pers. Mitt.), die zur Simulation realistischer Rahmenbedingungen für ein räumlich hochauflösendes Strömungsmodell herangezogen werden können.

Die Literatur zur bodennahen Nepheloid-Schicht (BNL) in der Tiefsee ist sehr umfangreich und vorwiegend ausgerichtet auf Verbesserung der in-situ Meßtechnik (z.B. Kineke et al. 1989,

weitere Literatur dort) und auf ein umfassendes Verständnis der Physik der turbulenten Bodengrenzschicht (vergl. Hebble-Sonderband, Mar. Geol., 66, 1985; Richardson 1987). Spezifische Fragen der Gesamt-Problematik der BNL sind offen: sind es kontinuierliche Strömungen oder episodische Ereignisse, die strömungsgeprägte mudwaves (Flood und Shor 1988) oder (in anderen Gebieten) Advektion bewirken? Welcher Zusammenhang besteht zwischen biologischer Resuspension, mikrobieller Besiedlung der Partikel, Aggregatbildung und Sedimentation bzw. Biodeposition (Aller 1989, Muschenheim et al. 1989)?

### Schelf-Becken Transect

Sedimentologische Prozesse steuern die Überlieferungsfähigkeit der Exportproduktion pelagischer Ökosysteme. Sedimentparameter, wie z.B. Sinkgeschwindigkeits-(PSI)-Verteilungen, bilden die verschiedenen Eintragsmechanismen glaziomariner Komponenten ab und zeigen Prozesse der Erosion und Lateraladvektion auf. In Kombination mit hochauflösenden stratigraphischen Methoden ermöglichen sedimentologische Untersuchungen Bilanzierungen des pelagischen, terrigenen und glaziomarinen Partikeleintrags sowie Abschätzungen der Stoffumsätze in der Wassersäule, am Meeresboden und im Sediment. Bilanzierungen des Sedimenttransportes liefern wichtige Datensätze zur Entschlüsselung ozeanographischer, glaziologischer und biologischer Prozessabläufe während glazial/interglazialer Klimaschwankungen im Europäischen Nordmeer.

### Bilanzierungen des pelagischen Partikelflusses

Die heutigen sedimentologischen Eintragsmechanismen und Transportvorgänge in den verschiedenen pelagischen Ablagerungsräumen und in den von glaziomarinen Prozessen beeinflussten Schelf- und Ozeanmilieus sind nur bruchstückhaft untersucht. Wichtige Erkenntnisse über die Flußraten biogener und lithogener Komponenten aus den Oberflächenwassermassen des Europäischen Nordmeeres sind durch die im Rahmen des SFB 313 durchgeführten Fallenexperimente (Wefer 1990) gewonnen worden. Der Partikelfluß aus dem Pelagial zeigt eine sehr stark ausgeprägte Saisonalität (Peinert et al. 1990). Dabei spielt "zooplankton grazing" und Kotpillen-Bildung (Bathmann et al. 1987) für die Sedimentation von feinkörnigen lithogenen und biogenen Partikeln die entscheidende Rolle (Samtleben und Bickert 1989).

Über die Transportvorgänge am Meeresboden liegen für die Tiefseebecken des Europäischen Nordmeeres nur wenige direkte Beobachtungen vor. Entlang des Norwegischen Kontinentalhangs und in ausgewählten Sektoren des Barents-See-Sedimentfächers konnten im Rahmen der bisherigen Arbeiten des TP A2 wichtige Erkenntnisse zur Lateraladvektion von den Schelfen in die angrenzende Tiefsee (Rumohr submitted) erzielt werden. Bei den meisten bisherigen sedimentologischen Bearbeitungen (z.B. Kellogg 1975, Henrich 1986) wurde der methodische Ansatz, aus den Verteilungsmustern wichtiger sedimentologischer und mikropaläontologischer Grund-

parameter in den Oberflächensedimenten das Abbild der Oberflächenwassermassen nachzuzeichnen, erfolgreich angewandt. So lassen sich die Konturen des Norwegenstroms durch hohe Karbonatgehalte mit einem nahezu ausgeglichenen Grob/Feinkarbonatanteil sowie einem hohen Anteil subpolarer planktischer Foraminiferen nachzeichnen, wohingegen die kalten arktischen Wassermassen durch deutlich niedrigere Karbonatgehalte, dominiert von der links gewundenen planktischen Foraminifere *Neogloboquadrina pachyderma*, abgebildet werden. Ableitungen des Strömungsregimes am Boden und Abschätzungen des Eintrags durch Lateraladvektion aus den hydrodynamischen Eigenschaften der Partikel stehen in den Anfängen. Die ersten dahingehenden Interpretationen der Oberflächensedimente, die mit dem Ende 1989 in Betrieb genommenen Separator erzielt wurden, zeigen neue methodische Ansätze auf, die in den Arbeiten des TP A2 weiter verfolgt werden sollen.

### Eintrag von organischem Material und Paläoproduktivität

Den räumlich und zeitlich variablen Verteilungs- und Zusammensetzungsmustern des sedimentierten organischen Materials (OM) liegen grundlegende physikochemische und biologische Austauschprozesse im System Atmosphäre/Ozean zugrunde, deren Umstrukturierungen im Quartär zu Änderungen im CO<sub>2</sub>-Budget geführt haben. An diese Vorgänge ist die Bildung von Biomasse durch Aufnahme von gelöstem CO<sub>2</sub> über das Phytoplankton gebunden. Die teilweise Zersetzung des marinen Primärsignals in der Wassersäule und das Absinken in die Tiefe wird als "biologische Pumpe" (Haake und Ittekkot 1990) bezeichnet und liefert ein auf etwa 2 % des primär produzierten Materials (Suess 1980) reduziertes Signal zum Meeresboden, wo es komplexen Umwandlungs- und Abbauprozessen im Grenzbereich Wasser/Sediment unterworfen wird. Das letztendlich meßbare fossile Signal im Sediment entspricht durchschnittlich nur noch etwa 0,1 % des primär gebildeten organischen Materials (Reimers 1989). Zu diesem autochthonen Anteil im Sediment kommt der Eintrag allochthoner organischer, biogener Hartteile und minerogener Komponenten.

Grundlage für die Beurteilung der Frage, welche Signifikanz das fossile Signal im Sediment für paläo-ozeanographische oder paläoklimatische Fragestellungen hat, liefert zum einen die Klassifizierung und Quantifizierung der terrigenen Komponenten, die durch Flüsse, Gletscher und Winde eingetragen werden. Dieser terrigene organische Anteil am organischen Material (OM) ist insbesondere für kontinentalfernere Ablagerungsräume nur unzureichend berücksichtigt worden. Zum anderen liefert die Bilanzierung des Primärexports zum Meeresboden eine Abschätzung des autochthonen Anteils am OM. Der Eintrag der Biomasse von Phytoplanktonblüten zum Meeresboden erfolgt nicht kontinuierlich, sondern episodisch (Peinert et al. (1989)). Dieser Phytodetritus besteht neben kompakten "fecal pellets" aus flockigen, schnell sinkenden Aggregaten, die nach Lampitt (1985) unter dem Einfluß biologischer Aktivität an der benthischen Grenze in weniger als zwei Monaten abgebaut werden. Diesem nur saisonal existierenden,



geringmächtigen "fluffy-layer", der Biodeposition und weiteren Abbauprozessen in den ersten Zentimetern des Sedimentkörpers kommt eine Schlüsselrolle bei der Transformation des rezenten organischen Materials in ein fossiles Signal zu (Jumars et al. 1989). Intensive vertikale geochemische und biologische Wechselwirkungen zwischen der bodennahen Nepheloid-Schicht, der "fluffy-layer" und der Bioturbationszone reduzieren den Partikelfluß, bezogen auf den Gesamteintrag der organischen Partikel (biogener Opal, kalkiges Plankton) bereits in wenigen Zentimetern Sedimenttiefe auf 10 % (Reimers 1989). Verweilzeiten und Abbauraten der einzelnen Partikel innerhalb dieser hochaktiven Zone werden unterschiedlich angegeben (Emerson et al. 1987).

### Bilanzierungen des glaziomarinen Partikelflusses

Die Untersuchungen des rezenten Sedimenteintrags in den arktischen Ozean, in das westliche Europäische Nordmeer sowie in die angrenzenden Schelfgebiete durch glaziomarine Prozesse liefern Erkenntnisse über die Eintragsmechanismen und die Auswirkungen auf die ozeanische Zirkulation und auf die pelagischen Ökosysteme. Das Prinzip des Aktualismus findet jedoch gerade in diesem Bereich eine entscheidende Einschränkung, da die heutigen glaziomarinen Konfigurationen lediglich einen kleinen Ausschnitt von den während der Glazialzeiten existierenden glaziomarinen Milieus wiedergeben können. Für Bilanzierungen des glaziomarinen Sedimenteintrags ist es wichtig, eine Abgrenzung des Sedimenteintrags durch Meer(eis) versus Eisberg vorzunehmen. Die Existenz einer ganzjährigen Meereisdecke oder einer saisonalen Packeisdecke beeinflusst die Ozeanographie und die Austauschprozesse mit der Atmosphäre in den betroffenen Gebieten wesentlich stärker als in Gebieten, deren Oberflächenstromsysteme durch intensive Eisbergdrift charakterisiert sind.

Meereistransport: Heute wird das Meereis im arktischen Ozean überwiegend auf den Schelfgebieten gebildet und von dort in die Haupteisdriftsysteme eingespeist (Abb. 7). Wichtige Bildungszentren für das Eis des Transpolarstromes sind die sibirischen Schelfgebiete sowie für das Eis des Beaufortwirbels der Schelf vor Alaska. Durch Sedimentauflage und oberflächennahe Einlagerung dunkel gefärbte Partien im Meereis werden im Beaufortsee-Eisdriftwirbel und im Transpolaren Driftsystem beobachtet (Osterkamp und Gosink 1984, Reimnitz und Kempna 1987, Pfirmann MS). Der wichtigste Prozeß der Sedimentaufnahme ist hier das Aufspülen und Einfrieren aufgewirbelten Sedimentes im Meereis, ausgelöst durch starke Stürme. Hierdurch wird überwiegend feinkörniges Sediment im Meereis fixiert (Osterkamp und Gerink 1984, Reimnitz et al. 1987, Gilbert 1989). Andere Einlagerungsmechanismen, wie die Ankereisbildung (Barnes 1982, Reimnitz und Kempna 1987) oder das Einfrieren von Bodensedimenten in das Meereis in flachem Wasser (Saarso, pers. Mittlg.), ermöglicht einen Eintrag von grobem und feinem Sediment. Äolischer Transport und Sedimenteintrag auf das Meereis durch Flüsse spielen im Sedimentbudget nur eine untergeordnete Rolle. Ein

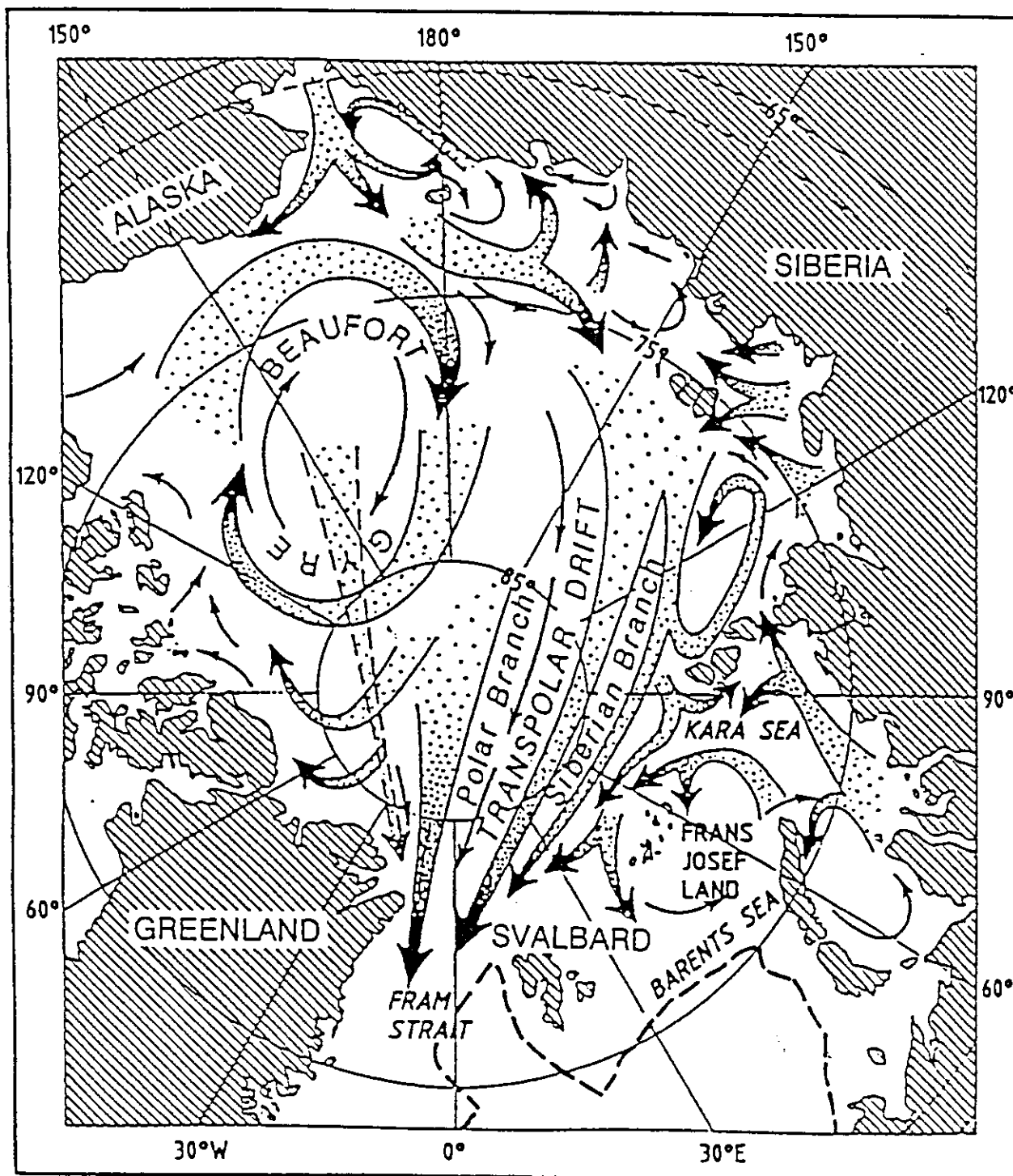


Abb. 7: Eisdrift im arktischen Raum

Teil des Sedimentes wird durch saisonale Einfrier- und Abtauvorgänge auf den Schelfen mehr oder weniger in-situ zirkuliert. Dies gilt vor allem für küstennahe Schelfregionen. Ein weiterer Teil des sedimentführenden Meereises wird offshore in die großen Eisdriftsysteme eingespeist und von dort über weite Strecken verfrachtet. In der Framstraße wird der Eintrag von Meereis transportiertem Sediment auf bis zu 35 % des Gesamtsedimentflusses geschätzt. Flächendeckende, quantitativ verlässliche Daten über den Sedimenteintrag unter den zentralen Packeisfeldern im arktischen Ozean sind z.Zt. noch nicht verfügbar. Punktuelle Befunde zeigen jedoch, daß der Eintrag über weite Strecken außerordentlich gering ist. Untersuchungen der Siltfraktion, die wesentliche Aussagen über den Eintrag durch Meereistransport liefern, liegen z.Zt. nicht vor.

**Eisbergtransport:** Der für den Sedimenteintrag in den zirkumarktischen Meeren bedeutendste Eisstrom- und Gletschertyp sind die subpolaren Gletscher (Alaska: Lawson 1982, Powell und Molnia 1989), die durch alternierende Gefrier- und Antauzyklen abschnittsweise und periodisch wechselnde, nasse und kalte Basen aufweisen. Diese Gletscher sind besonders "schmutzig" und führen in einer breiten Basiszone zahlreiche Sedimenteinschlüsse verschiedenster Zusammensetzung. Beim Eintritt in das Meer bilden die subpolaren Gletscherströme steile submarine Gletscherfronten aus (tidewater glaciers, Powell und Molnia 1989). Wichtigstes Merkmal der "tidewater glaciers" ist der submarine Austritt von Schmelzwassersuspensionen, die sich je nach Dichte als over-, inter- oder underflows ausbreiten. Aus den Schmelzwassersuspensionen sedimentieren große Mengen feinkörniger Partikel, während aus den an der Gletscherfront abkalbenden Eisbergen sporadisch auch gröberes Material ausgeschmolzen wird. Einige subpolare Gletscher mit mariner Eisfront zeigen in Spitzbergen eine ausgeprägte Tendenz zu "surge"-Ereignissen (Elverhøi und Solheim 1983, Solheim und Pfirman 1985). Dabei kommt es zu einem plötzlichen Aufschwimmen und Abheben großer Anteile der auf Grund liegenden Eismassen. Die betroffenen Fjorde sind dann schlagartig von driftenden Eisbergen erfüllt, aus denen große Mengen von groben und feinen eistransportierten Sedimenten abregnen (Pfirman und Solheim 1985). Ähnliche Ereignisse können sich in den Glazialzeiten und während der Abschmelzphasen in weitaus größeren Dimensionen ereignet haben, da sich die marinen Eisfronten zu diesen Zeiten weit vorgelagert auf den Schelfen bzw. nahe an der Schelfkante befanden (Henrich et al. 1989, Henrich 1990; Vorren et al. 1989). Durch Eisberge wird Sediment eingetragen, das ein außerordentlich breites Korngrößen- und Rundungsspektrum aufweisen kann. Es dominiert insgesamt schlecht sortiertes, überwiegend kantiges Sediment. Nahe der "tidewaterfront" sind die Sedimente infolge des erhöhten Eintrags von Schmelzwassersuspensionen sehr feinkörnig und zeigen nur geringe Beimengungen von groben eistransportiertem Detritus. Außerhalb des Einflusses verdrifteter Schmelzwassersuspensionen finden sich hohe Konzentrationen von grobem, eistransportiertem Material. Eine spezifische Komponente, die ausschließlich durch Eisberge eingetragen wird, sind Klasten von überkonsolidiertem

Grundmoränen-Material, die durch die Kombination von wiederholten Antau- und Gefrierphasen während eines generellen Eisevorschubs im Gletschereis fixiert wurden und nach dem Ausschmelzen aus den Eisbergen aufgrund ihrer Überkonsolidierung nahezu unverändert den Meeresboden erreichen konnten (Henrich et al. 1989, Goldschmidt et al. 1990).

#### Ableitung des Strömungsregimes aufgrund der hydrodynamischen Eigenschaften pelagischer und glaziomariner Sedimente

Je nach Verfügbarkeit sowie Sonderung beim Herantransport durch Traktion am Boden oder in Suspension ergeben sich charakteristische Partikelassoziationen. Sofern das Sediment genügend Anteile solcher Partikel aufweist, die durch die bestehenden Strömungsverhältnisse nicht mobilisiert werden können, bilden diese Partikel eine armierende Deckschicht aus residualem Sediment. Die Anreicherung der gerade nicht mehr transportierbaren Sedimentbestandteile wird in der Verteilung von Partikel-Parametern wie Korngröße und Sinkgeschwindigkeit deutlich. Zur Rekonstruktion der Ablagerungsbedingungen eines Sedimentes in Wasser ist die Bestimmung der PSI-Verteilung (PSI=Sinkgeschwindigkeit) ein geeignetes Verfahren (vgl. Komar und Clemens 1986). Sonderung nach der effektiven Dichte und entsprechend getrennte Ablagerung von weiter verfrachteten graziileren Radiolarien und gleichgroßen massiveren Foraminiferen wurden ebenfalls beschrieben.

Die Aufnahme kontinuierlicher PSI-Verteilungen mit einer Sedimentationswaage bietet mehrere Vorteile: zum einen können auch graduelle Unterschiede in der Sinkgeschwindigkeit einzelner Komponenten erfaßt und damit auch geringfügige Größenänderungen festgestellt werden. So zeigen die PSI-Modi, die durch die polare planktische Foraminifere *Neogloboquadrina pachyderma* bedingt werden, eine systematische Verschiebung, die als Größenvariation in Zusammenhang mit dem Wechsel glazial-/interglazialer Sedimentationsbedingungen steht. Zum anderen können mit der hohen Auflösung zusätzlich Modi erkannt werden, die für das Nachzeichnen von Transportbahnen oder als Hinweise auf wechselnde Eintragemechanismen wichtig sind. (vgl. Curray (1960), Van Andel (1973)).

Ein gravierender Mangel bei der Deutung von PSI-Verteilungen ist, daß verschiedene PSI-Bereiche praktisch nicht auf ihre Kornartenzusammensetzung hin geprüft werden können, um transportanzeigende Partikel zu bestimmen und sie von autochthonen Komponenten abzugrenzen. Hierzu dient der neu entwickelte Separator, der die Abtrennung von PSI-Fraktionen erlaubt.

Der Feinanteil (< 0.063 mm) der Oberflächensedimente aus dem Norwegenstrom-beeinflußten Gebiet im Europäischen Nordmeer korreliert negativ mit dem PSI-Modus der planktischen Foraminiferen, d.h. mit zunehmendem Feinanteil nimmt die Sinkgeschwindigkeit planktischer Foraminiferen ab. Fehlende PSI-Äquivalenz zeigt nicht unbedingt gleiches Transportverhalten an. Grabert

(1971) dokumentiert dies am Beispiel von Sedimenten einer Lagune, in der große Foraminiferen transportiert werden und kleinere PSI-äquivalente Quarzkörner liegenbleiben.

Mackensen (1987) vergleicht lebende und tote (leere Gehäuse) Assoziationen benthischer Foraminiferen auf Profilen quer zum Island-Schottland Rücken. Er führt die weitaus größere Verbreitung und die tiefere bathymetrische Reichweite der leeren Gehäuse von *Cibicidoides lobatulus* im Vergleich zur lebenden Gruppe auf starke Bodenströmungen und Hangabtransport zurück.

Huang und Watkins (1977) geben mit der Analyse der statistischen Korngrößen-Parameter von Foraminiferensanden südpazifischer Gewässer in der Nähe der Antarktis Hinweise auf die unterschiedlichen Bodenstromverhältnisse während der Sedimentbildung zur Brunhes- und Matuyama-Zeit. Sie werteten mit einem Sedimentationsverfahren bestimmte Korngrößen-Verteilungen hinsichtlich bodenstromerzeugter Änderungen in Mittelwert, Sortierung und Schiefe aus. Unter schwachen Strömungsverhältnissen abgelagertes Sediment ist danach gekennzeichnet durch die Kombination kleine Korngrößen, schlechte Sortierung und geringe negative Schiefe ("tail" im Groben). Zu stärkeren Strömungsregimes hin werden die Sedimente gröber, zunehmend positiv schief und schlechter sortiert.

Für die Rekonstruktion der hydrodynamischen Bedingungen aus den texturellen Sedimenteigenschaften betonen Huang und Watkins (1977) die Notwendigkeit, das Größen- resp. Sinkgeschwindigkeitspektrum der Sedimentkomponenten zu bestimmen, beispielsweise, ob nicht die Änderung der Schiefe durch den Übergang zu einer anderen Komponente bedingt ist. Hierüber gibt die Komponentenanalyse von PSI-Fraktionen Auskunft, die mit dem Separator isoliert werden können.

Es gibt Überlegungen, wonach Sedimente das Ergebnis von Mischung- und Entmischungsprozessen der Bestandteile sind. Hierzu kann über das für die hier geplanten Arbeiten zugrundegelegte, näher prozeßorientierte Meßverfahren der Sedimentation in Wasser möglicherweise Neues beigetragen werden. Wegen der komplexen Verhältnisse im glaziomarin beeinflussten Ablagerungsraum des Europäischen Nordmeers, wo eiseingetragene Quarze und Gesteinsbruchstücke in einem sehr weiten PSI-Bereich auftreten, liegt hier jedoch kein schwerpunktmäßiger Ansatz für den SFB. Vielmehr sollen ausgewählte Komponenten, für welche die genannten Hinweise bestehen, daß sie strömungssensibel reagieren (Foraminiferengehäuse und die Feinfraktion) auf ihre PSI-Verteilungen untersucht werden. Die Siltfraktion, ein wesentliches Element beim Schmelzwassereintrag und beim Meereistransport, muß hierzu, wie in den Arbeiten von Curray (1960), Van Andel (1973) und Huizhong und Mc Cave (1990) demonstriert, ebenfalls kontinuierlich gemessen werden.

### Sedimentationsprozesse im Glazial

Die bisherigen sedimentologischen Untersuchungen an glazial/interglazialen Sedimenten des Europäischen Nordmeeres (Kellogg 1980, Ramm 1988, 1989, Henrich et al. 1989, Henrich 1989) und der angrenzenden Schelfgebiete (Elverhøi et al. 1989, Vorren et al. 1989) haben zusätzliche Erkenntnisse bezüglich des zeitlichen und räumlichen Ablaufs glaziomariner und pelagischer Sedimentationsereignisse geliefert, die bei der Planung der weiterführenden Untersuchungen berücksichtigt werden müssen.

Die kontinentalen Eismassen reichten während der glazialen Hochstände bis nahe an die Schelfränder (Vorren et al. 1989). Vor submarinen Eisfronten des Typs der "tidewater ice margins" bildeten sich glaziomarine Sedimente direkt im vorgelagerten ozeanischen Raum. Hauptablagerungszentren waren Kontinentalhänge und angrenzende Tiefseebereiche. Am Hang wurden bis zu 2 km mächtige glaziomarine Sedimente abgelagert. Infolge der raschen Akkumulation sind die Hangsedimente oft instabil. Rutschungen, Schlammströme und Turbidite sind daher häufig eingelagert.

In der Tiefsee dokumentiert sich der pulsartige glaziomarine Sedimenteintrag in der Ablagerung von Diamikten (Henrich et al. 1989, Henrich 1989, Henrich 1990). Die Anbindung der glaziomarinen Ereignisse auf den Schelfgebieten an die Sedimentabfolgen der Tiefsee stellt eine wichtige zu lösende Aufgaben dar. Weitergehende sedimentologische Detailuntersuchungen der Diamiktvorkommen können hierzu entscheidend beitragen.

Die glaziomarinen Prozesse beeinflussen durch Schmelzwassereintrag oder durch Ausbreitung der Packeisdecken nicht nur die Oberflächenzirkulation, sondern in erheblichem Maße auch die Tiefenwasserzirkulation. Durch Stabilisierung der Wassermassenschichtung infolge erhöhten Schmelzwassereintrags (Vogelsang 1990) und durch das Ausbleiben kalter, dichter von den Schelfen abfließender Winterwässer wurde auch die Tiefenwasserzirkulation in den betroffenen Beckenteilen beeinflusst, ein Vorgang, der sich in Karbonatlösungsvorgängen am Meeresboden und in frühdiagenetischen Stoffumsätzen der Sedimente widerspiegelt (Henrich et al. 1989, Kassens und Sarnthein 1989).

Infolge glazialer Erosionsvorgänge auf den Schelf- und Landgebieten wurden große Mengen von fossilem organischen Material aufbereitet (Forsberg 1983, Thondren und Bjaerke 1983) und durch glaziomarine Prozesse bis in die zentralen Becken des Europäischen Nordmeeres verdriftet (Henrich et al. 1989, Bischof et al. 1990, Henrich 1990). Die quantitative Erfassung des Eintrags terrigenen organischen Materials sowie Abschätzungen der autochthonen marinen Anteile stellen somit eine zentrale Aufgabe für künftige Untersuchungen dar (siehe auch Abschnitt "Eintrag von organischem Material und Paläoproduktivität").

## Literatur

- Aller, J. (1989): Quantifying sediment disturbance by bottom currents and its effect on benthic communities in a deep sea western boundary zone.- Deep Sea Research, 36/6: 901-934.
- Barnes, P.W., Reimnitz, E. und Fox, D. (1982). Ice rafting of fine-grained sediment, a sorting and transport mechanism, Beaufort Sea, Alaska. Journal of Sedimentary Petrology, 52: 493-502.
- Bathmann, U., Noji, T.T., Voss, M., Peinert, R. (1987). Copepod fecal pellets: abundance, sedimentation and content at a permanent station in the Norwegian Sea in May/June 1986. Mar. Ecol. Prog. Ser., 38: 45-51.
- Bischof, J., Koch, J., Kubisch, M., Spielhagen, R.F., Thiede, J. (in press): Nordic Seas surface ice drift reconstructions - evidence from ice rafted coal fragments during oxygen isotope stage 6. In: J. A. Dowdeswell and J. D. Scourse (eds.): Glaciomarine Environments Processes und Sediments. Edited by Geol. Soc. Spec. Publ. London.
- Blindheim, J. (1989): Cascading of Barents Sea bottom water into the Norwegian Sea.- Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer., 188: 49-58.
- Curray, J.R. (1960): Tracing sediment masses by grain size modes. - Rep. 21st Session Norden, Int. Geol. Congress, Copenhagen.
- Eide, L. A. (1979): Evidence of a topographically trapped vortex on the Norwegian continental shelf.- Deep Sea Research, 26: 601-621.
- Elverhøi, A.; Pfirman S.; Solheim, A. und Larsen, B.B. (1989): Glaciomarine sedimentation on epicontinental seas - exemplified by the northern Barents Sea. Mar. Geol 85: 225-250.
- Elverhøi, A. und Solheim A (1983): The Barents Sea ice sheet - a sedimentological discussion. Polar Res 1: 23-42.
- Emerson, S., C. Stump, P. M. Grootes, G.W. Farwell und F.H. Schmidt (1987): Estimates of degradable organic carbon in deep-sea surface sediments from <sup>14</sup>C concentrations.- Nature, 329: 51-53.
- Flood, R. D. und Shor, A. N. (1988): Mud waves in the Argentine Basin and their relationship to regional bottom circulation.-Deep Sea Research, 35, 6: 934-971.
- Forsberg, C.F. (1983): Sedimentation and early diagenesis of Late Quaternary deposits in central parts of the Barents Sea. Thesis, Univ. Oslo, Oslo: 120 pp. (unpubl.).
- Freydanck, H. (1955): Die Abhängigkeit einer rezenten Foraminiferen-Vergesellschaftung von Sediment und Strömungsgeschwindigkeit des Wassers.- N. Jb. Geol. u. Paläontol., Abh., 100: 332-349.
- Gilbert, R. (1989): Rafting in glaciomarine environments. In: Glaciomarine Environments: Processes and sediments, abstracts in the Marine Studies Group Conference.
- Goldschmidt, P., Pfirman, S., Wollenburg, I. und Henrich, R. (in press): Origin of sediment pellets from the Arctic seafloor: sea ice or icebergs? - Deep Sea Research.

- Grabert, B. (1971): Zur Eignung von Foraminiferen als Indikatoren für Sandwanderung.- Dt. Hydrogr.Z., 24: 1-14.
- Haake, B. und V. Ittekkot (1990): Die Wind-getriebene "biologische Pumpe" und der Kohlenstoffentzug im Ozean.- Naturwissenschaften, 77: 75-79.
- Harms, I. und Backhaus, J. (1990): A numerical study of the barotropic circulation in the Barents Sea.- In: Annales Geophysicae: XV GENERAL ASSEMBLY of the European Geophysical Society, Copenhagen, Denmark, 23-27 April 1990.
- Henrich, R. (1986): A calcite dissolution pulse in the Norwegian-Greenland Sea during the last deglaciation. Geologische Rundschau, 75/3: 805-827.
- Henrich, R. (1989): Glacial/interglacial cycles in the Norwegian Sea: Sedimentology, paleoceanography and evolution of Late Pliocene to Quaternary Northern Hemisphere Climate. In: Eldholm, O. Thiede, J. and Taylor, E. (eds) Proc Final Reps ODP 104: 44 pp (in press).
- Henrich R., (1990): Cycles, rhythms, and events in Quaternary Arctic and Antarctic glaciomarine deposits. - In: Bleil, U., und J. Thiede (eds): "Geological history of the Polar Oceans - Arctic versus Antarctic". Kluwer Acad. Publ. NATO ASI Series C: 213-244.
- Henrich R., H. Kassens, E. Vogelsang und J. Thiede (1989): Sedimentary facies of glacial-inter-glacial cycles in the Norwegian Sea during the last 350 ka. - Mar. Geol., 86: 283-319.
- Hopkins, T. S. (1990): Essential differences between the east Greenland and norwegian Atlantic current.- In: : Annales Geophysicae: XV GENERAL ASSEMBLY of the European Geophysical Society, Copenhagen, Denmark, 23-27 April 1990.
- Huang, T.C. und Watkins, N.D. (1977): Contrasts between the Brunhes and Matuyama sedimentary records of bottom water activity in the South Pacific.- Mar. Geol., 23: 113-132.
- Huizhong, W. und McCave, I.N. (1990): Distinguishing climatic and current effects in mid-Pleistocene sediments of Hatton and Gardar Drifts, NE Atlantic. - J. Geol. Soc., London, 147: 373-383.
- Jansen, E. und Bjorklund, K. (1985): Surface Ocean circulation in the Norwegian Sea 15000 B.P. to present.- Boreas, 14: 243-257.
- Jumars, P.A., Altenbach, A.V., De Lange, G.J., Emerson, S.R., Hargrave, B.T., Müller, P.J., Prahl, F.G., Reimers, C.E., Steiger, T. und Süß, E. (1989): Transformation of Seafloor-arriving Fluxes into the Sedimentary Record.- In: W.H. Berger, V.S. Smetacek und G. Wefer (eds.): Productivity of the Ocean: Present and Past, Report of the Dahlem Workshop, Berlin 1988, John Wilney and Sons: 291-311.
- Kassens, H. und Sarnthein, M. (1989). A link between paleoceanography, early diagenetic cementation, and shear strength maxima in Late Quaternary deep-sea sediments. Paleoceanography, 4/3: 253-269.
- Kellogg, T.B. (1975): Late Quaternary climatic changes in the Norwegian-Greenland sea. In: Bowling SA und Weller G (eds.) Climate of the Arctic, Univ of Alaska: 3-36.



- Kellog, T.B. (1980). Paleoclimatology and peleoceanography of the Norwegian and Greenland Seas: glacial/interglacial contrasts. *Boreas*, 9: 115-137.
- Kineke, G. C., Sternberg, R. W. und Johnson, R. (1989): A new instrument for measuring settling velocities in situ.- *Mar. Geol.* 90: 149-158.
- Knipowich, N. (1905): Hydrologische Untersuchungen im Europäischen Eismeer. - *Annalen Hydrogr. Berl.* 33: 289-308.
- Komar, P.D. und Clemens, K.E. (1986): The relationship between a grain's settling velocity and threshold of motion under uni-directional currents.- *J.Sed.Petrol.*, 56: 258-266.
- Lampitt, R.S. (1985): Evidence for the seasonal deposition of detritus to the deep-sea floor and its subsequent resuspension.- *Deep-Sea Res.*, 32: 885-897.
- Lawson D.E. (1982): Mobilisation, movement and deposition of active subaerial sediment flow, Matanuska Glacier, Alaska. *J. Geol.*, 90: 279-300.
- Legutke, S. (1990): A numerical investigation on the wind-induced variability in the Greenland and Norwegian Seas.- In: *Annales Geophysicae: XV GENERAL ASSEMBLY of the European Geophysical Society, Copenhagen, Denmark, 23-27 April 1990.*
- Mackensen, A. (1987): Benthische Foraminiferen auf dem Island-Schottland Rücken: Umwelt-Anzeiger an der Grenze zweier ozeanischer Räume.- *Paläont.Z.*, 61: 149-179.
- McClimans, T. A. und Nilson, J.H. und Lie, H.N. (1990): The sensitivity of the Barents Sea to monthly variability of the Norwegian Atlantic current.- In: *Annales Geophysicae: XV GENERAL ASSEMBLY Of the European Geophysical Society, Copenhagen, Denmark, 23-27 April 1990.*
- Midttun, L. (1989): Climatic fluctuations in the Barents sea.- *Rapp. P.-v. R un. Cons. int. Explor. Mer.* 188: 23-35.
- Mittelstedt, E. (1986): Ausbreitungsbedingungen für Stoffe in großen Ozeantiefen (NOAMP -Bericht), *Dt. Hydrogr. Inst.*, Hamburg, 202 pp (unpubl.).
- Murray, J.W. und Hawkins, A.B. (1976): Sediment transport in the Seven Estuary during the past 8000-9000 years.- *J. geol. Soc. London*, 132: 385-398.
- Muschenheim, D. K., Kepkay, P. E. und Krank, K. (1989): Microbial growth in turbulent suspension and its relation to marine aggregate formation.- *Netherlands Journal of Sea Research*, 23,3: 283-292.
- Osterkamp, T.E. amd Gosink, J.P. (1984): Observations and analyses of sediment-laden sea ice. - In: P.W. Barnes, D.M. Schell and E. Reimnitz (eds): *The Alaskan Beaufort Sea; Ecosystems and Environments.* Academic Press: 73-93.
- Peinert, R, von Bodungen, B. und Smetacek, V.S. (1990). Food web structure and loss rate. In: *Productivity of the Ocean: Present and Past.* Edited by W. H. Berger, V. S. Smetacek and G. Wefer. (eds), Chichester: John Wiley und Sons: 35-48.
- Pfirman, S., Fahrbach, E., Rohard, R. und Vikgren, K. (MS): Sediment laden saline cascades along the Northwestern Svalbard margin.
- Powell, R.D. und Molnia, B.F. (1989): Glacimarine sedimentary processes, facies and morphology of the south- southeast Alaska shelf and fjords. *Mar Geol* 85: 359-390.

- Ramm, M. (1989). Late Quarternary carbonate sedimentation and paleoceanography in the East Norwegian Sea. *Boreas*, 18: 255-272.
- Reimers, C. E. 1989: Control of benthic fluxes by particulate supply. In *Productivity of the Ocean: Present and Past*. W. H. Berger, V. S. Smetacek and G. Wefer (eds), Chichester: John Wiley und Sons: 291-311.
- Reimnitz, E. und Kempema, E.M. (1987): Field observations of slush ice generated during freeze-up in Arctic coastal waters. *Marine Geology*, 77: 219-231.
- Reimnitz, E., Kempema, E.M. und Barnes, P.W. (1987): Anchor ice, seabed freezing, and sediment dynamics in shallow Arctic seas. *J. of Geophys. Res.* 92 C, 14: 671-678.
- Richardson, M. J. (1987): Particle size, light scattering and composition of suspended particulate matter in the North Atlantic.- *Deep Sea Research*, 34/8: 1301-1329.
- Roberts, D. J., Hogg, N. G. und Bishop, D. G. (1974): Sediment distribution around moated seamounts in the Rockall Trough.- *Deep Sea Research*, 21: 175-184.
- Samtleben, C. und Bickert, T. (1989): Coccoliths in sediment traps from the Norwegian Sea. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, (in press).
- Solheim, A. und Pfirman, S. (1985): Sea-floor morphology outside a grounded surging glacier- Brasvellbreen, Svalbard. *Mar Geol* 65: 127-143.
- Suess, E. 1980: Particulate organic carbon flux in the oceans - surface productivity and oxygen utilization. *Nature* 288: 260-263.
- Thronsen, T. und Bjørke, T. (1983): Palynodebris analysis of a shallow core from the Barents Sea. - *Polar Res.*, New Ser., 1/1: 43-47.
- Van Andel, T.H. (1973): Texture and dispersal of sediments in the Panama Basin.- *J. Geol.*, 81: 434-457.
- Vogelsang, E. (1990): Paläo-Ozeanographie des Europäischen Nordmeeres anhand stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope. *Diss. Math. Naturw. Fak. der CAU Kiel*: 137 pp.
- Vorren T.O., Lebesbye E, Andreassen K und Larsen KB (1989): Glacigenic sediments on a passive continental margin as exemplified by the Barents Sea. *Mar Geol* 85: 251-272.
- Wefer, G. (1990): Particle flux in the ocean: Effects of episodic production. In *Productivity of the Ocean: Present and Past*. W. H. Berger, V. S. Smetacek and G. Wefer (eds.) Chichester: John Wiley und Sons.: 139-153.
- Wollenburg, I., Pfirman, S., Lange, M. A. und Larssen, B. (subm.) : Surface sediments of arctic sea ice: observations and analyses of the recent particulate load.- *Deep Sea Research* Zafiriou, O. C., R. B. Gagosian, E. T. Peltzer, J. B. Alford, and T. Loder. (1985). Air-to-sea fluxes of lipids at Enewetak Atoll. *J. Geophys. Res.*, 90/D1: 2409-2423.

## 5.4 Eigene Vorarbeiten

### Hochakkumulationsgebiete

In einer Einbuchtung am norwegischen Kontinentalhang in Höhe des Vøring-Plateaus (67°N) liegt in 700 -1300 m Tiefe ein Gebiet von 30-40 km Durchmesser, in dem es zu verschiedenen paläoklimatischen Zeiten zur Ablagerung hoher Sedimentmächtigkeiten kam: maximal 7 m Holozän in 1000 m Tiefe (entspr. einem Volumen von 0,75 km<sup>3</sup>) und mehr als 10 m Spätglazial in 850 m Tiefe. Die regionale Mächtigkeits- und Korngrößen-Verteilung holozäner Sedimente läßt sich hier in einen plausiblen Bezug zu ozeanographischen Prozessen des bodennahen Sediment-Transports und der lokalen Sedimentverfügbarkeit auf dem benachbarten Schelf stellen (Rumohr und Blaume 1989, Rumohr, submitted).

Hochauflösende Profile sedimentologischer Parameter aus Kastenlotkernen vom selben Gebiet, durch Sauerstoff-Isotopenkurven der planktischen Foraminifere *Neogloboquadrina pachyderma* datiert, ermöglichen eine lokale Feinstratigraphie, mit der sich dünne Zeitscheiben in Analogie zu den rezenten Verhältnissen paläoozeanographisch ausdeuten lassen.

Von früheren Ausfahrten liegen umfangreiche 3,5 kHz-Sedimentecholot-Aufnahmen vom norwegischen und grönländischen Kontinentalhang zwischen 62-75°N vor, auf denen weitere Akkumulationszentren zu erkennen sind. Einige von ihnen wurden bereits mit einem weitmaschigen Profilnetz vermessen: Das Gebiet westlich Røstbanken, der Barents-See-Hang westlich der Bären Insel und ein Gebiet in der südlichen Grönlandsee, z.T. mit Ausbildung von Sedimentwellen (Bodungen et al. 1988, Gerlach et al. 1987). Die Datierungen einiger Sedimentkerne aus diesen Gebieten bestätigen die Vermutung hoher Sedimentationsraten.

Vom nördlichen Vøring-Plateau, über 100 km entfernt vom Kontinentalhang, liegt eine Sedimentmächtigkeits-Kartierung vor, die wenige Kilometer nördlich vom Kamm eines 200 m hohen Rückens (Vøring-Plateau-Escarpment) in 1250m Tiefe ein über 50 km langes, 10-15 km breites Hochakkumulationsgebiet abbildet, in dem holozäne Ablagerungen bis zu 280 cm mächtig sind. In der weiteren Umgebung ist das Holozän nur zwischen 10 und 30 cm mächtig und reicher an Sand (Foraminiferen). Die hohen Akkumulationsraten werden vor allem durch Fraktionen <20 µm bestimmt. Aber auch 20-63 µm große Partikel akkumulieren hier noch bis zu 10 mal mehr als in der unmittelbaren Nachbarschaft. Ein einfaches Massenbudget führt zu dem Schluß, daß feine Partikel mindestens 100 - 200 km weit in Bodennähe advektiert worden sein müssen. Da eine rein physikalische Erosion durch die schwachen bodennahen Strömungen unwahrscheinlich ist und auch nirgends Restsedimente angetroffen wurden, liegt der Schluß nahe, daß wiederholte biologische Resuspension durch Benthos-Organismen die weiten Transportwege ermöglichte. Bodenstrom-Messungen am Hang des Escarpments sind in guter Übereinstimmung mit der Vorstellung, daß topographische Wirbel mit der für diese Breiten typischen Lebensdauer von 20 bis 40 Tagen (Abb. 8) den Hangauftransport ermöglichten (Rumohr 1989).

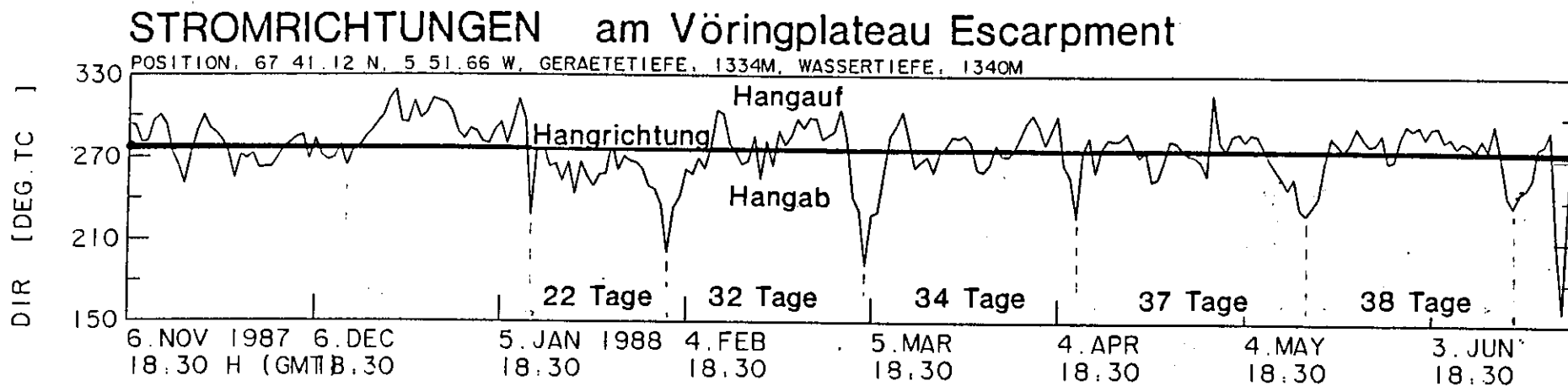


Abb. 8: Stromrichtungen sind am Südrand des Vøring-Plateau-Escarpments nach Westen gerichtet mit wechselnden Hangauf- und Hangab-Komponenten ( $\pm 30$ ). Ca. alle 20-40 Tage zeigt die Richtung nahezu hangab. Dies könnte typisch sein für die Phase des Zusammenbruchs eines antyzyklonalen Wirbels, bei dem die Isopyknen im Zentrum nach oben verschoben waren.

Die starken regionalen Unterschiede der Sedimentbeschaffenheit und der Akkumulationsraten auf einem Profil über den Rücken stehen sicherlich in komplexer Wechselbeziehung zur Benthosbiologie (Jensen et al. in prep.).

Alle sedimentologischen Daten der vergangenen Jahre sind inzwischen in eine Datenbank (LOTUS 123<sup>®</sup>) auf IBM-PC-Basis eingegeben und kurzfristig in graphischer Form je nach Fragestellung mittels Standard-Software-Paketen (Harvard Graphics,<sup>®</sup> Freelance Plus<sup>®</sup>) darstellbar. Der Datensatz umfaßt inzwischen mehr als 2100 Korngrößen-Ergebnisse von 81 Stechrohren aus GKG (max. 38 cm), 17 kurzen (70-90 cm) und 3 langen (7,5-8,5 m) Schwerelotkernen sowie 4 Kastenlotkernen (8,5-10 m). Die graphische Zugänglichkeit macht diesen Datensatz zu einem wertvollen Fundus, um Ideen zur räumlichen Verteilung und Korrelation verschiedener Sedimentparameter zu überprüfen.

Die vorhandene Korngrößen-Analytik mit traditioneller Atterberg- und verbesserter Pipett-Methode erlaubt es, größere Probenserien mit vertretbarem Zeitaufwand zu bearbeiten. Die Möglichkeit der weiteren Untersuchung von Atterberg-Fraktionen, wie z.B. Karbonat- und C<sub>org</sub>-gehalt an der Fraktion <6,3 µm, wurde an einigen stratigraphisch bearbeiteten Kernen bereits erfolgreich genutzt.

#### Ozeanographische Modelle und Messungen

Einige Langzeit-Bodenstrom-Messungen und 27 hydrographische Profile (CTD) liegen bereits vom Kontinentalhang und Vøring-Plateau-Escarpment vor. Mit ihnen lassen sich erste Vorgaben für Modellansätze vornehmen. Bathymetrische Karten kompiliert aus Seabeam- und 3,5 kHz-Sedimentecholot-Vermessungen bilden die Grundlage für den Modell-Ansatz "Vøring-Plateau".

#### Bioturbation, bodennahe Nepheloid-Schicht und Sedimenttransport

Aus früheren Untersuchungen liegen viele Korngrößen-Profile durch Restsedimenten vom Schelf und dem oberen Hang (Liefergebiete), von potentiellen Transportbahnen und aus den Akkumulationsgebieten vor, die unterschiedliche vertikale Sandgehaltskurven aufweisen. Diese regionalen Unterschiede führten zu der Vorstellung, daß im wesentlichen die Bioturbation für den Export des Feinanteils verantwortlich ist; denn die bis zu 15 cm mächtigen Deckschichten sind nahezu homogen aufgebaut. Sie bestehen aus glaziomarinem Sand und Kies vermischt mit holozänen Foraminiferen (Rumohr, subm.).

Da in der bodennahen Nepheloid-Schicht nur geringe Probenmengen zu gewinnen sind, mußte eine neue Korngrößen-Methodik für den Silt-Bereich hinzugezogen werden, die REM-Aufnahmen bildanalytisch auswertet (Ibbeken und Schleyer 1986). Vorversuche zur Probenahme und Herstellung von Korngrößen-Präparaten für die REM-Analyse werden auf der METEOR-Reise 13 (1990) durchgeführt. Erste Ergebnisse an ausgewählten Oberflächenproben wurden mit der Atterberg- und Pipett-Methode verglichen.

## Schelf-Becken Transect

### Faziesanalyse glazialer/interglazialer Sedimente

Während der bisherigen Förderungsperiode des SFB 313 wurden mit sedimentologischen Lösungsansätzen wichtige Beiträge zur Paläo-Ozeanographie des Europäischen Nordmeeres in Glazial- und Interglazialzeiten erarbeitet. Grundlage der durchgeführten Untersuchungen bildet die Entwicklung einer kombinierten Faziesanalyse pelagischer und glaziomariner Sedimente (Henrich et al. 1989). Grundlage hierfür bilden die beschreibende textuelle Analyse der Sedimentkerne und die Auswertungen von Radiographien in Verbindung mit der Ermittlung sedimentologischer Grundparameter des Gesamtsedimentes (Karbonatgehalte, TOC-Gehalte, Korngrößen-Verteilungen). Ergänzend wurden modifizierte Grobfraktionsanalysen nach Sarnthein (1971), REM- Untersuchungen zur Karbonaterhaltung an der planktischen Foraminifere *Neogloboquadrina pachyderma*, Bestimmungen des Anteils subpolarer Faunenelemente sowie geochemische Analysen (Metallkonzentrationen, S-Gehalte) zur Charakterisierung frühdiagenetischer Stoffumsätze durchgeführt. Auf der Basis einer hochauflösenden Isotopenstratigraphie (Vogelsang 1990) wurden die ermittelten Datensätze in Akkumulationsraten (AR) umgerechnet und die AR einzelner Sedimentkomponenten bestimmt.

In den Oberflächensedimenten spiegeln sich die heutigen ozeanographischen Verhältnisse in der Ausbildung spezifischer Faziestypen wieder. Aus den Sedimentkernen wurden zusätzlich glaziale und deglaziale Faziespektren beschrieben. Anhand der räumlichen und zeitlichen Variabilität der verschiedenen pelagischen und glaziomarinen Faziestypen konnten paläo-ozeanographische Rekonstruktionen für definierte Zeitscheiben der letzten 400 ky entlang eines Ost-West Schnittes durch das Europäische Nordmeer vom Vøring-Plateau zum Scoresby Sund erstellt werden (Henrich et al. 1989, Henrich in Vorbereitung). Durch Bilanzierungen des pelagischen und glaziomarinen Sedimenteintrags wurden räumliche und zeitliche Verlagerungen der wichtigsten heutigen Oberflächensystems in den Interglazialen auskartiert und ihre Modifikation und der Wechsel zu neuen, glaziomarinen Zirkulationsmustern aufgezeigt, die vom Aufbau und Abschmelzen der großen Eisschilde über Grönland und Skandinavien in den Glazialzeiten bestimmt wurden.

Die interglazialen Zirkulationsmuster, nachgezeichnet durch die unterschiedlichen Produktionsraten von pelagischem Grob/Feinkarbonat und durch verschiedene Anteile subpolarer Faunenelemente, sind während der letzten 400 ky außerordentlich variabel. Die heutigen Verhältnisse sind in etwa ähnlicher Weise in den Sedimenten des Isotopenstadiums 5e dokumentiert (Abb. 9a). Jedoch wurden in den westlichen Profilsegmenten höhere Karbonatgehalte festgestellt. Völlig verschiedene Muster mit einem in seiner Breite sehr stark reduzierten Norwegenstrom sind für das Stadium 7 (Abb. 9b) und 9 ablesbar. Im Stadium 11 (Abb. 9c) zeigt der Norwegenstrom seine größte Breite und erstreckt

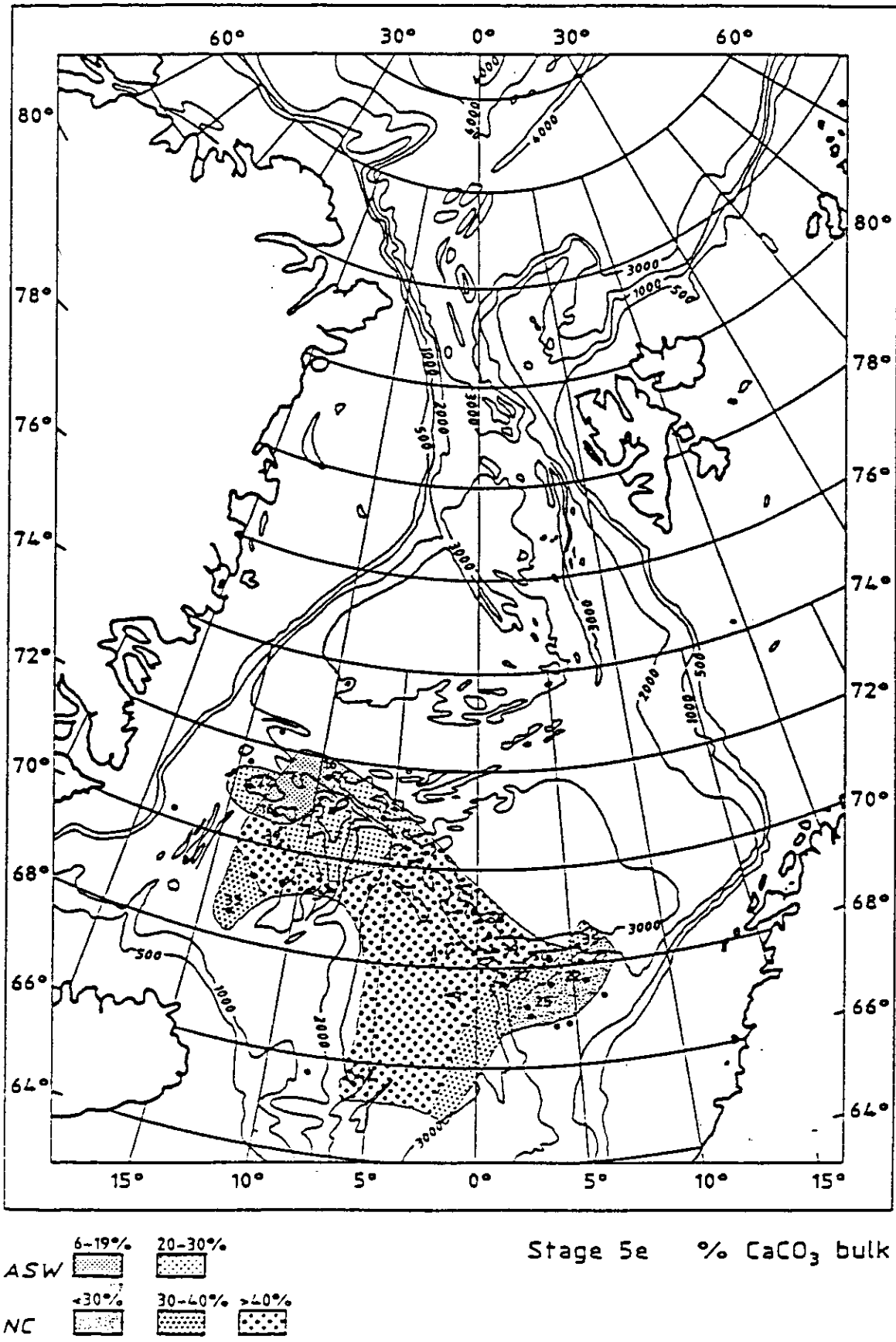


Abb. 9a: %CaCO<sub>3</sub>, Isotopenstadium 5e

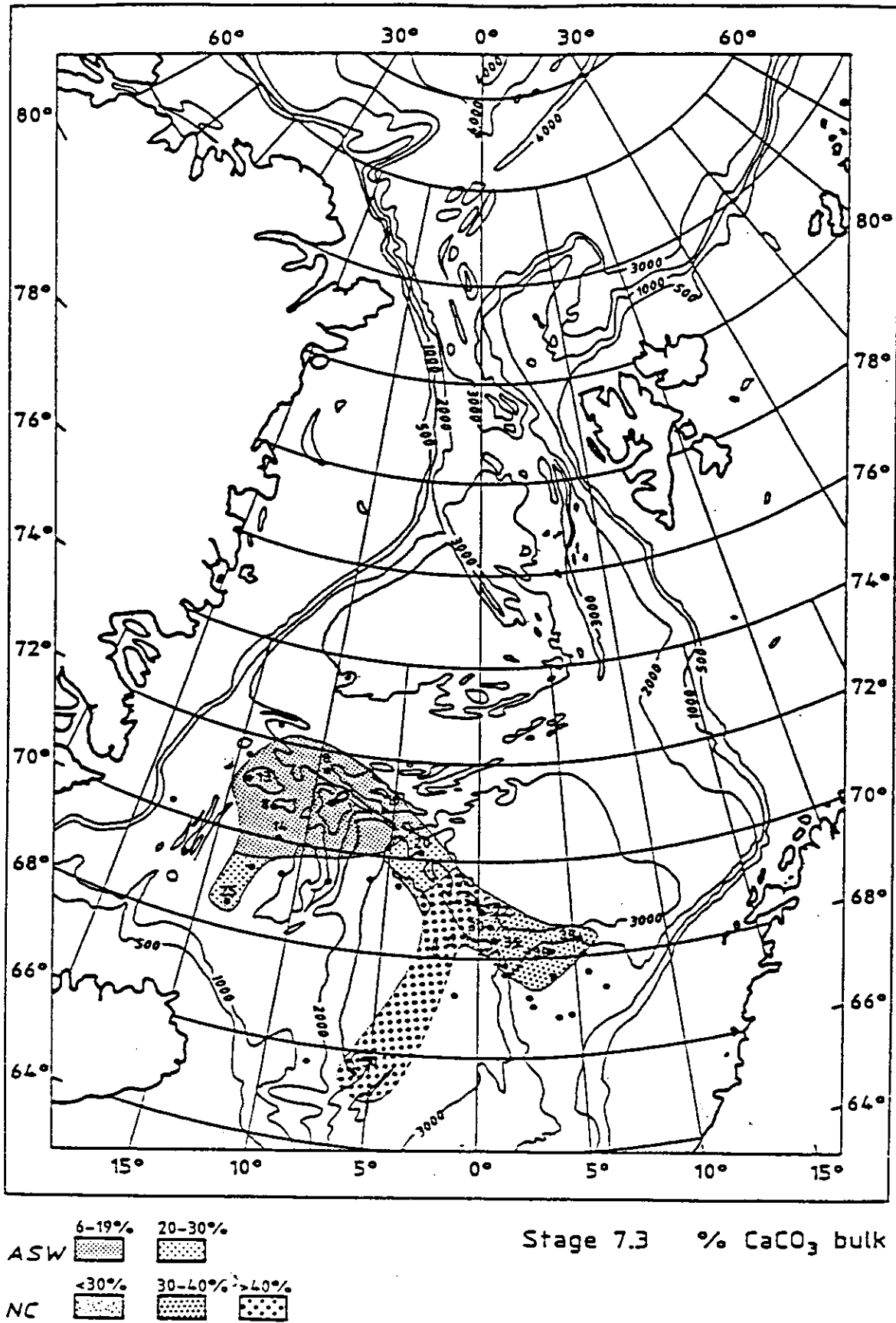


Abb. 9b: %CaCO<sub>3</sub>, Isotopenstadium 7,3



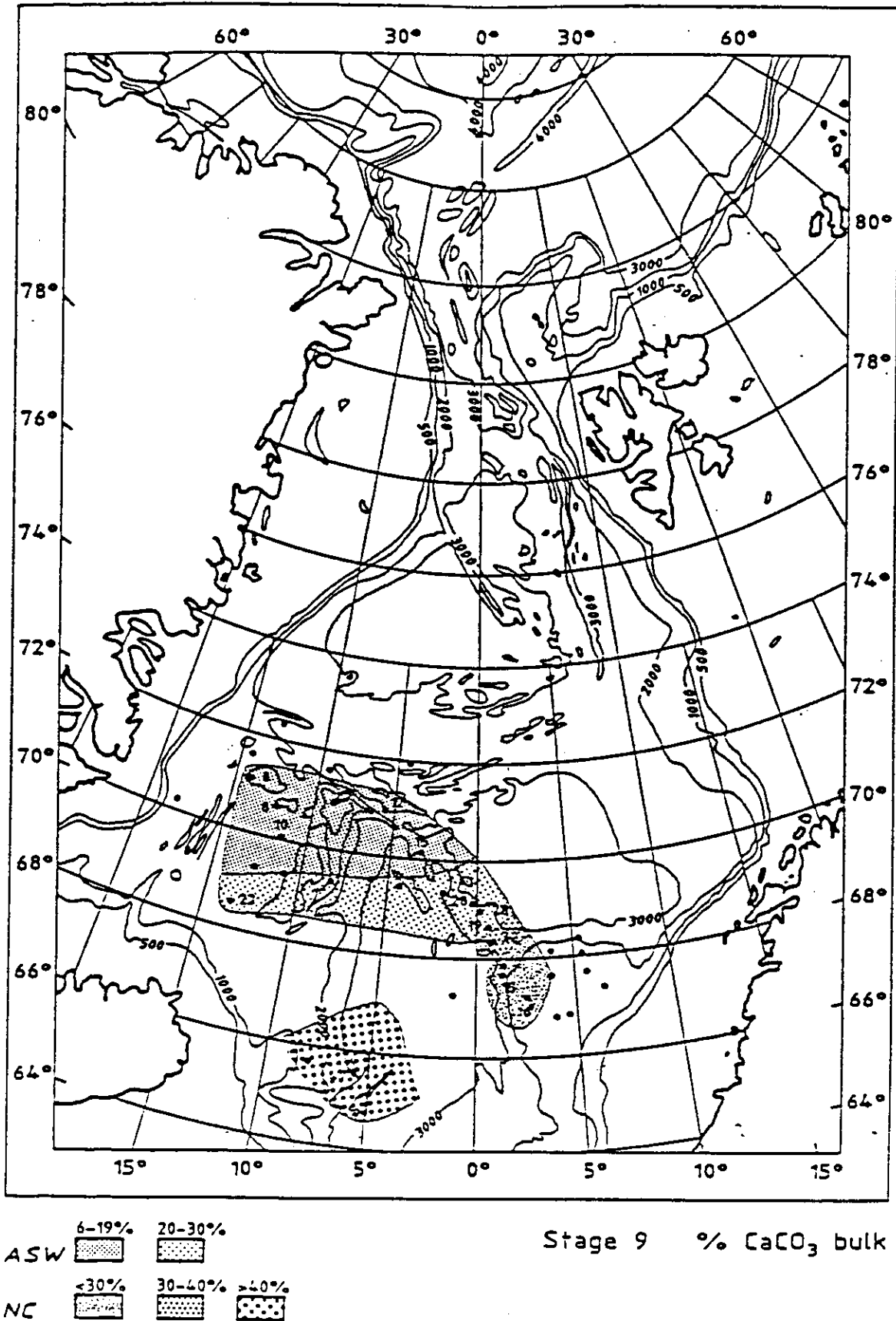
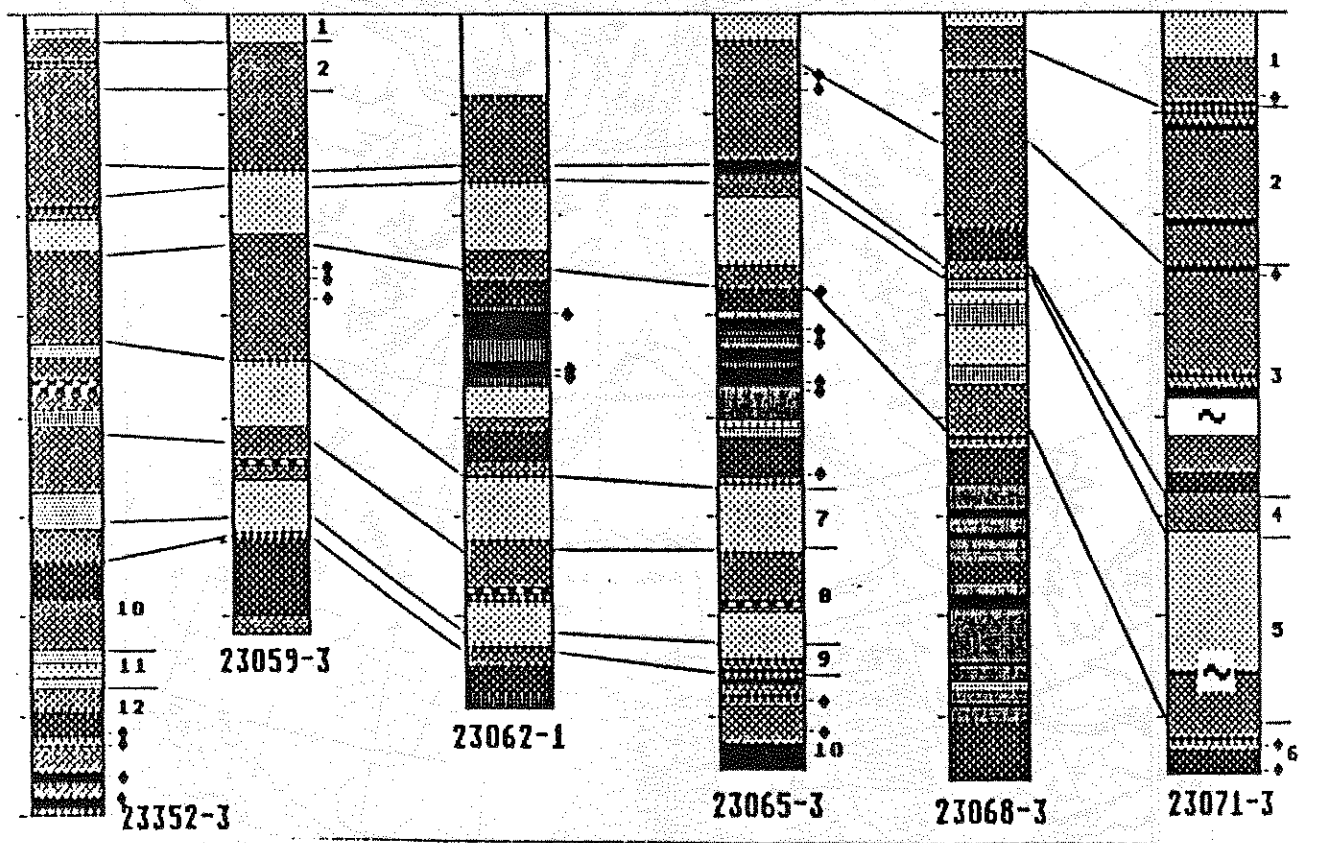


Abb. 9c: %CaCO<sub>3</sub>, Isotopenstadium 9



Lithofacies

- ▣ A    ▣ B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>    ▣ C
- ▣ E    ▣ B<sub>1</sub><sup>m</sup>
- ▣ F    ▣ B<sub>3</sub>    ▣ volcanic ash

◆ Inoceramus prisms, ice rafted chalk

Abb. 10: Facientransekt: Nordisland-Plateau - Jan Mayen-Zone - Vøring-Plateau

sich, durch hohe Karbonatgehalte dokumentiert, weit nach Westen bis an den Kolbeinseerücken heran. Auch in den Glazialstadien 3, 6 und 8 ist zeitweise ein schwacher Einfluß des Norwegenstroms nachweisbar.

Der Eintrag von glazial erodierten klastischen Sedimenten durch Eisberge ist der mengenmäßig wichtigste Sedimentationsprozess in den Glazialzeiten. Als besondere Einschaltungen finden sich bis zu dm- mächtige, dunkle Diamikte, die stets hohe Konzentrationen an lithogenen Dropstones sowie häufig bis zu cm große Schlammklasten beinhalten (Abb. 10). Sehr geringe Karbonatgehalte, starke Korrosion planktischer Foraminiferen und das Fehlen von Benthosforaminiferen in den Diamikten belegen eine erniedrigte Produktion an Kalkschalen im Oberflächenwasser sowie schlechte Belüftung und hohe Korrosivität des Bodenwassers. Eistransportierte Schreibkreidefragmente in den Diamikten deuten auf nordgerichtete Eisströme hin, da die Festgesteine nur in den südlichen Regionen (Großbritannien, Nordsee, Ostsee) anstehen. Aufgrund der Flux-Kalkulationen ist eine sehr rasche Ablagerung der Horizonte anzunehmen.

#### Eintrag von marinem und terrigenem organischen Material

Akkumulationsraten des organischen Materials folgen den markanten Schwankungen der Akkumulationsrate des Gesamtsediments beim Wechsel zwischen Glazial- und Interglazialphasen im Europäischen Nordmeer, was auf einen kausalen Zusammenhang zwischen den zwei Parametern hindeutet (Henrich 1990). Ein Anstieg der Akkumulationsrate um einen Faktor 10 vom Interglazial zum Glazial mit steigendem terrigenem Anteil in der Grobfraktion (Thiede et al. 1985) dokumentiert die deutlich geänderten ozeanographischen und klimatischen Bedingungen im Europäischen Nordmeer.

Wenige Rock-Eval Daten, die an Proben vom Vøring Plateau in der KFA, Jülich, gemessen wurden (Henrich et al. 1990, Henrich 1990) zeigen Kerogen Typ III an. Der verstärkte Eintrag dieses terrigenen organischen Materials wird während der Meeresspiegeltiefstände auf zunehmende Erosionsvorgänge von auf dem Schelf anstehenden, fossilen, kohlenstoffreichen Horizonten und auf erhöhten Eistransport während glazialer Phasen zurückgeführt. Ähnliche Trends zeigen erste Rock-Eval Messungen an Probenmaterial von ODP Leg 104 (Hölemann, Doktorand im DFG-Projekt He 1671/2-2, und Dr. Wiesner, IfBM, Hamburg).

Im bisherigen TP B2 wurden Untersuchungen an stabilen Isotopen durchgeführt. Erste  $\delta^{13}\text{C}$  Werte am organischen Material zeigen einen erhöhten terrigenen Anteil am OM während der Glazialphasen an (Erlenkeuser 1990). Eistransportierte Kohlepartikel wurden zur Rekonstruktion der paläo-ozeanographischen Verhältnisse im Europäischen Nordmeer während der Isotopenstadien 5 und 6 von Bischof et al. (1990) genutzt. Organisch-petrographische und geochemische Ergebnisse von Probeserien aus der Framstraße und der Norwegischen See (Bischof et al. 1990) charakterisieren trotz zum Teil geringer TOC-Gehalte (0,1-0,5 %) Braunkohlebruchstücke, die zum

Teil gerundet sind. Die Untersuchungen zeigen ferner, daß in den Sedimenten des Stadiums 5 und 6 in der Norwegischen See primäre Unterschiede im Verhältnis terrestrischer Komponenten zu marinem Algenmaterial vorliegen (Botz et al. 1990).

C/N Messungen an Probenreihen von einem Kern aus dem Zentralbereich des Vøring Plateaus korrelieren positiv mit den Schwankungen der TOC Werte. Zwei ausgewählte Zeitintervalle - Termination I bis Rezent und Stadium 6 bis 5e wurden untersucht. Frühdiagenetische Abbauprozesse des TOC innerhalb des ersten Meters reduzieren deren ursprünglich sedimentierten Anteil auf Minimalwerte von 0,2 % TOC. Durch diagenetische Prozesse verminderte N-Gehalte treten auch bei erhöhten TOC Werten an Proben vom Stadium 5e auf.

### Hydrodynamische Sediment-Eigenschaften

Nach der Installation der Sedimentationswaage waren umfangreiche Eichreihen mit Partikel-Kollektiven und Einzelkorn-Sinkversuche notwendig. Der optimale Meßbereich (beste Reproduzierbarkeit) des vorhandenen Systems liegt zwischen 1.5 mm und ca. 0.08 mm Quarzkugel-Äquivalentkorngröße. Für Sediment mit Anteilen schnellerer und langsamerer Partikel können die Ergebnisse über die Stapelung dreier Einzelmessungen wesentlich verbessert werden. In weiteren Versuchsreihen wurde die Möglichkeit geprüft, Partikelmischungen unterschiedlicher Sinkgeschwindigkeit in ihren Anteilen mit Hilfe der Sedimentationsanalyse wiederzugeben geprüft: ein wichtiger Aspekt für das Auswerten der polymodalen PSI-Verteilungen (PSI=Sinkgeschwindigkeit) von Sedimenten.

Im Rahmen eines internationalen Ringversuchs zur Kalibration verschiedener Partikelmeßtechniken wurden dazu Glaskugelgemische (Dichte bestimmt mit Schwereflüssigkeit, Durchmesser über Rundlochsiebe) sedimentiert und die Anteile der verschieden großen Kugeln aus den erhaltenen PSI-Verteilungen bestimmt. Gleichzeitig konnte die von Brezina (1979) empirisch aufgestellte Beziehung zwischen Größe (hier: Lochweite Rundlochsieb), Form (Kugel) und Dichte (2.47 g/cm) bestätigt werden. Bei der Bestimmung der Anteile mehrerer Komponenten aus Gesamt-PSI-Verteilungen zeigten sich im Mittelsandbereich Differenzen von max. 2 Gew.-%, im Grobsandbereich max. 4 Gew.-%, im Feinsandbereich max. 6 Gew.-%. Tendenziell werden dabei die jeweils größeren Komponenten etwas in ihren Anteilen überschätzt.

Die Bedeutung anderer Partikeleigenschaften für die Mobilisierbarkeit der Partikel, resp. für das Transportverhalten des Sediments, zeigte eine Versuchsreihe, bei der ein schlecht sortiertes Korngemisch einer Strömung (Strömungskanal) ausgesetzt wurde. Das am Kanalende in verschiedenen Stadien des Versuchs mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten aufgefangene transportierte Sediment weist zum einen Änderungen in der Korngrößen-Zusammensetzung auf. Von den bei der Siebung des Ausgangssediments sowie des transportierten Sediments erhaltenen Fraktionen wurden mit der Sedimentationswaage PSI-Verteilungen bestimmt (Abb. 11). Dabei konnten Verschiebungen der Modalwerte

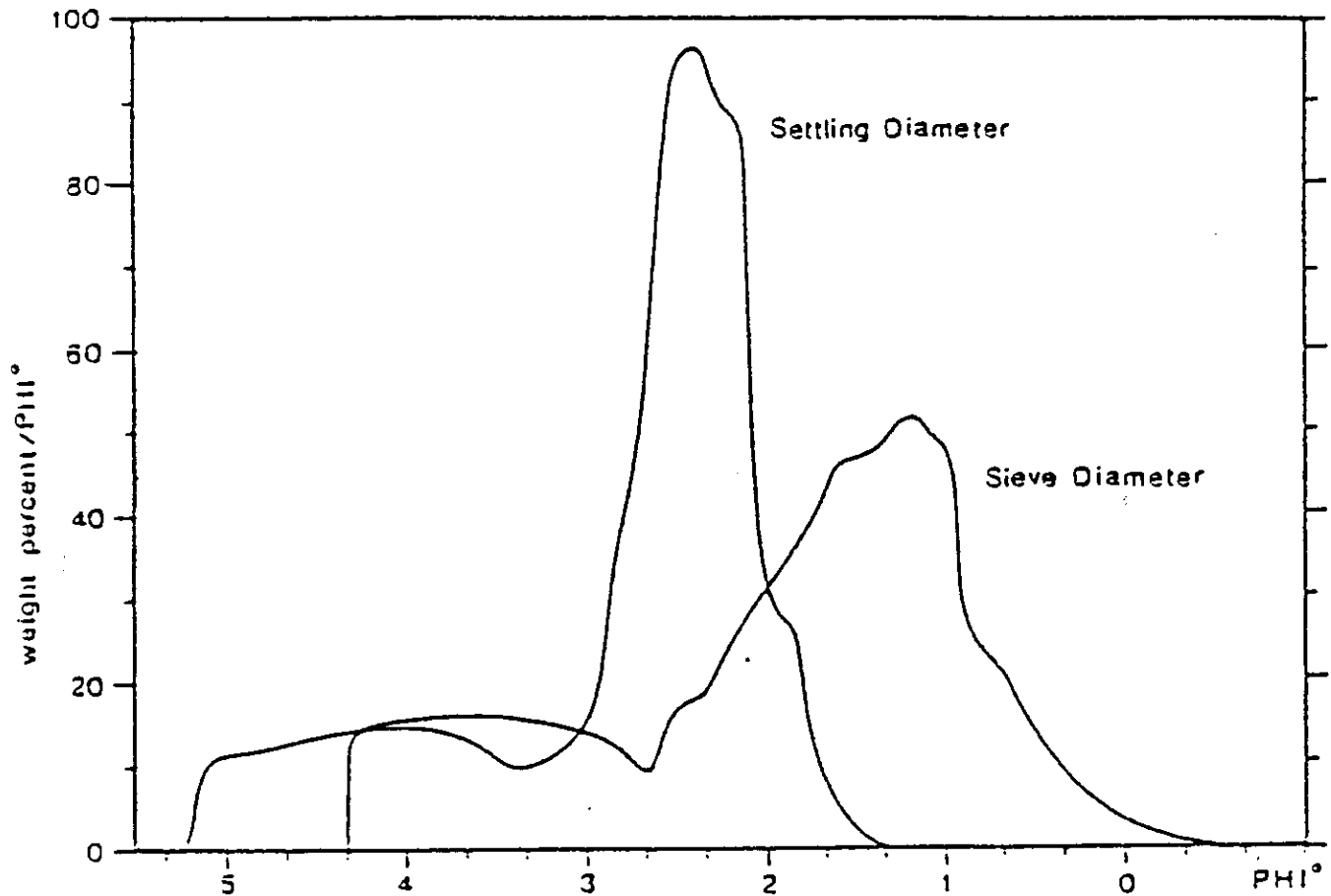


Abb. 11: Häufigkeitsverteilungen einer solchen Restsediment-situation eines Foraminiferensandes, wo - von hohen Phi-Werten kommend - ein steiler Anstieg der Häufigkeiten ab dem "sieve diameter" von etwa  $2\frac{1}{3}$  Phi-Grad (ca. 0.2 mm) auf die Immobilität noch schneller sinkender Komponenten hindeutet. Markanter ist der Restsediment-Charakter in der Kurve für den "settling diameter" (Quarzkugel-Äquivalent) der gleichen Probe.

dahingehend festgestellt werden, daß in den Fraktionen das Ausgangssediment die schnellsten Werte aufwies und die Fraktionen des transportierten Materials für verschiedene Korngrößen-Bereiche deutlich langsamer waren. Dadurch treten in den PSI-Verteilungen charakteristische Änderungen der Schiefe zwischen Ausgangssediment und den verschiedenen Transportfraktionen auf (Abb. 12).

Für die Auswertung von PSI-Verteilungen ist es notwendig, den Inhalt der verschiedenen PSI-Bereiche zu ermitteln. In Zusammenarbeit mit der Fa. GRANOMETRY wurde ein Gerät entwickelt (Abb. 13) und gebaut, das die Abtrennung von Fraktionen nach PSI zur Komponentenanalyse ermöglicht. Die Komponentenanalyse der mit diesem Sedimentations-Separator isolierten PSI-Fraktionen zeigt, daß die Gehäuse benthischer und planktischer Foraminiferen jeweils in bestimmten PSI-Intervallen konzentriert vorkommen. Die Methode wurde mit verschiedenen Probenserien erfolgreich getestet, so daß sie bei zukünftigen Arbeiten routinemäßig eingesetzt werden kann. Der markanteste Modus wird von planktischen Foraminiferen dominiert und zwar für Norwegenstrom-beeinflußte Sedimente in wechselndem Verhältnis von polaren Formen wie *Neogloboquadrina pachyderma* und subpolaren Formen wie *Globigerina quinqueloba* oder seltener *Globigerina bulloides*.

Andere Verteilungen der Sinkgeschwindigkeit (gemessen in PSI) sowie einen abweichenden Inhalt der PSI-Bereiche haben die Sedimente eines Kerns aus dem Bereich des Ostgrönlandstroms. Quarz und Gesteinsbruchstücke treten ohne ausgeprägtes Maximum in allen Intervallen des gemessenen PSI-Bereichs auf, was dem nur schwach vorsortierenden Mechanismus des Eiseintrags zuzuschreiben ist. Die planktischen Foraminiferen sind in deutlich engeren PSI-Bereichen konzentriert als unter Norwegenstrom-Beeinflussung, bedingt durch das fast ausschließliche Vorkommen von *Neogloboquadrina pachyderma*. Bei diesen PSI-Modi fallen im Profil systematische Verschiebungen des Modalwertes auf. Die Größenmessung an Gehäusen separierter PSI-Fraktionen zeigt, zusammen mit einer vorläufigen lithostratigraphischen Gliederung (Karbonatgehalt), daß diese Größenänderungen im Zusammenhang mit dem Wechsel glazial-/interglazialer Sedimentationsbedingungen stehen.

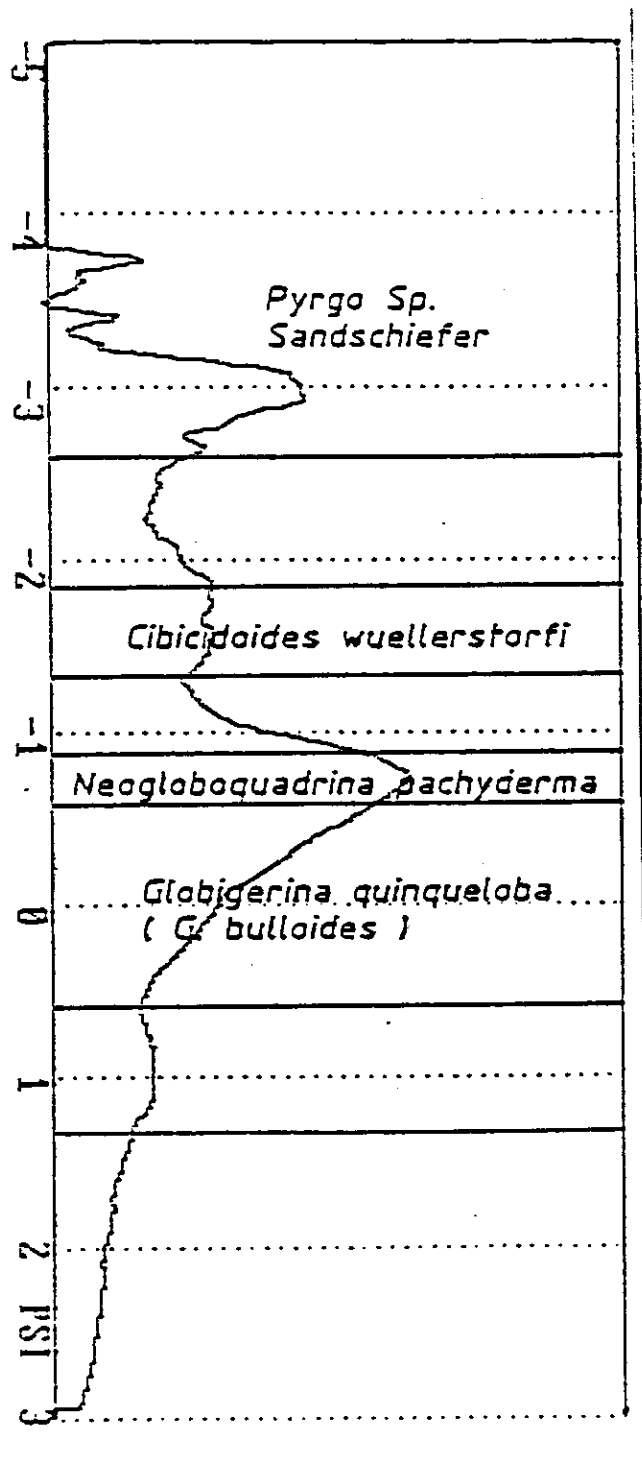


Abb. 12: Polymodale PSI-Verteilung eines Sediments aus dem vom Norwegenstrom beeinflussten Bereich des Europäischen Nordmeers.

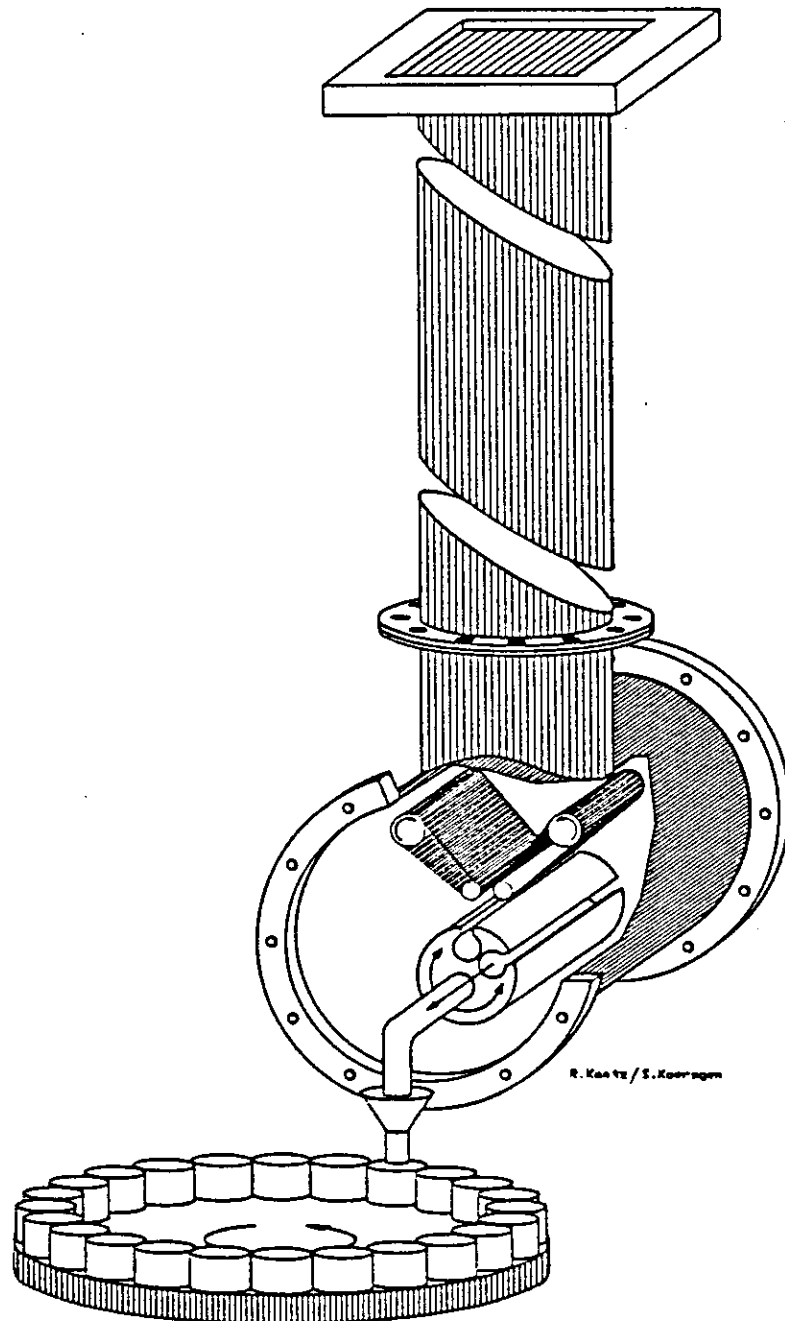


Abb. 13: Aufbau des Sedimentations-Separators



## Literatur

- Bischof, J., Koch, J., Kubisch, M., Spielhagen, R.F., Thiede, J. (in press): Nordic Seas surface ice drift reconstructions - evidence from ice rafted coal fragments during oxygen isotope stage 6. In *Glacimarine Environments Processes und Sediments*. J. A. Dowdeswell and J. D. Scourse (eds.). Geol. Soc. Spec. Publ. London.
- Bodungen, B.v., Theilen F. und Werner F. (1988): Poseidon-Reise 141-2/142, Poseidon-Reise 146/1, Poseidon-Reise 146/3, Ber. d. Fahrtleiter.- Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 11: 1-66.
- Botz, R., Erlenkeuser, H., Koch, J., Wehner, H. (in prep.): Organische Petrologie und Geochemie von Glazial/Interglazialsedimenten (O- Stadien 6/5 in der Norwegischen See.
- Brezina, J. (1979): Particle size and settling rate distributions of sand-sized materials. - 2. Europäisches Symposium "Partikelmeßtechnik", Nürnberg, Gruppe 1E (Sedimentation): 44 pp.
- Erlenkeuser, H. (1990): Glacial/Holocene contrasts of organic carbon isotope ratios in Skagerrak, Norwegian Sea, and Arctic Ocean sediments. - In: Int. Conf., Univers. of Tromsø, 2.-4.4.1990.
- Gerlach, S.A., Theilen, F. und Werner, F. (1987): Forschungsschiff Poseidon, Reise 119, Reise 120, Forschungsschiff Valdivia, Reise 201-48A, Forschungsschiff Poseidon, Reise 137. Ber. d. Fahrtleiter.- Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 5: 1-94.
- Henrich, R. (in prep.): Beckenanalyse des Europäischen Nordmeeres: Modellierung pelagischer und glaziomariner Sedimentflüsse im Zeitraum 2,6 ma bis Rezent. Habil. Schrift.
- Henrich, R., (1990): Cycles, rhythms, and events in Quaternary Arctic and Antarctic glaciomarine deposits. In Bleil U., und J. Thiede (eds): *Geological history of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic*. - NATO ASI Series C., Kluwer Acad. Publ.: 213-244.
- Henrich, R.; Kassens, H.; Vogelsang, E.; Thiede, J., (1989): Sedimentary facies of glacial-interglacial cycles in the Norwegian Sea during the last 350 ka. *Mar. Geol.* 86: 283-319.
- Jensen, P., Graf, G., Köster, M., Meier-Reil, L. und Rumohr, J. (in prep.): Biological activity along a deep-sea ridge in the Norwegian Sea exposed to advection and accumulation of pelagic material.- *Deep Sea Research*.
- Rumohr, J. (1989): Advection and accumulation of pelagic material on a ridge, northern Voering Plateau Escarpment. - EUG V, Strasbourg 20-23 March 1989: *Terra Abstracts*, 1/1: 31 pp.
- Rumohr, J. und Blaume, F. (1989): High accumulation areas on the continental slope off northern Norway and the conception of winter water cascades. - EUG V, Strasbourg 20-23 March 1989: *Terra Abstracts*, 1/1: 27 pp.

- Sarnthein, M. (1971): Oberflächensedimente im Persischen Golf und Golf von Oman. II. Quantitative Komponentenanalyse der Grobfraktion. - "Meteor"- Forsch. Ergebn., C, 5: 1-113.
- Thiede, J. (1985): Upper Quaternary accumulation - rates of marine outerSkagerak sediments: Core GIK 15530-4. In: Upper quaternary marine Skagerak (NE North Sea) deposits: Stratigraphy and depositional environment. Norrsk Geologisk Tidsskrift, 65/1-2: 125-131.
- Thiede, J., Diesen, G.W., Knudsen, B.E., Snare, T. (1986): Patterns of Cenozoic sedimentation in the Norwegian-Greenland Sea. Mar. Geol., 69: 323-352.
- Vogelsang, E. (1990). Paläo- Ozeanographie des Europäischen Nordmeeres anhand stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope. Diss. Math. Naturw. Fak. der CAU Kiel: 137 pp.

## 5.5 Ziele, Methoden, Arbeitsprogramm, Zeitplan

### Hochakkumulationsgebiete

#### Kartierung von Hochakkumulationsgebieten

In anderen topographischen und ozeanographischen Regionen als vor Mittelnorwegen ist nahe der Polarfront mit intensiverer Bildung neuer dichter Wassermassen und dementsprechend auch mit effektiveren Transportmechanismen zu rechnen. Deshalb soll der Schwerpunkt der Kartierungen nach Norden verlagert werden.

In regionaler Analogie zu Hochakkumulationsgebieten des Holozäns und der Termination I sollen entsprechende Ablagerungen der Termination II und des Isotopen-Stadiums 5e (Eem) mitkartiert und sedimentologisch untersucht werden. Ziel ist es, aus dem Vergleich der beiden Warmzeiten und den Phasen ihrer Etablierung Rückschlüsse auf paläozeanographische Veränderungen in der Deckschicht (Lage der Fronten, Schmelzwasserdeckel) und der Tiefwasserzirkulation in den Ablagerungsräumen zu ziehen (s.u. Schelf-Becken Transect). Nach Voruntersuchungen im Sommer 1990 (Meteor 13) werden sich die neuen Arbeitsgebiete in der Framstraße genauer festlegen lassen.

Hochakkumulationsgebiete am westlichen und nördlichen Kontinentalhang der Barents-See, wo nach ozeanographischen Ergebnissen mit beträchtlichen Abflüssen von Winterwasser zu rechnen ist, sollen mit dem Sediment-Echolot und anhand sedimentologischer Datensätze aus kurzen Kernen kartiert werden. Auch am ostgrönländischen Kontinentalhang, insbesondere unterhalb der topographischen Ausflüsse von Gebieten, in denen Polynias häufiger auftreten, soll nach Hochakkumulationsgebieten gesucht werden, wenn die Planung für "Polarstern" es zulässt. Nach der Eingrenzung eines Hochakkumulationsgebietes soll daraufhin mit dem Fächerlot (Hydrosweep) die Topographie potentieller Transportbahnen im Detail kartiert werden.

Am ostgrönländischen Kontinentalhang gibt es Hinweise auf südgerichteten Sedimenttransport, der im Bereich des Jan Mayen Stroms topographisch nach Osten umgelenkt wird und in asymmetrischen Sedimentwellen-Feldern in etwa 2400 m Tiefe endet. Auch hier sind hohe Akkumulationsraten, möglicherweise verstärkt durch Sedimenteintrag beim Abschmelzen von Meereis, zu erwarten. Der Fragenkomplex soll mit TP B1 gemeinsam bearbeitet werden.

In allen genannten Bereichen laufen bereits langjährige internationale ozeanographische Programme, so daß die Voraussetzungen für eine kritische Diskussion der Ergebnisse gegeben ist.

#### Ozeanographische Modelle und Messungen

Auf Grundlage der topographischen Detailkarten (Seabeam und Hydrosweep) und der Strömung-anzeigenden Bodenformen aus side-scan-Kartierungen sollen bereits erprobte ozeanographische Modelle (IfM, Hamburg) zur Simulation Topographie-geführter Strömungen in geschichteten Wasserkörpern mit gemessenen hydrographischen Vorgaben (CTD, Bodenstrommessungen) verglichen werden. Ziel ist es im Jahre 1991, verbesserte Meßstrategien für Bodenstrommessungen zu entwickeln. Im gleichen Zeitraum soll die neue Meß- und Verankerungstechnik (ADCP und Aanderaa) konstruiert und erprobt werden. 1992 sind die ersten Feldeinsätze mit Verankerungsarrays geplant (Nördliches Vøring Plateau und Bäreninsel). Von den Ergebnissen erwarten wir eine verbesserte und detailliertere Interpretation der geologischen Befunde.

#### Bioturbation, bodennahe Nepheloid-Schicht (BNL) und Advektionsbilanzen

Es soll die These überprüft werden, ob und wo biologische Resuspension, die in der Lage ist, feines Material in die Transportströmung zu geben, wesentlich zum Sedimenttransport beiträgt. Wenn diese These zutrifft, müßte das Material, das man in der BNL findet, vergleichbar mit dem sein, was im Akkumulationsgebiet vorliegt. Andernfalls wären z.B. höherenergetische Zustände für den Transport von Material, das vermutlich auch gröbere Anteile enthält, verantwortlich.

Korngrößen-Aspekte der biologisch-physikalischen Resuspension ("bio-entrainment") mit regional unterschiedlicher Tendenz zur Ausbildung biologischer Restsediment-Profile in potentiellen Liefergebieten und auf Transportbahnen zu den Hochakkumulationsgebieten sowie die Suspensionsfracht in der BNL sollen in Zusammenarbeit mit Biologen (TP A3) und Chemikern (TP A4) untersucht werden.

Anhand vorhandener Datensätze von vertikalen KG-Verteilungsprofilen sollen Import-Export-Modelle (computergestützt, z.B. mit "Stella<sup>®</sup>") auf Apple Macintosh-Basis) auf verschiedene Korngrößen-Fraktionen angewendet werden mit dem Ziel, regional abgrenzbare Systeme Liefergebiet-Transportweg-Akkumulationsgebiet zu

beschreiben und zu bilanzieren. Daraus wird sich ein Bedarf an zusätzlichen Proben ergeben. Wichtig sind biologische Daten über Bioturbationsleistungen in den oberen Zentimetern.

Bodenstrom- und Trübungs-Messungen auf möglichen Advektionsbahnen sowie Stromprofil-Messungen sollen mit einem akustischen profilierenden Strömungsmesser (ADCP) in Verbindung mit den konventionellen Aanderaa-Strömungsmessern über Akkumulationsgebieten wieder aufgenommen und in Zusammenarbeit mit Ozeanographen in Kiel und Hamburg ausgewertet werden. Nepheloidschichten am Boden und in der Wassersäule in Nähe des Kontinentalhangs sollen mit Wasserschöpfern und Unterwasser-Pumpen beprobt werden, um Partikelkonzentration, Korngrößen-Verteilungen, Kornartenzusammensetzung und weitere Sedimentparameter zu bestimmen, die einen Vergleich mit Bodensedimenten zulassen. Das Untersuchungsmaterial soll durch Filtration von Wasserschöpferproben und durch in-situ-Filtration gewonnen werden. Die Methodik der Probenahme aus der BNL mit Schöpfern und Unterwasser-Pumpen ist hinreichend etabliert. Silt-Korngrößen und -Arten lassen sich anhand von REM-Aufnahmen der Filterpräparate und einer geeigneten Bildauswertungsmethode (z.B. Ibbeken und Schleyer 1986, Mazzullo et al. 1985) dokumentieren. Ziel sind Antworten auf die Frage, welcher Anteil der Advektion relativ kontinuierlich und vorwiegend durch biologische Resuspension initiiert in den Nepheloidschichten abläuft und welcher Anteil des Transports an seltene, vorwiegend physikalisch gesteuerte Hochenergie-Ereignisse gebunden ist. Hinweise hierauf sind auch aus der Analyse der lithogenen Partikel aus den bodennahen Sinkstoffallen zu erwarten.

Neben den weiterführenden Arbeiten an einem zweiten Transect in Höhe 75°-78° zur Erfassung der Süd-Nord-Gradienten mit der kombinierten Faziesanalyse sollen die geplanten neuen Untersuchungen in ihrer stratigraphischen Reichweite auf die beiden letzten Glazial/Interglazialzyklen (Stadium 2 bis Rezent, Stadium 6 bis 5) konzentriert werden. Diese Fokussierung erlaubt durch eine erhöhte Beprobungsdichte eine genauere Erfassung der Dynamik der paläozeanographischen Veränderungen. Die Zeitabschnitte Stadium 2 bis rezent und Stadium 6 bis 5 wurden aufgrund der ähnlichen interglazialen Zirkulationsmuster ausgewählt. Somit können beispielsweise die "diagenetisch gereiften" Sedimente des Isotopenstadiums 5e mit den "diagenetisch unreifen" rezenten Sedimenten verglichen werden, und es können über Bestimmungen der diagenetischen Abbauraten des organischen Materials Veränderungen im Abbild des Produktivitätsmusters erkannt werden. Außerdem soll die möglicherweise unterschiedliche Entwicklung der beiden Deglaziationsperioden, die zu ähnlichen interglazialen Zirkulationsmustern führte, vergleichend betrachtet werden. Ziele sind:

- Bilanzierung des sedimentierten organischen Materials und Berechnung der Paläoproduktivität.
- Ableitungen von Strömungsregimes aufgrund der hydrodynamischen Eigenschaften der pelagischen und glaziomarinen Sedimentpartikel.
- Bilanzierungen des Sedimenteintrags durch Meereis und Eisberge, sowie die räumliche Erfassung und Genese spezifischer glazialer Events (Diamikte).

Über die Sinkgeschwindigkeitsbestimmung vollzieht man wesentliche Aspekte der Sedimentbildung mit einer Messung nach. Die Kartierung von PSI Modi erlaubt die Rekonstruktion vertikaler und lateraler Partikel Flüsse. Ziel ist es, aus den hydrodynamischen Sedimenteigenschaften die Strömungsregimes der Bildungsräume sowie Art und Anteil der beteiligten Eintrags- und Transportvorgänge an der heutigen Meeresoberfläche und in den Glazial/Interglazial-Zeitscheiben Isotopen-Stadium 2/1 und 6/5 zu ermitteln.

Die Untersuchungen am glaziomarinen Sedimentanteil streben eine Quantifizierung der Eintragsprozesse durch Meereis an den ausgewählten Transects und Zeitscheiben an. Die Kartierung der in den Diamiktvorkommen dokumentierten spezifischen Eintragsevents, ihre Anbindung an glaziomarine Prozeßabläufe auf den Schelfgebieten sowie deren Auswirkungen auf die ozeanographischen Zirkulationsmuster und frühdiaogenetischen Prozeßabläufe im Sediment sollen über das gesamte in den Sedimentkernen dokumentierte Zeitintervall entlang der beiden Transects verfolgt werden. Zusätzlich sollen Gesamtsediments-Bilanzierungen und Quantifizierungen spezifischer Komponenten für die einzelnen Diamikthorizonte erstellt werden.

Die Grundlage der neuen Untersuchungen bildet die kombinierte Faziesanalyse der Sedimente aus den neuen Arbeitsgebieten. Hierbei wird der unter 5.4 kurz skizzierte methodische Ansatz verfolgt (siehe auch Henrich et al. 1989), der bezüglich der Laboruntersuchungen in einem Übersichtsdiagramm zusammengefaßt ist (Abb. 14). Eine erste Kernentnahme in dem nördlichen Transect erfolgt bereits während der Meteor 13/2- und der Polarstern ARK VII/1 - Expeditionen im Sommer 1990. 1992 soll das Beprobungsnetz in diesen Gebieten verdichtet werden.

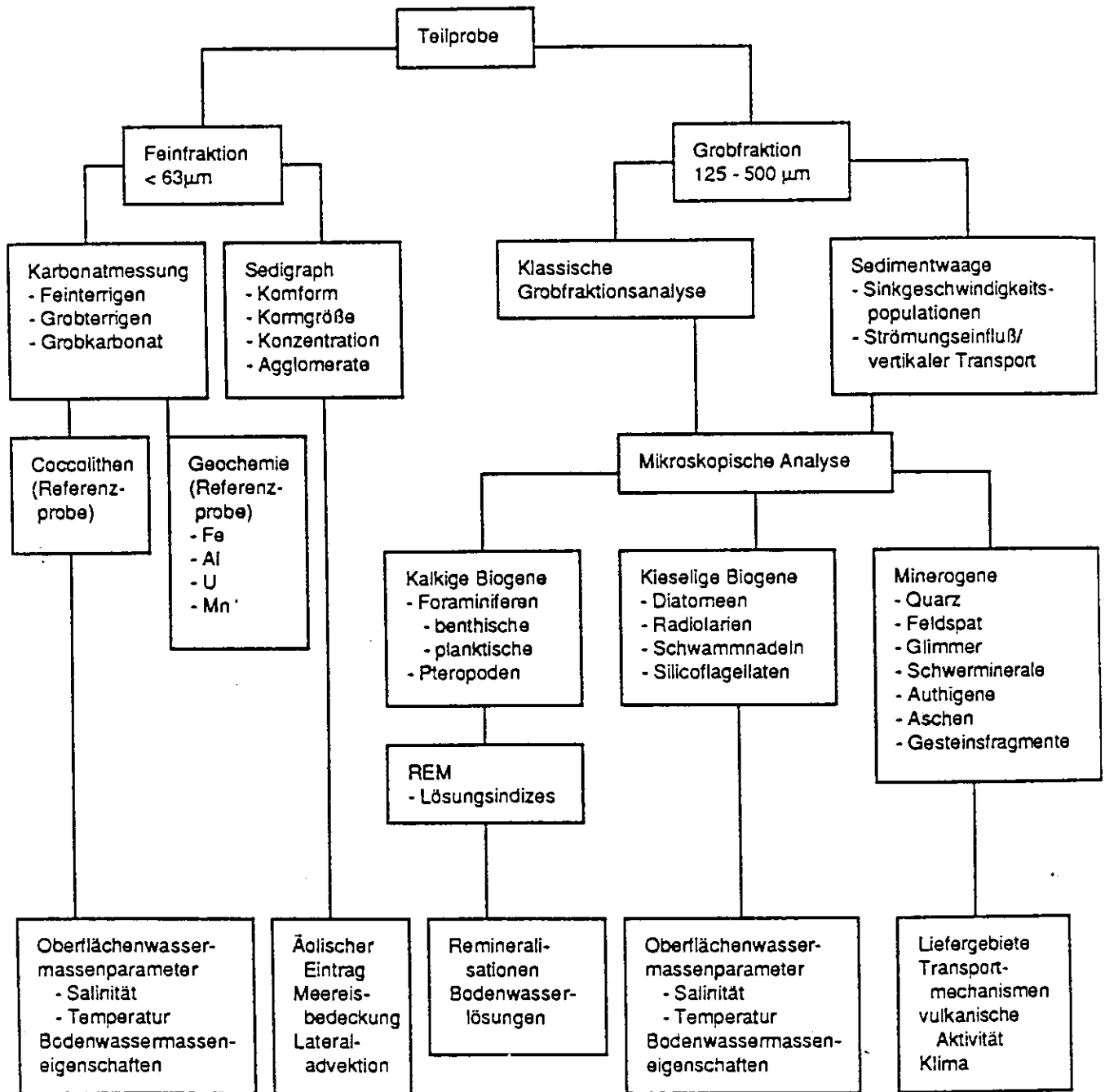


Abb. 14: Sedimentologischer Analysengang der Grob- und Feinfraktion

## Untersuchungen am organischen Material

An einer Teilprobe des Gesamtsediments (siehe Abb. 15) wird mit verschiedenen Methoden das organische Material untersucht, und zwar an einem zeitlich hochauflösenden Probensatz. Leitparameter ist der nicht weiter differenzierte organische Kohlenstoffgehalt (TOC) des Sediments. Die Messung erfolgt mit einem Leco-CNS-Analysegerät, das am GEOMAR zur Verfügung steht.

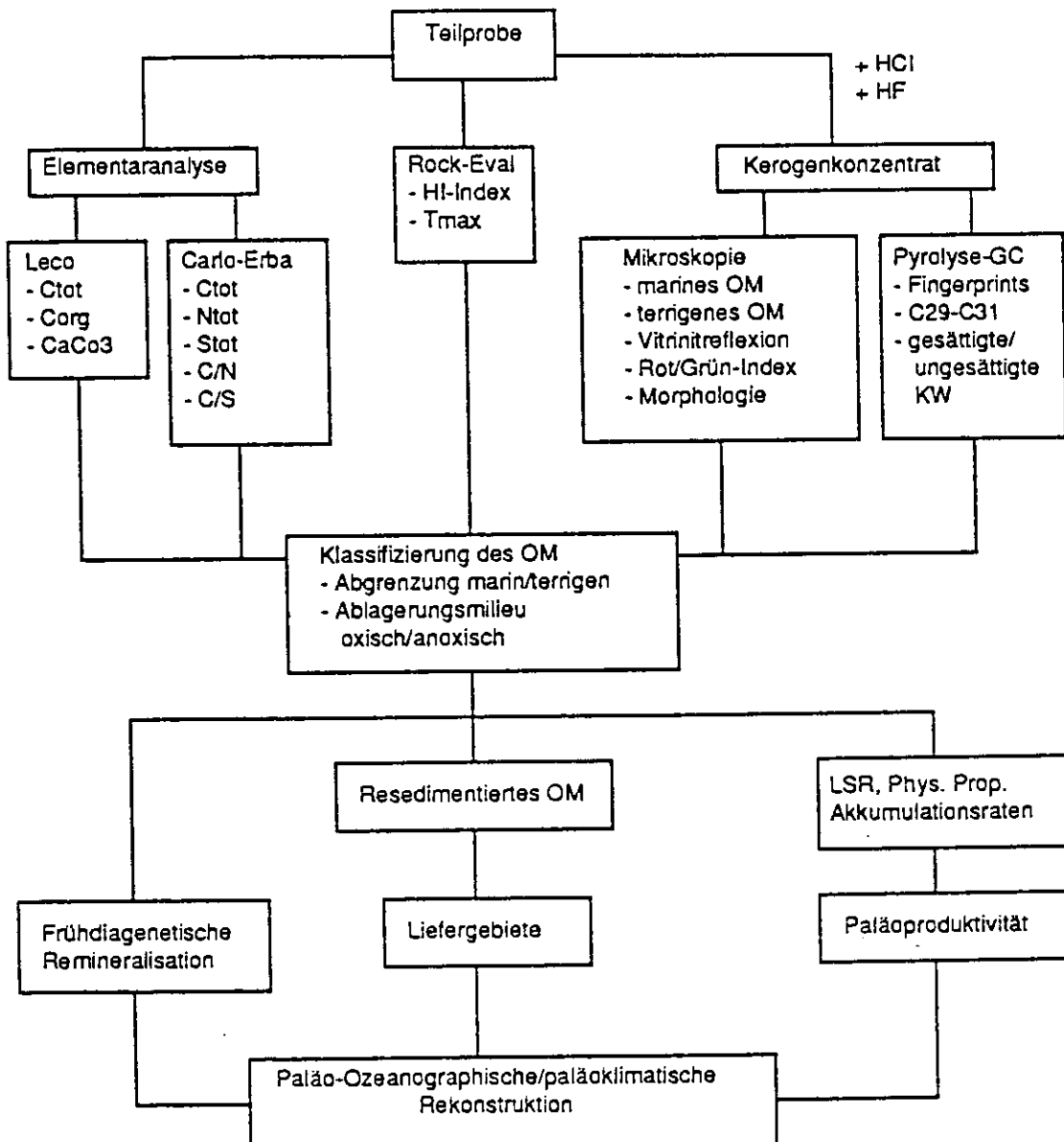


Abb. 15: Analysengang des organischen Materials

Die Klassifizierung der mikroskopisch identifizierbaren Einzelkomponenten des organischen Materials wird mit Hilfe eines am GEOMAR installierten organisch-petrographischen Mikroskops durchgeführt. Aufbauend auf der Zuordnung des marinen oder terrestrischen Ursprungs der Einzelkomponenten liefern kornmorphologische Parameter (Rundungsgrad) Hinweise auf umgelagertes, terrestrisches, organisches Material. Die Bestimmung des thermischen Reifegrades detritischer Kohlepartikel durch Messung der Vitritreflexion bei höhermaturierten Partikeln und deren Ermittlung des unter Fluoreszenzanregung gemessenen Rot/Grün-Quotienten bei niedermaturierten bis rezenten organischen Komponenten lassen Rückschlüsse auf die Liefergebiete und Transportmechanismen zu (Stein et al. 1988).

Neben der optischen Klassifizierung gibt die Pyrolyse einen differenzierenden Einblick in die chemische Zusammensetzung des organischen Materials und ermöglicht über die Charakterisierung des Kerogentyps eine nähere Bestimmung der organischen Fazies (Jones 1987). Zwei sich ergänzende Pyrolyseverfahren bieten sich zur Untersuchung rezenter bis subrezenter Sedimente an (Horsefield et al. 1983): Rock-Eval Analysen mit einem von Dr. Wiesner (GPI, Hamburg) modifizierten Verfahren (Wiesner, pers. comm.) erlauben einen hohen Probendurchsatz und geben zusammensetzungsbedingte Änderungen des organischen Materials durch verstärkten terrigenen Eintrag durch Variationen des HI-Index wieder. Gezielte Probenserien sollen dann mit dem beantragten Pyrolyse-Gaschromatographen gemessen werden. Um detailliertere Untersuchungen der einzelnen Kerogen/Protokerogenfraktionen durchzuführen und quantitative Verschiebungen in der Zusammensetzung der Pyrolysate zu erfassen, ist es nötig, diese Pyrolyseprodukte gaschromatographisch zu analysieren. Dabei zeigen charakteristische GC-Muster und deren Verschiebungen innerhalb der Probenserien die Zusammensetzung und Umwandlungen innerhalb des OM-Pools (fingerprinting) an. Anhand von GC-Mustern sollen ausgewählte charakteristische Peaks massenspektrometrisch bestimmt werden. Darüber hinaus liefert das Verhältnis von aromatischen zu nichtaromatischen Kohlenwasserstoffverbindungen sowie das Auftreten von langkettigen Aliphaten mit einer "odd/even" Predominanz, weiterführende Informationen über den marinen bzw. terrigenen Anteil am TOC. Diesen Untersuchungen kommt in der Beurteilung von Paläoproduktivitäts-Berechnungen eine wichtige Rolle zu.

Elementaranalysen am organischen Material sollen am GPI Kiel mit einem Carlo-Erba HCNO-Analyser durchgeführt werden. Dieses Gerät erlaubt einen hohen Probendurchsatz, vergleichbar mit dem des Rock-Eval und des Leco. Unterschiedliche C/N Verhältnisse mariner (<5) und terrigener (>10) organischer Substanzen dienen zur weiteren Abgrenzung des Ursprungs des organischen Materials und sollen zur Überprüfung der bisher beschriebenen Methoden genutzt werden. Salinitätsschwankungen werden durch sich variable C/S Verhältnisse dokumentiert.



$\delta^{13}\text{C}$ -Messungen an der organischen Substanz werden von Dr. Erlenkeuser am IFK, Kiel, durchgeführt. Werte zwischen  $-26\text{‰}$  bis  $-28\text{‰}$  entsprechen terrigenem organischen Material. Demgegenüber weisen typische marine Organismen Werte von  $-18\text{‰}$  bis  $-22\text{‰}$  auf.

### Sinkgeschwindigkeits-Verteilungen von Grob- und Feinfraktion

Der Ton- bis Sandanteil der Sedimente, wird über ein einheitliches Meßprinzip, die Sedimentation in Wasser, gemessen. Dies wird im STOKES'schen Sedimentationsbereich, wo eine lineare Beziehung zwischen Widerstandsbeiwert und Reynoldszahl, resp. zwischen Korngröße und Sinkgeschwindigkeit besteht, mit dem SEDIGRAPH 5000 durchgeführt. Aus der Abschwächung einer Röntgenstrahlung beim Passieren der Probensuspension in Zeit und aus der Höhe der suspensionsgefüllten Sedimentationsssäule wird die PSI-Verteilung der enthaltenen Partikel bestimmt. Stein (1985) kommt bei Gewährleistung sorgfältiger Probenpräparation, wie der vollständigen Partikeldispersierung und durch Verwenden sehr niedriger Suspensionskonzentrationen zu guter Vergleichbarkeit mit der ATTERBERG-Methode. PSI-Verteilungen werden aber auch für den Sedimentanteil bestimmt, für den die Partikelgröße nur einer der Faktoren ist, die das hydrodynamische Verhalten beeinflussen. Die hierfür eingesetzte Sedimentationswaage mißt kontinuierlich den Gewichtszuwachs während der Sedimentation. Die so bestimmten PSI-Verteilungen müssen jedoch in den verschiedenen PSI-Bereichen auf ihre partikuläre Zusammensetzung geprüft werden, um vor einer Interpretation auf Effekte durch Strömungsänderung beispielsweise autochthone Komponenten sicher ausscheiden zu können. Nach Gruppenbildung von Sedimenten mit ähnlichen PSI-Verteilungen werden hierzu mit dem neuentwickelten Separator PSI-Fraktionen abgetrennt und deren Zusammensetzung untersucht.

### Literatur

- Henrich R, Kassens H, Vogelsang E, and Thiede J (1989): Sedimentary facies of glacial- interglacial cycles in the Norwegian Sea during the last 350 ka. *Mar Geol* 86: 283-31.
- Horsefield, B., H. Dembicki Jr., and T. T. Y. Ho. (1983): Some potential applications of pyrolysis to basin studies. *J. geol. Soc. London* Vol.140. : 431-443.
- Ibbeken, H. und Schleyer, R. (1986): Photo-Sieving: A method for grain-size analysis of coarse grained, unconsolidated bedding surfaces.- *Earth Surface Processes and Landforms*, 11: 59-77.
- Jones, R. W. (1987) Organic facies. *Advances in Petroleum Geochemistry*, 2: 1-90.
- Mazzullo, J. und Kennedy, S.K. (1985): Automated measurements of the nominal sectional diameters of individual sedimentary particles.- *J. of Sedimentary Res. Methods Papers*, 55/4: 593-595.

Stein, R., Rullkötter, J., Littke, R., Schaefer, R. G., und Welte, D. H. 1988. Organofazies reconstruction and lipid geochemistry of sediments from the Galicia Margin, Northeast Atlantic (ODP Leg 103). - In G. Boillot, E. L. Winterer, Proc. ODP, Sci. Results, College Station, TX, (ODP), 103: 567-585.

### 5.6 Stellung innerhalb des Sonderforschungsbereiches

Die sedimentologischen Arbeiten und ozeanographischen Messungen zu rezenten und subrezentem Advektions-Prozessen stellen für den A-Bereich Bezüge her zur bodennahen Ozeanographie. Am Fallmaterial aus dem TP A1 soll die Untersuchung der lithogenen Partikel Hinweise liefern über Zeiten der Resuspension. Für das TP A3 ist die Kenntnis der Sedimentologie eine wichtige Vorarbeit für die Untersuchung benthischer Reaktionen und regional unterschiedlicher Besiedlungsmuster. Andererseits sind Untersuchungen zur Resuspension und Biodeposition unverzichtbar für das Verständnis des Sedimenttransports in der Tiefsee. Deshalb sind gemeinsame Untersuchungen in der Bioturbationsschicht und der bodennahen Nepheloidschicht mit unterschiedlichen Schwerpunkten zu verschiedenen Jahreszeiten vorgesehen. Im TP A4 werden die Arbeiten ergänzt durch Untersuchungen zur Verweilzeit von Partikeln in der BNL.

Die Untersuchungen am organischen Material aus Sedimentkernen werden in enger wissenschaftlicher und personeller Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt A4 durchgeführt. Im Teilprojekt A4 liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen am organischen Material in einer übersichtsmäßigen Erfassung aller organisch-petrographischen und geochemischen Parameter am Beispiel eines Kernes unter Anwendung eines methodisch breitgefächerten Ansatzes. Die Arbeiten am organischen Material im Teilprojekt A2 verfolgen - unter Berücksichtigung der im Teilprojekt A4 gewonnenen Erfahrungen - spezifische sedimentologisch/paläo-ozeanographisch ausgerichtete Fragestellungen an den beiden ausgewählten Transects und Zeitschnitten. Die im Teilprojekt A2 entwickelten sedimentologischen Modelle und Bilanzierungen sollen in ihrer räumlichen Ausdehnung kartiert werden unter Einbindung der im Teilprojekt B1 gewonnenen hochauflösenden, flachseismischen Befunde.

Die im Teilprojekt A2 erarbeiteten sedimentologischen Datensätze bilden eine wichtige Grundlage für die im Teilprojekt B2 geplanten paläo-ozeanographischen Rekonstruktionen ausgewählter Zeitscheiben und palökologische Analysen des Teilprojekts B3.

6. TEILPROJEKT A3: Besiedlungsmuster und Stoffeintrag im Benthal

6.11 Fachgebiete und Arbeitsrichtung: Benthosökologie, Biologische Meereskunde, Paläontologie, Kernphysik

6.12 Leiter:

Priv. Doz. Dr. habil. G. Graf  
Institut für Meereskunde  
an der Universität Kiel  
Düsternbrooker Weg 20  
2300 Kiel  
Tel. (0431)880-2371

Dr. G. Hubold  
Institut für Polar-  
ökologie an der  
Universität Kiel  
Leibnitzstr. 11-19  
2300 Kiel  
Tel. (0431)880-4564

6.13 Personal Anfang 1991

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
------------------------------------	-----------------------------	---	-------------------------

Grundausrüstung: Wissenschaftler

1) Barthel, D. Dr., Hochschul- ass.	Benthosökologie IfM	10	12/89
2) Erlenkeuser, H. Dr., wiss. Ang.	Kernphysik IfK	10	7/85
3) Gerlach, S.A. Dr., Prof.	Benthosökologie IfM	beratend	7/85
4) Graf, G. Dr., Priv. Doz., Oberass.	Benthosökologie IfM	20	7/85
5) Hagen, W. Dr., Hochschul- ass.	Biol. Meereskunde IPÖ	5	12/89
6) Hempel, G. Dr., Prof.	Biol. Meereskunde IPÖ	beratend	12/89
7) Hubold, G. Dr., Hochschul- ass.	Biol. Meereskunde IPÖ	10	12/89
8) Rumohr, J. Dr., wiss. Ang.	Sedimentologie GEOMAR	beratend	7/85
9) Schäfer, P. Dr., Prof.	Paläontologie GPI	5	2/89

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
<u>Grundausrüstung: nichtwiss. Mitarbeiter</u>			
10) Beumelburg, H. Büroangest.	IfM	5	7/85
11) Cordt, H.H. Techniker	IfK	10	7/85
12) Gumz, M. Techniker	IfK	20	7/85
13) Janssen, G. techn. Ang.	IPÖ	10	1/91
14) Martens, V. Techniker	IfM	10	7/85
15) Petersen, M. Büroangest.	GPI	5	1/91
16) Rapp, F.-P. Techniker	IPÖ	10	1/91
17) Reimers, W. techn. Ang.	GPI	5	7/85
18) Stadelbauer, B. techn. Ang.	GPI	5	1/91
<u>Ergänzungsausstattung: Wissenschaftler</u>			
19) Linke, P. Dr., wiss. Ang.	Benthosökologie IfM	38,5	5/86
20) Juterzenka, K.v. Dipl. Biol. Doktorandin	Benthosökologie IPÖ	19,25	2/91
21) Thomsen, L. Dipl. Biol., Doktorand	Benthosökologie IfM	19,25	1/90
<u>Ergänzungsausstattung: nichtwiss. Mitarbeiter</u>			
22) Scheltz, A. techn. Ang.	SFB 313	38,5	7/85

## 6.2 Zusammenfassung

Im Teilprojekt A3 standen bisher die Reaktionen des Benthos auf pulsartige Sedimentationsereignisse im Mittelpunkt. 1991-1993 sollen die Untersuchungen über die benthisch-pelagische Kopplung mehr auf die Wechselwirkung zwischen den oberflächlichen Sedimentschichten und der Boden-Nepheloid-Schicht (Bottom Nepheloid Layer - BNL) verlagert werden. Unmittelbar oberhalb des Sedimentes ist der laterale Partikelfluß bis zu 2 Größenordnungen

größer als der vertikale. Es wird davon ausgegangen, daß die Stoffflüsse in der BNL die Besiedlungsmuster der Benthosorganismen bedingen, während diese ihrerseits zur Existenz dieser Schicht beitragen und die bodennahen Gradienten beeinflussen. Diese Hypothese soll zunächst am Barentssee-Hang von der Kante des hochproduktiven Schelfes bis zum Fuß des Kontinentalhanges, später dann auf der eisbedeckten grönländischen Seite des Europäischen Nordmeeres überprüft werden. In-situ sollen bodennahe Gradienten mit Hilfe eines neu zu konstruierenden Bodenwasserschöpfers aufgelöst werden. Laterale Advektion, Biodeposition, Bioresuspension und Bioirrigation werden im Detail untersucht. Kurzfristige Bioturbationseffekte im Sediment können mit den langfristigen, durch Isotope wie  $^{210}\text{Pb}$  meßbaren Effekten verglichen werden, um ein summarisches Modell zu erstellen. Die Besiedlungsmuster sollen alle Größenklassen von Bakterien bis zur großen, vagilen Epifauna umfassen. Besonders berücksichtigt werden soll die Sonderstellung der großen Organismen in Bezug auf Biomasse und Stoffumsatz. Für Arbeiten mit lebender Fauna soll eine mittelfristige Hälterung in einem Kühlcontainer erfolgen.

### 6.3 Stand der Forschung

Ein im Pelagial produzierter Nahrungspartikel, der zum Meeresboden sedimentiert, trifft einige hundert Meter oberhalb des Sedimentes auf die Nepheloidschicht. Diese Schicht ist durch eine erhöhte Partikelkonzentration gekennzeichnet (Jerlov 1953) und wird auch als Bottom Nepheloid Layer (BNL) bezeichnet (McCave 1986). Ihre obere Grenze wird durch ein Attenuationsminimum definiert (Biscaye und Eitrem 1976). Die Attenuation nimmt mit der Tiefe zunächst logarithmisch zu, bleibt aber die ca. letzten 100 m aufgrund regelmäßiger Durchmischung konstant (Bottom Mixed Nepheloid Layer - BMNL; McCave 1986). Unmittelbar in Bodennähe können zusätzliche Schichten unterschieden werden. Da langsame Strömungsgeschwindigkeiten ( $< 1-2 \text{ cm sec}^{-1}$ ) immer noch 10mal so schnell sind wie sehr hohe Sedimentationsgeschwindigkeiten, scheinen aus Sicht der Benthosorganismen die Nahrungspartikel fast parallel oberhalb der Sedimentoberfläche vorbeizudriften. Innerhalb des letzten Meters über dem Sediment entsteht dabei eine turbulente Grenzschicht, in der die mittlere Strömungsgeschwindigkeit aufgrund der Reibung am Sediment zunächst logarithmisch (Log-layer) und auf den letzten Millimetern linear (Viscous Sublayer) abnimmt (Unsöld 1984). Die Fracht der lateral über dem Meeresboden transportierten Partikel kann zu einer Erhöhung um 2 Größenordnungen gegenüber dem vertikalen Partikelfluß führen.

Versuche in Strömungskanälen zeigten, daß dadurch eine hydrodynamisch bedingte Sortierung der Partikel eintritt, die zusätzlich durch selektives Filtrieren der Benthosorganismen verstärkt werden kann (Muschenheim 1987).

Basierend auf Messungen von  $^{234}\text{Thorium}$ , einem kurzlebigen Isotop mit einer Halbwertszeit von 24d, zeigte sich, daß in der BNL

ein Isotopendefizit auftritt, das nur durch eine Adsorption (scavenging) durch ältere, vom Meeresboden resuspendierte Partikel erklärbar ist (Bacon und Rutgers van der Loeff 1989). Für die Partikel der BNL am Fuß des Nordostatlantischen Kontinentalhanges wurde so eine durchschnittliche Verweilzeit von 25 Tagen errechnet; man muß davon ausgehen, daß ein erheblicher Massenfluß in Form von Partikeln ständig vom Meeresboden ausgeht und wieder sedimentiert. Dieser Fluß ist bis zu einem Faktor 100 größer als der vertikale Nettofluß aus dem Pelagial. Zu dem gleichen Resultat kommen Richardson und Hollister (1987), die in einer Sinkstofffalle 10 m über dem Sediment des Island-Kontinentalhanges 100 mal mehr Partikel fingen als 500 m über dem Sediment.

Tiefseestürme, bei denen Strömungsgeschwindigkeiten von  $> 23 \text{ cm sec}^{-1}$  auftreten können, sind ein wesentlicher Grund für Resuspension in diesen Wassertiefen (Aller 1989). Sie treten allerdings durchschnittlich nur alle 10 Monate auf und sind somit keine Erklärung für die kurzen Verweilzeiten in der Bottom Mixed Nepheloid Layer. Daraus kann der Schluß gezogen werden, daß die biologische Resuspension ein entscheidender Faktor ist, der auch bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten Partikel so hoch in das bodennahe Wasser transportiert, daß sie in die BMNL zurückgelangen. In Bodennähe entstehen Gradienten bei der Partikelzusammensetzung, die bereits von Sternberg et al. (1986) mit einem speziell entwickelten Bodenwasserschöpfer oder von Smith et al. (1987) unter Einsatz eines Tauchbootes gemessen wurden.

Auf resuspendierten Tiefseepartikeln kann es bis zu einer 10fachen Vermehrung von Bakterien im Vergleich zu Sedimentpartikeln kommen (Wainright 1987), so daß zusammen mit der an sich schon erhöhten Partikelkonzentration in der BNL ein attraktiver Lebensraum für filtrierendes Zooplankton entsteht. Dies ist als eine bedeutende zusätzliche Quelle von als Nahrung verwertbarem Kohlenstoff, wobei bereits eine geringe Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten eine mehrfach erhöhte Partikelresuspension bedeutet (Wainright 1990). Childress et al. (1989) beschreiben eine Tiefenzonierung von Medusen in den 150 m oberhalb eines Tiefseesedimentes im Santa Catalina Basin. Auch der Stoffumsatz der BNL ist erhöht; die Sauerstoffzehrung des resuspendierten Materials in der BNL ist genauso hoch wie die Zehrung des Sedimentes (Smith et al. 1987).

An einem Kontinentalhang wird der bodennahe Partikelstrom zusätzlich durch einen hangabwärts gerichteten Fluß verstärkt, der Nahrung vom Schelfgebiet transportiert. Insbesondere an der Schelfkante sind deshalb zahlreiche Filtrierer zu vermuten. Vor allem Schwämme dürften von Bedeutung sein, die auf dem Schelf vor Tromsø in über 200 Arten mit ungewöhnlich hoher Siedlungsdichte vorkommen (Könnecker 1989). Auch Kalkschwämme sind im Europäischen Nordmeer weit verbreitet (Tendal 1989). Schwämme sind sehr effektive Filtrierer, die 80-100% der 4-12  $\mu\text{m}$  großen Partikel aus Suspensionen herausfangen können (Reiswig 1971).

In den Schelfgemeinschaften des Europäischen Nordmeeres spielen auch vagile Hyperbenthosorganismen (z.B. Krebse, Fische) eine große Rolle, die dort beträchtliche Biomassen aufweisen und in ihrer Verteilung eine klare Zonierung zeigen.

Das Benthos ist eine Lebensgemeinschaft von Organismen aus einem sehr breiten Größen- und Lebensformenspektrum (von Mikroorganismen bis zu Fischen), die sich in Biomasse und Stoffumsatz stark unterscheiden. Eine Aufschlüsselung in die Anteile der einzelnen Organismengruppen oder in Größenklassen ist aber bisher erst selten gelungen (Zaptsepin und Rittikh 1976). Dies liegt an der mangelnden Kombination von ausreichend vielen Greiferproben und flächendeckenden Methoden wie Trawlfängen sowie Foto- und Videoaufnahmen des Meeresbodens in einer integrierten Studie. Besonders der Anteil großer Tiere, die nur mit aufwendigen Großgeräten zu erfassen sind, ist schwer abzuschätzen.

Das topographisch gesteuerte Bodenströmungsmuster und damit auch der advective Partikelfluß determinieren die benthischen Besiedlungsmuster hochantarktischer Schelfgebiete (Barry und Dayton 1988). Bei der detaillierten Analyse der räumlichen Verteilung epibenthischer Organismen auf unterschiedlichen Skalen hat sich die flächendeckende Erfassung mit Unterwasser-Foto und -Videosonden als unentbehrlich erwiesen (Grassle et al. 1975). Daneben liefern diese Methoden sehr präzise Abundanzwerte und in-situ Ansichten der benthischen Habitate und damit wichtige Informationen für die Interpretation der kleinräumigen Besiedlung (Jumars und Eckman 1983). Die optisch erfaßten benthischen Verteilungsmuster können mit modernen autokorrelativen und geostatistischen Verfahren (Sokal und Oden 1978) quantitativ ausgewertet werden, d.h. mit Methoden, die sonst nur in Studien mit direktem Zugang zu den Beprobungsflächen verwendet wurden, wie z.B. im terrestrischen Bereich (Nielsen und Alemi 1989), im Wattenmeer (Reise 1979) oder bei Großkastengreiferproben (Volckaert 1987).

Es wird vermutet, daß in nördlichen Breiten ein besonders hoher Anteil des Energieflusses durch die benthische Nahrungskette geht (Petersen 1989). Bisher gibt es jedoch kaum detaillierte Untersuchungen zum Energiestoffwechsel von benthischen Makrobenthos-tieren der Arktis (Clarke 1983). Es gibt Hinweise, daß Lipide, wie für pelagische Arten arktischer und antarktischer Breiten nachgewiesen (Percy und Fife 1981; Hagen 1988), auch von arktischen Benthos-tieren zur Energiespeicherung genutzt werden und so den Organismen über die nahrungsarmen Zeiten in den durch große saisonale Produktionsschwankungen charakterisierten polaren Lebensräumen hinweghelfen (Sargent 1976). Außerdem legen Ergebnisse von Einzelstudien an antarktischen Organismen nahe, daß Lipidsynthese und -akkumulation für die Produktion der Nachkommenschaft wichtig sind (McClintock 1989). Respirationsraten als Parameter des Stoffumsatzes sind bei vielen Poikilothermen sehr gering (Scholander et al. 1953, Holton 1974). Hochangepaßte Arten aus polaren Meeren können jedoch auch sehr hohe metabolische Leistungen aufweisen (McDonald et al. 1987, Holton 1974). Mit Hilfe populationsdynamischer Untersuchungen konnten für ausgewählte Arten des Makrobenthos, wie z.B. hyperbenthische Krebse, Produktionsschätzungen durchgeführt werden.

## Literatur

- Aller, J.Y. (1989): Quantifying sediment disturbance by bottom currents and its effect on benthic communities in a deep-sea western boundary zone. *Deep-Sea Res.*, 36: 901-934.
- Bacon, P.B. und Rutger van der Loeff, M.M. (1989): Removal of Thorium-234 by scavenging in the bottom nepheloid layer of the ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, 92: 157-164.
- Barry, J.P. und Dayton, P.K. (1988): Current patterns in McMurdo Sound, Antarctica and their relationship to local biotic communities. *Polar Biol.*, 8: 367-376.
- Biscaye, P.E. und Eittreim S.L. (1976): Suspended particulate loads and transports in the nepheloid layer of the abyssal Atlantic Ocean. *Marine Geol.*, 23: 155-172.
- Childress, J.J., Gluck, D.L., Carney, R.S. und Gowing, M.M. (1989): Benthopelagic biomass distribution and oxygen consumption in a deep-sea benthic boundary layer dominated by gelatinous organisms. *Limnol. Oceanogr.*, 34: 913-930.
- Clarke, A. (1983): Life in cold water: The physiological ecology of polar marine ectotherms. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 21: 341-453.
- Grassle, J.F., Sanders, H.L., Hessler, R.R., Rowe, G.T. und McLean, T. (1975): Pattern and zonation: A study of the bathyal megafauna using the research submarine Alvin. *Deep-Sea Res.*, 22: 457-481.
- Hagen, W. (1988): Zur Bedeutung der Lipide im antarktischen Zooplankton. *Ber. Polarforsch.*: 49 pp.
- Holton, G.F. (1974): Metabolic cold adaptations of polar fish: fact or artefact? *Physiol. Zool.*, 47: 137-153.
- Jerlo, N.G. (1953): Particle distribution in the ocean. *Rept. Swedish Deep-Sea Exped.*, 3: 73-97.
- Jumars, P.A. und Eckman, J.E. (1983): Spatial structure within deep-sea benthic communities.- In: Rowe, G.T. (Ed.): *The Sea VII: Deep-sea biology*. Wiley und Sons, New York: 399-451.
- Könnecker, G. (1989): *Plectroninia Norvegica* sp. nov. (Calcarea Minchinellidae), a new 'Pharetronid' sponge from the North Atlantic. *Sarsia*, 74: 131-135.
- McDonald, J.A., Montgomery, J.C. und Wells, R.G.M. (1987): Comparative physiology of antarctic fishes. *Advances in Marine Biology*, 24: 321-388.
- McCave, I.N. (1986): Local and global aspects of the bottom nepheloid layers in the world ocean. *Netherlands Journal of Sea Research*, 20: 167-181.
- McClintock, J.B. (1989): Energetic composition, reproductive output and resource allocation of antarctic echinoids. *Polar Biol.*, 9: 147-153.
- Muschenheim, D.K. (1987): The role of hydrodynamic sorting of seston in the nutrition of a benthic suspension feeder, *Spio setosa* (polychaeta: Spionidae). *Biol. Oceanography*, 4: 265-289.
- Nielsen, D.R. und Alemi, A.H. (1989): Statistical opportunities for analyzing spatial and temporal heterogeneity of field soils-Plant and Soil, 115: 285-296.
- Percy, J.A. und Fife, J.F. (1981): The biochemical composition and energy content of arctic marine macrozooplankton. *Arctic*, 34: 307-313.



- Petersen, G.H. (1989): Benthos, an important compartment in northern aquatic ecosystems. - In: Rey, L. und Alexander, V. (Eds.): Marine Living Systems of the Far North. Proc. 6th Conf. Comite Arctique International. Brill, Leiden: 162-176.
- Reise, K. (1979): Spatial configurations generated by mobile benthic polychaetes. Helgoländer wiss. Meeresunter., 32: 55-72.
- Reiswig, H.M. (1971): Particle feeding in natural populations of three marine demosponges. Biol. Bull., 141: 568-591.
- Richardson, M.J. und Hollister, C.D. (1987): Compositional changes in particulate matter on the Iceland Rise, through the water column, and at the seafloor. Journal of Marine Research, 45: 175-200.
- Sargent, J.R. (1976): Structure, metabolism and function of lipids in marine organisms. - In: Malins, D.C. und Sargent, J.R. (Eds.): Biochemical and biophysical perspectives in marine biology. Academic Press, London: 149-212.
- Scholander, P.F., Flagg, W., Walters, V. und Irving, L. (1953): Climatic adaptation in Arctic and Tropical Poikilotherms. Physiological Zoology, 26: 67-92.
- Smith, K.L., Carlucci, A.F., Jahnke, R.A. und Craven, D.B. (1987): Organic carbon mineralization in the Santa Clara Basin: benthic boundary layer metabolism. Deep-Sea Res., 34: 185-211.
- Sokal, R.R. und Oden, N.L. (1978): Spatial autocorrelation in biology: 1. Methodology. Biol. Linn. Soc., 10: 199-228.
- Sternberg, R.W., Johnson, R.V., Cacchione, D.A. und Drake, D.E. (1986): An instrument system for monitoring and sampling suspended sediment in the Benthic Boundary Layer. Marine Geology, 71 : 187-199.
- Tendal, O. (1989): Calcerous sponges in the abyssal Norwegian and Greenland Seas. Deep-Sea Newsletter 15 February 1989.
- Unsöld, G. (1984): Der Transportbeginn feinstkörnigen rolligen Sohlmaterials in gleichförmigen turbulenten Strömungen: Eine experimentelle Überprüfung und Erweiterung der SHIELDS-Funktion. Reports Sonderforschungsbereich 95, Uni Kiel, 70: 141 pp.
- Volckaert, F. (1987): Spatial pattern of soft-bottom polychaeta of Nova Scotia, Canada. Mar. Biol., 93: 627-639.
- Voß, J. (1988): Zoogeographie und Gemeinschaftsanalyse des Makrozoobenthos des Weddellmeeres (Antarktis). Ber. Polarforschung, 45: 145 pp.
- Wainright, S.C. (1987): Stimulation of heterotrophic microplankton production by resuspended marine sediments. Science, 23: 1710-1711.
- Wainright, S.C. (1990): Sediment-to-water fluxes of particulate material and microbes by resuspension and their contribution to the planktonic food web. Marine Ecol. Prog. Ser., 62: 271-281.
- Zaptsepin, V.I. und Rittikh, L.A. (1976): Quantitative distribution of macrozoobenthos in the Norwegian Sea and southern part of the Greenland Sea. Oceanology, 16: 397-400.

#### 6.4 Eigene Vorarbeiten

Die ausgeprägt saisonale Primärproduktion im Pelagial des Europäischen Nordmeeres führt zu zwei Sedimentationsereignissen im Frühjahr und Herbst, die für das Benthos von Bedeutung sind (Graf 1988). Auf das Absinken von Copepodenkotballen während des Frühjahrs erfolgt eine unmittelbare Stoffwechselreaktion im Benthos (Graf 1990), auch die experimentelle Simulation des Zusammenbruchs der Algenpopulation im Spätsommer zeigte eine ähnliche Reaktion im Herbst (Graf MS, Meyer-Reil und Köster MS, Linke et al. MS, siehe Berichtsband). Bei benthischen Foraminiferen ließ sich eine spezielle Anpassung im Adenosin-Nukleotid-Gehalt nachweisen, die das schnelle "Aufwachen" auf einen Nahrungspuls ermöglicht (Linke 1989). Elektronenmikroskopische Aufnahmen von Nahrungsvakuolen belegen, daß die Foraminiferen direkt große Mengen von im Pelagial produzierten Partikeln aufnehmen (Heeger 1990). In der Nähe der Eiskante auf der grönländischen Seite des Europäischen Nordmeeres sedimentieren ganze Diatomeenblüten, die dort am Meeresboden ein noch stärkeres Signal, z.B. in Form von Chlorophyll a, hinterlassen als auf dem Vøring-Plateau.

Neben der schnellen Reaktion der benthischen Lebensgemeinschaft konnte auch eine schnelle Tiefenwirkung der Sedimentationsereignisse innerhalb des Sedimentes nachgewiesen werden (Graf MS), die bei Eintreffen von Nahrung sehr viel ausgeprägter ist als bei biologisch belanglosen Signalen, wie sie der radioaktive Fall-Out von <sup>137</sup>Cäsium bedeutet (Erlenkeuser und Balzer 1988). Die hohe Bioturbationsgeschwindigkeit ( $> 1 \text{ cm d}^{-1}$ ) bei Nahrungseintrag erklärt sich durch das Verhalten der Makrofauna, insbesondere der Sipunculiden und Enteropneusten, welche Nahrungspartikel von der Oberfläche durch ihre zahlreichen Gänge in tiefere Sedimentschichten ziehen (Romero-Wetzel 1987, 1989). Ein Hälterungsexperiment an Bord von FS Meteor hat ergeben, daß Tiere polarer Breiten aus bis zu 1500 m Wassertiefe mehrere Wochen lang im Labor gehalten werden können, ohne daß Druckeffekte wesentlich sind. Als problematisch erwiesen sich allerdings geringe Temperaturerhöhungen;  $6^{\circ}\text{C}$  wirkten bereits lethal (Graf MS). Erfahrungen liegen sowohl zur langfristigen Hälterung und stoffwechselphysiologischen Untersuchung von Benthostieren und Fischen aus beiden Polargebieten bei extrem niedrigen in situ Temperaturen (Saint-Paul et al. 1988) als auch zur Kultivierung von Schwämmen vor (Barthel und Theede 1986).

Die unter den Suspensionsfressern besonders wichtigen Schwämme wurden bisher in der Ostsee und in der Antarktis untersucht (Barthel et al. 1990, Barthel und Tendal 1989). In Hälterungsexperimenten konnte die Faeces-Bildung von *Halichondria panicea* beschrieben werden (Wolfrath und Barthel 89) sowie ein Häutungsphänomen, welches der Befreiung von Epifauna dient (Barthel und Wolfrath 1989).

Bryozoen spielen eine wichtige Rolle in Benthosgemeinschaften unterschiedlicher Biotope der flachen Schelfregionen des Europäischen Nordmeeres (Schäfer 1987, 1990). Über ihre Verbreitung und Einbindung in die Benthosgemeinschaften der Schelfkante sowie über die Umstrukturierung benthischer Lebensgemeinschaften in fossile Taphozöosen liegen bisher jedoch keine Daten vor.

Benthische Foraminiferen bilden einen tiefenbegrenzten Suspensionsfressergürtel am norwegischen Kontinentalhang (Lutze und Altenbach 1988). *Rupertina stabilis* zeigt eine besondere morphologische und biochemische Anpassung an den hier vorherrschenden lateralen Nahrungsstrom im Unterschied zu den benthischen Foraminiferen des Vøring-Plateaus (Linke 1989).

Die Bodentopographie und die Strömungsverhältnisse am Meeresboden bedingen die Sedimentbeschaffenheit und die benthischen Besiedlungsmuster. Das konnte in einem Tiefseekuppenprogramm auf dem Vøring-Plateau, aber auch in der westlichen Framstraße gezeigt werden. Auf einem Profil über das Escarpment des Vøring-Plateaus wurden Unterschiede in der holozänen Sedimentmächtigkeit von 8-250cm gefunden. Insbesondere die Sandfraktion zeigt auf kürzester Distanz große Unterschiede. An der Strömungslee-seite in einem Hochakkumulationsgebiet wurden sogar Pogonophoren gefunden (Jensen et al. MS). In der westlichen Framstraße konnten drei tiefenzonierte faunistische Regionen unterschieden werden. Mit den verwendeten Methoden der Proben- und Datengewinnung (Agassiz-Trawl und Unterwasser-Fotographie) wurde dabei im wesentlichen das epibenthische Megabenthos erfaßt (Piepenburg 1988). Das Vorkommen einer für arktische Regionen relativ arten- und individuenreichen Bodenfauna auf der flachen Belgicabank wurde auf mehrere günstige ökologische Rahmenbedingungen zurückgeführt: a) eine durch zahlreiche Steine und heterogene Substratverteilung reich gegliederte Habitatstruktur des Meeresbodens, b) die hohe Primärproduktion im Pelagial einer regelmäßig erscheinenden Küstenpolynya, und c) ein mesoskaliger konvergenter Stromwirbel, der als Retentionsmechanismus wirkt und die Sedimentation organischen Materials aus dem Pelagial ins Benthos begünstigt. Ähnliche Untersuchungen im antarktischen Weddellmeer deuten ebenfalls auf eine Abhängigkeit der Zonierung der Benthos-tierbesiedlung von der Eisbedeckung und dem topographisch gesteuerten Bodenströmungsmuster und somit zum lateralen Partikelfluß hin (Voß 1988).

Die Aufschlüsselung der Organismen des Vøring-Plateaus in Größenklassen ergab eine ungewöhnlich hohe Bedeutung der seltenen, großen Arten ( $< 4$  Individuen  $m^{-2}$ ), die den größten Teil der benthischen Biomasse stellen (Romero-Wetzel und Gerlach, in Vorbereitung). Dieser Befund unterscheidet sich wesentlich von Resultaten im Flachwasser (Gerlach et al. 1985). Zur besseren quantitativen Bearbeitung, insbesondere der kleinen Organismen, wurde ein Trennverfahren für Bakterien, Meiofauna und Foraminiferen entwickelt sowie eine halbautomatische Bildverarbeitung aufgebaut, mit der computergestützt die kleinen Organismen vermessen werden können (Thomsen 1989).

Zur Vorbereitung der Bearbeitung der Bottom Nepheloid Layer (BNL) ist im Rahmen eines Flachwasserprojekts ein spezieller Wasserschöpfer entwickelt worden (Eversberg 1990), der in 5 cm Abständen vom Meeresboden Wasser ansaugt. Bei routinemäßigem Einsatz in der Kieler Bucht zeigte sich, daß die für die Benthostiere relevanten Partikelgradienten sich innerhalb der letzten Meter oberhalb des Meeresbodens verändern (Ritzrau 1990).

Die gemeinschaftsanalytische Abgrenzung und Charakterisierung von Besiedlungsmustern wird mit modernen multivariaten Analysemethoden durchgeführt, für die am Institut für Polarökologie bereits spezielle Computerprogramme entwickelt worden sind (Piepenburg und Piatkowski MS). Für die quantitative Auswertung von Unterwasser-Fotographien hinsichtlich der Abundanz und kleinräumigen Verteilung epibenthischer Organismen liegen ebenfalls Erfahrungen vor (Piepenburg 1988).

Bei den lipidbiochemischen Analysen kann am Institut für Polarökologie Kiel auf bereits vorhandene Erfahrung und Grundausstattung zurückgegriffen werden (Hagen 1988). Erste Proben zur Bestimmung des Lipidgehaltes benthischer Tiere wurden während der "Polarstern"-Expedition 1989 vor Spitzbergen gesammelt. Die bislang vorliegenden Ergebnisse zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen der trophischen Stellung der untersuchten Arten und der Zusammensetzung ihrer Fettsäuren bzw. Wachsesteralkohole (G. Kattner, pers. Mittlg.).

#### Literatur

- Barthel, D., Tendal, O. und Panzer, K. (1990): Ecology and taxonomy of sponges in the eastern Weddell Sea shelf and slope communities. In: Arntz, W., Ernst, W. und Hempel, J. (Eds.) (1990): The Expedition Antarktis VII/4 (Epos leg 3) and VII/5 of RV "Polarstern" in 1989. Berichte zur Polarforschung 68.
- Barthel, D. und Tendal, O. (1989): The sponge fauna of the deep Weddell Sea: Status and the need for further biological and faunistic investigations.
- Barthel, D. und Theede, H. (1986): A new method for the culture of marine sponges and its application for experimental studies. *Ophelia*, 25: 75-82.
- Barthel, D. und Wolfrath, B. (1989): Tissue sloughing in the sponge *Halichondria panicea*: a fouling organism prevents being fouled. *Oecologia*, 78: 357-360.
- Erlenkeuser, H. und Balzer, W. (1988): Rapid appearance of Chernobyl radiocesium in the deep Norwegian Sea sediments. *Oceanologia Acta*, 11/1: 101-106.
- Eversberg, U. (1990): A new device for sampling water from the benthic boundary layer. *Helgoländer Meeresunters.*, im Druck.
- Graf, G. (1988): Die Reaktionen des Benthals auf den saisonalen Partikelfluß und die laterale Advektion sowie deren Bedeutung für Sauerstoff- und Kohlenstoffbilanzen. *Habil.-Schrift, Univ. Kiel.*
- Graf, G. (1989): Benthic-pelagic coupling in a deep-seabenthic community. *Nature*, 341/6241: 437-439.
- Graf, G. (1990): Availability of nutrients to a deep-sea benthic community: results from a ship board experiment. I. Response on a community level. (in prep.).
- Gerlach, S.A., Hahn, A.E. und Schrage, M. (1985): Size spectra of benthic biomass and metabolism. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 26: 161-173.
- Hagen, W. (1988): Zur Bedeutung der Lipide im antarktischen Zooplankton. *Ber. Polarforsch.*, 49: 1-129.

- Heeger, T. (1990): Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Ernährungsbiologie benthischer Foraminiferen. Diss., Univ. Kiel.
- Jensen, P., Graf, G., Köster, M., Meyer-Reil, L.-A. und Rumohr, J.: Biological activity along a deep-sea ridge (in the Norwegian Sea) exposed to advection and accumulation of pelagic material. (in prep.).
- Linke, P. (1989): Lebendbeobachtungen und Untersuchungen des Energiestoffwechsels benthischer Foraminiferen aus dem Europäischen Nordmeer. Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 18: 1-123.
- Linke, P.: Metabolic adaptations of benthic foraminifera to seasonally varying food input. MS.
- Lutze, G.F. und Altenbach, A.V. (1988): *Rupertina stabilis* (Wallich), a highly adapted suspension feeding foraminifer. *Meyniana*, 40: 55-69.
- Piepenburg, D. (1988): Zur Zusammensetzung der Bodenfauna in der westlichen Framstraße. Ber. Polarforschung, 52: 118 pp.
- Piepenburg, D. und Piatkowski, U.: Computer aided community analysis in marine ecological investigations. (in prep.).
- Ritzrau, W. (1990): Die bodennahe Trübezone der Kieler Bucht. Diplomarbeit, Univ. Kiel.
- Romero-Wetzel, M. (1987): Sipunculans as inhabitants of very deep, narrow burrows in deep-sea sediments. *Marine Biol.*, 96: 87-91.
- Romero-Wetzel, M. (1989): Branched burrow-systems of the enteropneust *Stereobalanus canadensis* (Spengel) in deep-sea sediments of the Vøring-Plateau, Norwegian Sea. *Sarsia*, 74: 85-89.
- Romero-Wetzel, M. und Gerlach, S.: Deep-Sea Macrozoobenthos of Vøring-Plateau (Norwegian Sea). *Sarsia*, (subm.).
- Saint-Paul, U., Hubold, G. und Ekau, W. (1988): Acclimation effects on routine oxygen consumption of the antarctic fish *Pogonophryne scotti* (Arteididraconidae). *Polar Biol.*, 9: 125-128.
- Schäfer, P. (1987): Brutkammern der Stenolaemata (Bryozoa): Konstruktionsmorphologie und phylogenetische Bedeutung. Habilitationsschrift, Univ. Marburg.
- Schäfer, P. (1990): Colonization patterns of bryozoans on living *Chlamys islandica* (Müller), Tromsø, North Norw. Symp.-Band der 8th Internat. Conference of the I.B.A. in Paris 1989, Paris (in press).
- Thomsen, L. (1989): Bakterien und Makrofauna in Gangsystemen der Makrofauna.- Ber. SFB 313, 19,1: 1-77-
- Thomsen, L.: Treatment and sorting of samples for bacteria and meiofauna determinations from the same sediment-probe combined with a semi-automatic image analysis system for biomass estimations. (in prep.).
- Voß, J. (1988): Zoogeographie und Gemeinschaftsanalyse des Makrozoobenthos des Weddellmeeres (Antarktis). Ber. Polarforschung, 45: 145 pp.
- Wolfrath, B. und Barthel, D. (1989): Production of faecal pellets by the marine sponge *Halichondria panicea* Pallas (1766). *J. Exp. Mar. Ecol.*, 129: 81-94.

## 6.5 Ziele, Methoden, Arbeitsprogramm, Zeitplan

Die benthisch-pelagische Kopplung wurde bisher als Reaktion des Benthals auf vertikale, pulsartige Nahrungseinträge beschrieben, die nur nach Phytoplanktonblüten, also unter ganz besonderen saisonalen Bedingungen im Pelagial zustande kommen. In den folgenden Jahren soll der Schwerpunkt der Untersuchungen mehr auf die lateralen, bodennahen Prozesse gerichtet werden, wobei die Nahrungspulse im Frühjahr und Herbst als wesentliche Ereignisse zu berücksichtigen sind, die auch die Zusammensetzung der Partikel in der bodennahen Nepheloidschicht (BNL) beeinflussen. Da sich die lateralen Prozesse in einer Hangsituation verstärken und somit besser zu untersuchen sind, sollen in Zukunft Areale von der Schelfkante bis zum Fuß des Kontinentalhanges bearbeitet werden. In Übereinstimmung mit der Expeditions- und Schiffsplanung soll 1991 zunächst der Barentsseehang untersucht werden, bei dem der laterale Eintrag eines hochproduktiven Schelfgebietes zu erwarten ist. Dieses Gebiet wird bereits 1990 auf der "Meteor"-Reise M13 vorerkundet. In den Jahren 1992 und 1993 soll sich das Arbeitsgebiet auf die westliche Seite des Europäischen Nordmeeres verlagern, wo die Schelfgebiete mit Ausnahme der Polynyas eisbedeckt sind und somit weniger produktiv sein dürften. In Eisnähe ist allerdings der starke vertikale Puls der Eiskantenblüten zu berücksichtigen und es ist zu untersuchen, wie weit er sich auf den Kontinentalhang auswirkt. 1992 bietet sich das Gebiet vor Grönland zwischen 72 und 74°N an, das bereits in der JGOFS-Pilotphase erkundet wurde, und 1993 das Gebiet der Polynyas vor Nordostgrönland (77°- 81°N), das nur mit Einsatz von "Polarstern" untersucht werden kann.

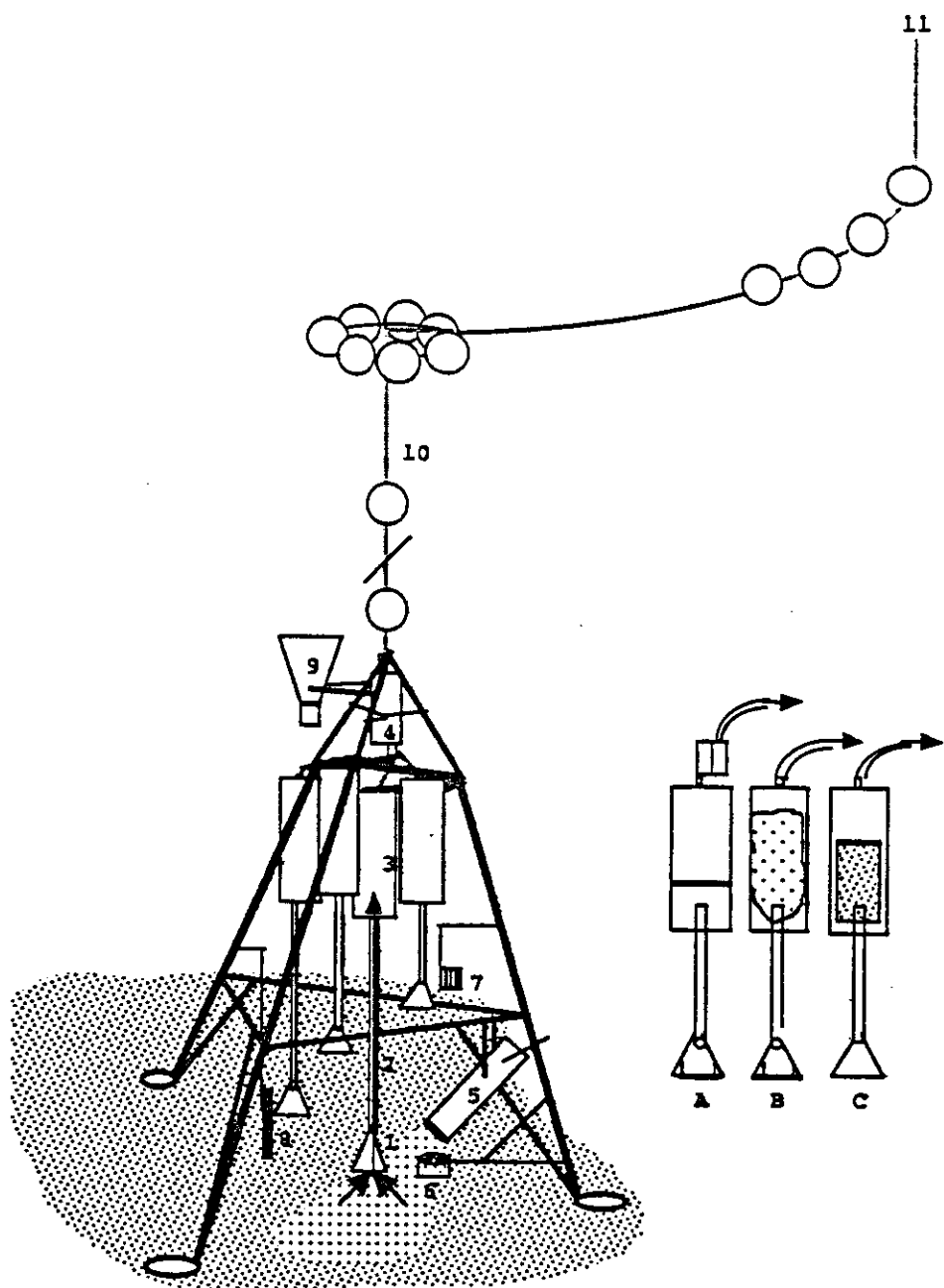
Unsere wesentliche Arbeitshypothese ist, daß die Flüsse in der bodennahen Nepheloidschicht (BNL) die Besiedlungsmuster erzeugen, daß aber die Besiedlung mit Tieren auch Rückwirkung auf die horizontalen und vertikalen Gradienten in der BNL hat.

Thematisch sollen zwei Ziele erreicht werden:

1. Die lateralen und advektiven Stoffflüsse in partikulärer und gelöster Phase zwischen BNL und Sediment sollen quantifiziert werden.
2. Die Besiedlungsmuster der pelagischen Fauna innerhalb der BNL und der Epi- und Infauna sollen quantitativ erfaßt und in Beziehung zu steuernden Faktoren gesetzt werden.

zu 1) Flüsse in der BNL

Die Stoffflüsse vom Sediment ins überstehende Wasser und umgekehrt aus der BNL ins Sediment verursachen Gradienten in Bodennähe, die besonders ausgeprägt in den ersten Metern oberhalb der Sediment-Wasser-Grenzfläche sind. Zur Bestimmung dieser Gradienten soll ein im Flachwasser entwickeltes Probennahmegerät auf Tiefseebedingungen angepaßt und erweitert werden, so daß Wasserproben in 10 bis 50 cm Abständen oberhalb des Sedimentes angesaugt werden können (Abb. 16). Eine im SFB 313 bereits vorhandene Kamera soll die Eindringtiefe des Gerätes kontrollieren. Neben jeder Einsaugöffnung soll mit einem Thermistor-



- |    |   |   |                 |
|----|---|---|-----------------|
| 1  | Ansaugstutzen                             | A | Filtriereinheit |
| 2  | Schnorchel                                | B | Wasserproben    |
| 3  | Probenbehälter                            | C | Planktonproben  |
| 4  | Pumpe                                     |   |                 |
| 5  | Videokamera und -lampe                    |   |                 |
| 6  | Kompass mit Strömungsfahne                |   |                 |
| 7  | Transmissiometer                          |   |                 |
| 8  | Strömungsmesser                           |   |                 |
| 9  | Sedimentfalle                             |   |                 |
| 10 | Einleiter mit Pinger und Auftriebskörpern |   |                 |
| 11 | Zum Schiff                                |   |                 |

Abb. 16: Bodenvasserschöpfer zur Probennahme von Wasser- und Planktonproben aus der Tiefsee

Strömungsmesser die aktuelle Strömung aufgezeichnet werden. Oberhalb dieses Bodenwasserschöpfers soll eine einfache Sinkstoff-falle montiert werden, die bei kurzfristigen Einsätzen (bis zu 2 Tagen) Sedimentation und Resuspension dokumentiert und die Geschwindigkeit der Resuspensionsschleife erfaßt. In größerer Entfernung vom Meeresboden kann die BNL bis zu ihrer oberen Grenze, dem Attenuationsminimum, mit normalen Kranzwasserschöpf-fern beprobt werden.

An den so gewonnenen Proben soll Seston, partikulärer und gelöster organischer Kohlenstoff und Stickstoff (POC, DOC, PON und DON) in Zusammenarbeit mit Dr. v. Bodungen (DFG-Projekt "Neue Produktion; DFG Bo 768/2") gemessen werden. Chlorophyll a-Messungen dienen als Indikator für frische Einträge aus dem Pelagial; ATP- und DNS-Analysen sollen den physiologischen Zustand und die Biomasse der Organismen beschreiben. Anhand dieser Proben wird sich eine intensive Zusammenarbeit mit dem TP A4 ergeben. So lassen sich z.B. Methan- und CO<sub>2</sub>-Gradienten aus dem Sediment heraus ins Wasser verfolgen; aus <sup>2</sup>Modellrechnungen mit <sup>234</sup>Th-Isotopen lassen sich Turnover-Zeiten für die bodennahen Partikel modellieren. Gemeinsam mit der mikrobiologischen Arbeitsgruppe (TP A4) soll die Bakterienbesiedlung der Partikel in der BNL mit direkter Zählung und Vermessung verfolgt werden, um die erhöhte Bakterienproduktion in dieser Schicht zu erfassen. Die anschließende Re-Sedimentation der neubesiedelten Partikel stellt eine zusätzliche Nahrungsversorgung des Benthals dar.

Durch Bioturbation tragen die Benthostiere zum Austausch von Partikeln und Flüssigkeiten bei. Bisher wurde im wesentlichen die Durchmischung der Sedimente und die Eindringtiefe von Markern analysiert. Diese Untersuchungen sollen mit Chlorophyll a-Messungen im Sediment und durch Experimente mit Luminophoren weitergeführt werden. In situ soll die Durchmischung der Sedimente und der Einfluß lateraler Zumischung durch Isotopenmessungen im Sediment untersucht werden (<sup>210</sup>Pb, <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs). Mit Hilfe eines Vergleiches der im TP B3 gewonnenen  $\delta^{13}\text{C}$  und  $^{14}\text{C}$  Daten der organischen Fraktion des Sedimentes soll der Anteil der lateralen Zufuhr abgeschätzt werden. Summarische Modelle für die Mischungseffekte bei unterschiedlichen Besiedlungsmustern von der Schelfkante bis zum Fuß des Kontinentalhang sollen erarbeitet werden.

Bei den kurzfristigen Bioturbationsprozessen treten Bioresuspension, Biodeposition und Bioirrigation in den Vordergrund. Diese Prozesse können nur an lebenden Tieren in einem aufzubauenden Hälterungscontainer untersucht werden (siehe unten). Die Flüssigkeitsaustauschraten sollen mit einer Mikroströmungssonde gemessen werden. Zur Untersuchung von Biodeposition und Resuspension sollen Tiere in einem Strömungskanal nach Carey gehältert werden, der sich z. Zt. im Aufbau befindet. Den Organismen werden künstliche und natürliche Partikel angeboten. Filtrationsraten und die Bildung von Faeces und Pseudofaeces werden gemessen.



## zu 2) Besiedlungsmuster

Vertikal ist eine Zonierung der Organismen in der bodennahen Nepheloidschicht zu erwarten, die mit Hilfe der Wasserschöpfer und bei großem Zooplankton mit dem Multinetz aufgelöst werden soll. Durch Respirationsmessungen, z.B.  $O_2$ -Zehrung, ETS-Messungen, aber auch durch die Bestimmung des enzymatischen Abbaus organischer Substanzen und des Bakterienwachstums kann der zu erwartende hohe Stoffumsatz in der BNL beschrieben werden.

Um die Besiedlungsmuster eines breiten Größenspektrums des Benthos auf unterschiedlichen räumlichen Skalen zu untersuchen, müssen unterschiedliche Probennahmegeräte eingesetzt werden, die sich jeweils in ihrer Beprobungsfläche überlappen. Für die kleinen Organismen (< 1 mm) müssen Proben aus mehreren Multi-coreerohren bearbeitet werden, während für die Makrofauna mehrere Großkastengreifer erforderlich sind. Für die Megafauna eignet sich der Einsatz von Trawlfängen in Kombination mit photographischen Methoden. Die vagile Epifauna und die bodennahen Fische können nur mit Hilfe eines speziellen Epibenthoschlittens untersucht werden. Die quantitative Auswertung der Besiedlungsmuster soll in Abhängigkeit von der räumlichen Skala mit gemeinschaftsanalytischen und geostatistischen Verfahren erfolgen.

Neben der Abundanz soll auch die größenklassenabhängige Biomasseverteilung ermittelt werden. Hierzu bietet sich bei den großen Organismen eine direkte Gewichtsbestimmung (aschefreies Trockengewicht) an, oder auch die Vermessung auf Bodenphotographien nach Erstellung einer allometrischen Kurve. Bei den kleinen Organismen kann ein halbautomatisches Bildverarbeitungssystem verwendet werden, das die Zählung und Vermessung von Bakterien, Meiofauna und Foraminiferen direkt auf dem Computerbildschirm ermöglicht.

Bei der Vermessung der Organismen soll auf Artebene nach Strukturen gesucht werden, die Wachstumsschübe anzeigen, z. B. Wachstumsringe an Otolithen, Schalen oder Borsten. Es soll versucht werden, die Altersstruktur zu ermitteln und so die Produktion abzuschätzen. Bei Schwämmen soll durch histologische Nachweise von Fortpflanzungsstadien die Saisonalität erkannt werden.

Eine Möglichkeit, den Anteil der großen Organismen am Stoffumsatz zu bestimmen, besteht in Respirationmessungen im Labor. Diese Ergebnisse können dann in Beziehung zum Sauerstoffbedarf ganzer Sedimentkerne gesetzt werden. Für die Durchführung dieser Respirationmessungen und für die Lebendbeobachtungen von Filtrierern, insbesondere von Schwämmen und vagiler Epifauna ist ein Kühlcontainer vorgesehen, in dem Tiere auf und vor allem nach den Expeditionen über längere Zeiträume hinweg gehalten werden können. Erst die Hälterung später an Land ermöglicht die Bestimmung der Bioresuspension und Biodeposition, da sich solche Experimente an Bord wegen der Schiffsbewegungen nicht durchführen lassen. Außerdem ist bei längerer Hälterung die direkte Ermittlung von Wachstumsraten möglich.

Die qualitativ beste Nahrung für Benthosorganismen ist auf der Schelfkante zu erwarten, da die Nahrungspartikel hier den kürzesten Weg aus dem produktiven Schelfgebiet zurückgelegt haben. Es wird erwartet, daß sich die Qualitätsunterschiede der Nahrung in der Lipidfraktion der bodennahen Partikel widerspiegeln (siehe TP A1), aber auch in den Reservestoffen der Benthostiere selbst. Hierzu sollen die Lipide in der Nahrung und in den Tieren aus verschiedenen Besiedlungsstrukturen detailliert analysiert werden, um Hinweise über den Energiehaushalt (Reservestoffwechsel) und über trophische Wechselwirkungen zu erhalten.

Mittelfristiges Ziel des Teilprojektes ist es, die rezenten Benthosgemeinschaften des Schelfhanges und ihre Populationsstrukturen, insbesondere jedoch die von schalentragenden Organismen dominierten Zönosen mit den fossil überlieferbaren Gemeinschaften zu vergleichen.

#### 6.6 Stellung innerhalb des Sonderforschungsbereiches

Vom TP A1 werden im TP A3 Informationen über den vertikalen Partikelfluß benötigt, um den Eintrag in die BNL zu bestimmen. Außerdem soll eine Sinkstofffalle gemeinsam bodennah eingesetzt werden, um die Resedimentation innerhalb der BNL zu erfassen. Bei der Bestimmung der lateralen Partikelflüsse wird TP A2 die sedimentologischen Komponenten bestimmen und von TP A3 Daten über Bioresuspension und Biodeposition benötigen. Besonders intensiv soll die Zusammenarbeit mit dem TP A4 werden, mit dem gemeinsam die Bilanzierung des benthischen Kohlenstoffkreislaufes erarbeitet, der Beitrag von Flüssigkeitsaustritten für die BNL und der Fluß von Biomarkern durch die BNL untersucht werden soll. Auch methodisch sind hier Kooperationen im Bereich der Mikrobiologie und der Isotopen abzusehen. Die Ergebnisse des TP A3 werden vor allem für die Interpretation der Zeitscheiben im TP B2 von Bedeutung sein, aber auch in die Modelle von TP B4 einfließen.

## 7. TEILPROJEKT A4: Stoffumsätze im Benthos

7.11 Fachgebiet und Arbeitsrichtung: Chemie, Geochemie und Mikrobiologie

7.12 Leiter:

Priv. Doz. Dr. L.-A. Meyer-Reil  
 Institut für Meereskunde  
 an der Universität Kiel  
 Düsterbrooker Weg 20  
 2300 Kiel 1

Tel.: (0431)597-3945

Prof. Dr. E. Suess  
 GEOMAR  
 Forschungszentrum für  
 marine Geowissenschaften  
 der Universität Kiel  
 Wischhofstraße 1-3  
 2300 Kiel  
 Tel.: (0431)7202-232

7.13 Personal Anfang 1991

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
------------------------------------	-----------------------------	---	-------------------------

Grundausrüstung: Wissenschaftler

1) Botz, R. Dr., wiss. Ang.	Geochemie GPI	20	3/87
2) Duinker, J.C. Dr., Prof.	Meereschemie IfM	5	7/85
3) Hartmann, M. Dr., wiss. Ang.	Geochemie GPI	beratend	7/85
4) Henrich, R. Dr., Hochschul- ass.	Sedimentologie GEOMAR	beratend	7/85
5) Keir, R. Dr., wiss. Ang.	Umweltgeologie GEOMAR	beratend	1/91
6) Lammers, S. wiss. Ang.	Umweltgeologie GEOMAR	5	1/91
7) Lange, H. Dr., wiss. Ang.	Tonmineralogie GPI	beratend	7/85
8) Meyer-Reil, L.-A. Dr., Priv. Doz., Oberass.	Mikrobiologie IfM	15	1/88
9) Rheinheimer, G. Dr., Prof.	Mikrobiologie IfM	5	1/88
10) Schulz, D. Dr., Hochschul- ass.	Meereschemie IfM	10	1/91
11) Stoffers, P. Dr., Prof.	Meeresgeologie GPI	10	10/86
12) Suess, E. Dr., Prof.	Umweltgeologie GEOMAR	5	2/89

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
<u>Grundausstattung: nichtwiss. Mitarbeiter</u>			
13) Dold, I. techn. Ang.	GPI	10	6/87
14) Petrick, G. Techniker	IfM	5	1/91
15) Schubart, V. techn. Ang.	GEOMAR	5	1/91
16) Sell, H. Techniker	IfM	2	1/88
17) Spies, A. techn. Ang.	GPI/GEOMAR	5	9/88
<u>Ergänzungsausstattung: Wissenschaftler</u>			
18) Köster, M. Dipl. Biol. Doktorandin	Mikrobiologie IfM	19,25	7/88
19) Maaßen, J. Dipl. Chem. Doktorand	Meereschemie IfM	19,25	1/91
20) Paetsch, H. Dipl. Geol. Doktorand	Geochemie GPI	19,25	12/88
21) Scholten, J. Dr., wiss. Ang.	Geochemie/Sedi- mentgeol. GPI	38,5	5/88
<u>Ergänzungsausstattung: nichtwiss. Mitarbeiter</u>			
22) Ehmcke-Kasch, M. techn. Ang.	SFB 313	38,5	1/90
23) Körner, T. techn. Ang.	SFB 313	38,5	7/85

## 7.2. Zusammenfassung

Die Untersuchungen der Stoffumsätze im Benthal konzentrieren sich auf Komponenten des Kohlenstoffkreislaufes als Indikatoren für Herkunft, Stoffflüsse und Umsätze im Bodenwasser und im Sediment. Sie beinhalten fröhdiagenetische Modifikationen, den Umsatz von organischem Material sowie das Verhalten von Radionukliden und Biomarkern. In Wiederholung von chemischen, geochemischen und geomikrobiologischen Arbeitsmethoden soll der benthische Kohlenstoffumsatz hinsichtlich seiner Komponenten differenziert und gemessen werden. Die enge Verknüpfung der vorgesehenen Untersuchungen wird aus der Schemadarstellung (Abb. 17) deutlich.

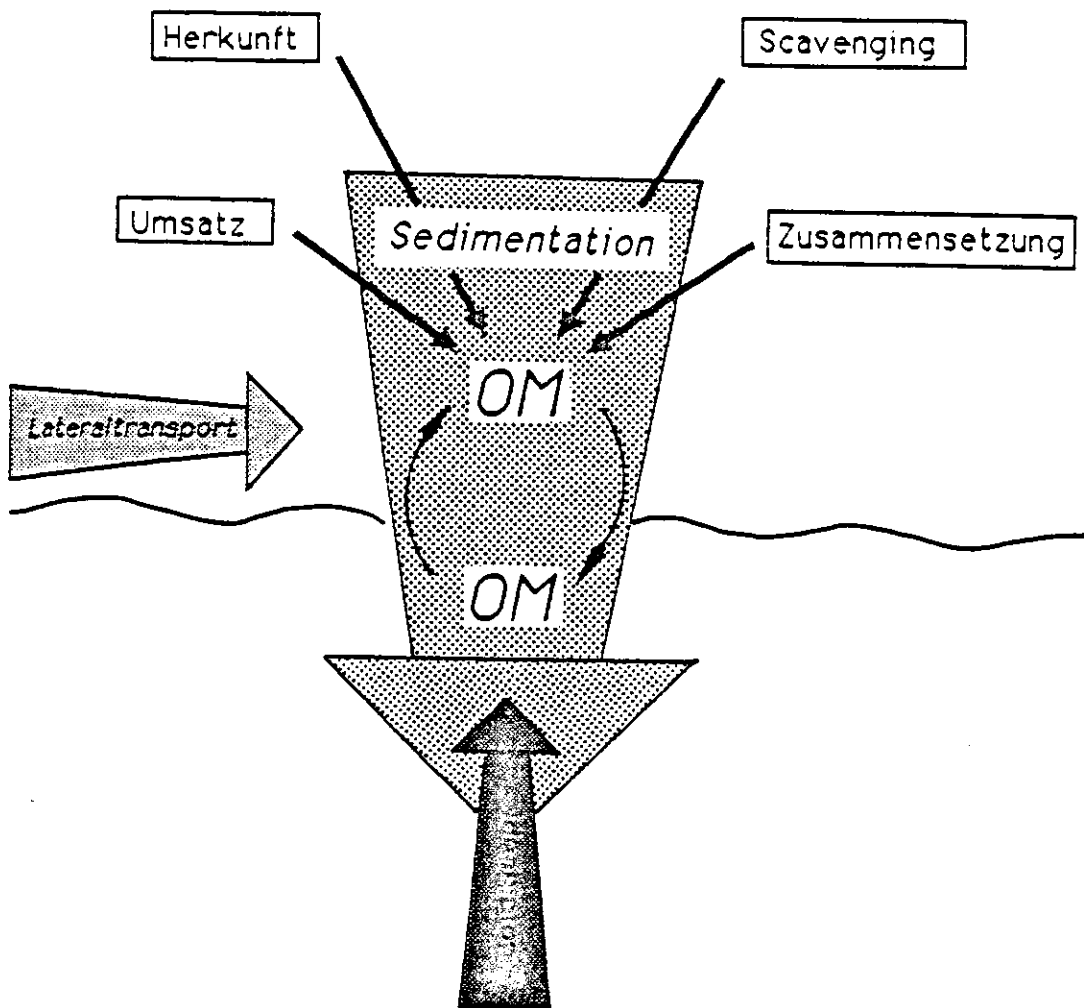


Abb. 17: Schemadarstellung der Verknüpfung der einzelnen Untersuchungen

Mikrobielle Substratumsätze stellen einen wichtigen Aspekt benthischen Stoffwechsels dar. Neben der Konzentration und Zusammensetzung spielt die Verfügbarkeit von organischem Material eine bedeutende Rolle. Hierbei kommt der Messung enzymatischer Abbauprozesse als Bindeglied zwischen dem Pool partikulären organischen Kohlenstoffs und seiner Verwertbarkeit besondere Bedeutung zu. Parallel zur Messung enzymatischer Hydrolyseraten sollen die Freisetzung von Kohlendioxid als Maß benthischer aerober und anaerober Respirationen sowie die Inkorporation von Kohlenstoff in mikrobielle Biomasse bestimmt werden. Da enzymatische Aktivitäten in Tiefseesedimenten bislang kaum gemessen wurden, verspricht ihre Einbeziehung in die Untersuchungen neue Aspekte der Interpretation benthischer Abbauprozesse. Hierbei ist es von besonderem Interesse, die aus Konzentrationsprofilen errechneten Ratenkonstanten des Abbaus von organischem Kohlenstoff mit Ratenkonstanten zu vergleichen,

die auf dem enzymatischen Abbau basieren. Auch zwischen den enzymatischen Hydrolyseraten und der Respiration sowie zwischen dem mikrobiellen Kohlenstoff und dem Gesamtkohlenstoff sind sedimentspezifische Beziehungen zu erwarten, die zur Charakterisierung der Verfügbarkeit des organischen Kohlenstoffs für mikrobielle Abbauprozesse herangezogen werden können.

Geomikrobiologische Untersuchungen in fossilen Sedimenten sollen Auskunft über eine andauernde Modifikation des organischen Materials durch mikrobielle Stoffumsätze in geologischen Zeiträumen geben. Hierbei ist vorgesehen, vor allem enzymatische Abbauprozesse zu verfolgen sowie das Spektrum stoffwechselaktiver Mikroorganismen mit mikroautoradiographischen Methoden zu analysieren.

Untersuchungen der chemischen Zusammensetzung der partikulären Substanz in der Wassersäule, im Benthos und im Sediment tragen wesentlich zur Bilanzierung des organischen Kohlenstoffumsatzes und zum Verständnis der ablaufenden Prozesse bei. Um Rückschlüsse auf die Transportraten von Sinkstoffen und ihre Modifikationen zu erhalten, sollen anthropogene Tracer (PCB) und Biomarker, also natürliche Verbindungen, die Hinweise auf die Herkunft der organischen Substanz erlauben, untersucht werden.

Durch Computergestützte Multidimensionale Gaschromatographie sollen die sehr komplizierten Stoffgemische separiert und die organischen Verbindungen, wie Isoprenoide und Steroide identifiziert werden. Ziel der Arbeiten ist es, die Beziehungen der Biomarker zu den produzierenden Organismen zu ermitteln, hierzu sind Arbeiten in der Wassersäule und in den oberen Sedimentschichten vorgesehen.

Die Verbesserung der  $^{230}\text{Th}$ -Stratigraphie zur Datierung von Sedimentkernen und die Erfassung der Ursachen für die beobachteten Variationen der Radionuklidflüsse sind Schwerpunkte isotopenchemischer Untersuchungen. Die Ursachen für die beobachteten  $^{230}\text{Th}$ -Variationen sollen anhand der Verteilung von langlebigen, natürlichen Radionukliden mit unterschiedlicher Partikelreaktivität im Sediment geklärt werden. Um Profile von Radionukliden in Sedimenten hoher Breiten umfassend interpretieren zu können, sollen insbesondere die Prozesse untersucht werden, durch die Radionuklide aus der Wassersäule in das Sediment transportiert werden. Untersuchungen verschiedener natürlicher Radionuklide ( $^{228}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{231}\text{Pa}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ) in der gelösten Phase sowie gebunden an Partikel sollen einerseits jahreszeitliche Schwankungen, andererseits auch geographische Unterschiede in der Verteilung der Radionuklide erfassen. Ergänzt werden diese Untersuchungen durch Studien an Material aus Sedimentfallen.

Zur Rekonstruktion der paläoozeanographischen Bedingungen als dem wichtigsten Steuerungsfaktor während der Ablagerung von organischem Material soll die Elementverteilung in den Karbonat-schalen pelagischer und benthischer Foraminiferen gemessen werden. Analysen der Sauerstoffisotope in Diatomeen beschränken sich zunächst auf methodische Voruntersuchungen an Diatomeenkulturen (Reinigungs- und Isotopenaustauschversuche). Nach

erfolgreichem Abschluß dieser Arbeiten sollen parallel zur Bestimmung von  $^{18}\text{O}$ -Gehalten in Foraminiferen die  $^{18}\text{O}$ -Gehalte in Diatomeen aus Sedimenten ermittelt werden.

Zur Charakterisierung der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung des sedimentären organischen Materials, d.h. vor allem zur Bestimmung seiner Herkunft, sind detaillierte petrologische und geochemische Untersuchungen an Maceralen vorgesehen. Hierdurch können Variationen des organischen Eintrages abgeschätzt werden, so daß die Erkenntnisse in Modellen der Bioproduktion, der Nährstoffkreisläufe und der Wassermassenverteilung berücksichtigt werden können.

Neben dem vertikalen Partikelfluß und dem horizontalen Partikeltransport als wichtige Komponenten der Nährstoffversorgung des Benthos ist unter spezifischen geologischen Situationen auch die aufwärts gerichtete Stoffzufuhr aus tieferen Sedimentschichten ("cold seeps") zu berücksichtigen. Zur Charakterisierung dieser Komponente sollen die tektonisch-sedimentologischen Rahmenbedingungen bei bekannten und vermuteten Fluid- und Gasaustritten am Vøring-Plateau, im Lofotenbecken und am westlichen Kontinentalhang der Barentssee untersucht werden. Paralleluntersuchungen in Gebieten, welche nicht durch "cold seeps" beeinflußt werden, dienen der Beantwortung der Frage, ob die aktive Energie- und Nährstoffzufuhr aus dem Sediment die Existenz einer charakteristischen (diagnostischen) Benthosbesiedlung bedingt. Analysen der aus den Konzentrationen chemischer Komponenten errechneten Stoffflüsse müssen klären, inwieweit die Energiezufuhr aus "cold seeps" zum benthischen Gesamtstoffumsatz und zur Rückführung von Mineralisationsprodukten an das Bodenwasser beiträgt.

### 7.3 Stand der Forschung

Der Stofffluß durch die Grenzfläche Wasser/Sediment ist ein bedeutender Schritt in dem geochemischen Zyklus der Elemente. Sedimentiertes Material wird durch diagenetische Prozesse im Sediment modifiziert und abgebaut, wobei Rate und Ausmaß entscheidend durch die Herkunft und Zusammensetzung des eingetragenen Materials, durch die benthischen Organismen sowie durch das diagenetische Milieu (Verfügbarkeit von Elektronenakzeptoren) bestimmt werden. Die Zusammensetzung des sedimentären organischen Materials ist nicht nur der Schlüssel für das Verständnis diagenetischer Prozesse im Sediment, sondern ist auch die Grundlage für paläoklimatische und paläo-ozeanographische Rekonstruktionen. Hierbei spielen Biomarker - Verbindungen mit ursprünglich biogener Struktur - sowie Radionuklide als Tracer eine bedeutende Rolle.

Der Umsatz organischen Materials und damit die Regeneration von Nährstoffen werden im wesentlichen durch Mikroorganismen (insbesondere Bakterien) vermittelt. Bakterien verwerten organisches und anorganisches Material als Kohlenstoff- und Energiequelle; sie sind damit der Motor für den Kreislauf der Elemente. Bakterielle Aktivitäten bestimmen die Rate und den

Grad, mit dem organisches Material abgebaut und letztlich im Sediment konserviert wird. Bakterielle Substratumsätze stellen damit ein wichtiges Bindeglied zwischen Bio- und Geosphäre dar.

Die direkte Messung bakterieller Substratumsätze in küstenfernen Sedimenten ist problematisch. Die Schwierigkeiten sind vor allem darin begründet, daß die Raten spezifischer Umsatzprozesse in Tiefseesedimenten an der Grenze der methodischen Erfassbarkeit liegen. Zudem stellen Sedimente komplexe Systeme dar, die durch das Zusammenwirken von physiologisch unterschiedlichen Gruppen von Mikroorganismen und durch Gradienten chemischer Komponenten des mikrobiellen Stoffwechsels ausgezeichnet sind. Jede Art der Manipulation (Laborinkubation, eventuell auch schon die Probenentnahme selbst) bedeutet eine Beeinträchtigung der Funktion des Gesamtsystems (vergl. Dobbs et al. 1989). Weiterhin besitzen Sedimente große spezifische Oberflächen, so daß die Ermittlung der "biologisch-verfügbaren" und "adsorptiv-gebundenen" Substratkonzentrationen problematisch ist (vergl. Nedwell 1987).

Bei der Inkubation von Sedimentproben aus der Tiefsee stellt sich die Frage nach der Bedeutung des Druckfaktors, zumal ein beträchtlicher apparativer Aufwand getrieben werden müßte, um in-situ Druckverhältnisse zu simulieren. Vergleicht man mikrobielle Aktivitäten bei Normaldruck und in-situ Drücken, so muß festgestellt werden, daß der Druck generell eine geringere Bedeutung bei der Aufrechterhaltung mikrobieller Aktivitäten spielt, als man bislang glaubte. Bei Erhöhung des Druckes von 1 auf 450 bar steigt der Substratumsatz maximal um den Faktor 2 an, weit geringer als aufgrund der beträchtlichen Drucksteigerung zu erwarten wäre (vergl. u. a. Rowe und Deming 1985; Lochte und Turley 1988). Diese Beobachtung wird auch durch Reinkulturen isolierter Mikroorganismen bestätigt, die überwiegend barotolerant sind. Dagegen müssen die Verfügbarkeit von Nährstoffen und die Temperatur als Schlüsselfaktoren für mikrobielle Aktivitäten in der Tiefsee angesehen werden.

Untersuchungen der Verteilung anorganischer Nährstoffe sowie Messungen des Sauerstoffverbrauches in Porenwasserprofilen von Tiefseesedimenten deuten darauf hin, daß der überwiegende Teil des in das Sediment eingetragenen organischen Materials in den obersten Sedimenthorizonten mit Sauerstoff als Elektronenakzeptor oxidiert wird. Sekundäre Oxidanten spielen offenbar eine weit geringere Rolle (vergl. u.a. Bender und Heggie 1984; Emerson et al. 1985; Reimers und Smith 1986; Cole et al. 1987; Jahnke und Jackson 1987; Murray und Kuivila 1990). Hierdurch wird eine optimale Verwertung des organischen Materials gewährleistet (vergl. Diskussionen von Canfield 1989 und Jahnke et al. 1989). Während durch den Sauerstoffverbrauch nur aerobe Prozesse gemessen werden, ermöglicht die Bestimmung der Freisetzungsrates von Kohlendioxid (korrigiert für die Auflösung von Karbonat) die direkte Erfassung aerober und anaerober benthischer Remineralisierungsprozesse (Anderson et al. 1986; Adams und Fendinger 1986). Neben der Grenzzone Sediment/Wasser spielen auch durch Makrofauna erzeugte Grenzflächen (Oberflächen, Verdauungstrakte, Gangsysteme) eine bedeutende Rolle für mikrobielle Abbauprozesse (vergl. u. a. Aller und Aller 1986; Aller 1988; Kristensen 1988; Mauviel et al. 1987).



Für die Untersuchung spezieller mikrobieller Substratumsätze in Tiefseesedimenten sind zumeist niedermolekulare radioaktiv-markierte Substanzen verwendet worden (vergl. Deming und Colwell 1985; Rowe und Deming 1985). Da in der Regel die Konzentration und Verfügbarkeit der analogen natürlichen Substrate nicht bekannt sind, beschreiben diese Messungen potentielle Aktivitäten, aus denen keine absoluten Substratumsätze abgeleitet werden können. Die gemessenen Aktivitäten zeigen häufig keine lineare Zeitabhängigkeit, so daß die Extrapolation von Raten problematisch ist. Da der dominierende Anteil des in das Sediment eingetragenen organischen Materials partikulärer Kohlenstoff ist, mag angezweifelt werden, ob durch die Messung des Umsatzes gelöster, niedermolekularer Substrate mikrobielle Aktivitäten in Tiefseesedimenten hinreichend charakterisiert werden können.

Messungen bakterieller Biomasseproduktion über die Inkorporation radioaktiv-markierter Substrate in Nukleinsäuren ( $^3\text{H}$ -Thymidin in DNA, u. a. Duyf und Kop 1990;  $^3\text{H}$ -Adenin in DNA und RNA, u. a. Karl und Novitsky 1988) oder in Protein ( $^3\text{H}$ -Leucin, u. a. Chin-Lee und Kirchman 1988) wurden bislang nur im Flachwasser durchgeführt. Ganz abgesehen von den beträchtlichen methodischen Schwierigkeiten vermittelt keine dieser Methoden eine verlässliche Aussage über die Effektivität der mikrobiellen Inkorporation von Kohlenstoff, die in der Literatur zwischen 10 und 90 % angegeben wird. Im Vergleich zu den pelagischen Vermögen die benthischen Mikroorganismen den aufgenommenen Kohlenstoff offenbar effektiver in Biomasse zu überführen (vergl. Benner et al. 1988).

Geochemische und erste mikrobiologische Untersuchungen deuten darauf hin, daß bakterielle Substratumsätze bis in große Sedimenttiefen bedeutsam sind (vergl. Untersuchungen im Rahmen des Deep Subsurface Microbiology Program des U.S. Department of Energy; Geomicrobiology Journal 7, 1989). Cragg et al. (1990) bestimmten potentielle Raten der Reduktion von Sulfat und der Bildung von Methan in Sedimentprofilen bis in 80 m Tiefe. Das Verteilungsmuster der Aktivitäten wurde durch Anreicherungskulturen der entsprechenden physiologischen Gruppen von Bakterien bestätigt. Bei neueren Arbeiten der Autoren im Japanischen Meer konnten die Untersuchungen mit vergleichbaren Ergebnissen bis in 500 m Sedimenttiefe ausgedehnt werden. Diese Beobachtungen lassen vermuten, daß sedimentiertes organisches Material einer sehr langsamen, mit zunehmender Sedimenttiefe andauernden Modifikation unterliegt, die unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden geologischen Zeiträume an Bedeutung gewinnt. Hieraus ergeben sich bedeutende Konsequenzen für die Abbildung ozeanographischer und klimatischer Prozesse im Meeresboden der Tiefsee.

Neben der Untersuchung diagenetischer Prozesse im Sediment sind Zusammensetzung und Herkunft des sedimentären organischen Materials von großer Bedeutung, weil einerseits Art und Umfang der Regeneration von Nährstoffen wesentlich vom Typ des organischen Materials bestimmt werden (Degens und Mopper 1976; Wakeham et al. 1984), andererseits wichtige Fragen bezüglich der

paläoklimatischen und paläoozeanographischen Variabilität des Ablagerungsraumes (z.B. Paläoproduktivitätsschwankungen, physikalisch-chemische Bedingungen in der Wassersäule und/oder im Sediment) beantwortet werden können.

Die Zusammensetzung der mikroskopisch erfaßbaren organischen Partikel liefert Hinweise über ihre Herkunft. Reifeabhängige Merkmale der organischen Substanz (z.B. Fluoreszenz, Reflexion, Verwitterungssäume) geben Aufschluß über deren Schicksal während des Transports und der Ablagerung (Stach et al. 1982). Als besonders indikativ für die Herkunft des organischen Materials können Ergebnisse gaschromatographischer/massenspektrometrischer Untersuchungen in organischen Lösungsmitteln (wie z.B. Dichlormethan) am löslichen organischen Material (Extrakt) angesehen werden (Tissot und Welte 1984; Eglinton und Murphy 1969; Debyser et al. 1977). Parameter wie "odd-even-predominance" (Scalan und Smith 1970) sowie "carbon-preference-index" (Bray und Evans 1961) dienen der Klassifizierung des organischen Materials.

Das geochemische Verhalten des organisch gebundenen Kohlenstoffs im Ozean wird im wesentlichen von der Produktion in der Deckschicht und den Modifikationen der Substanz in der Wassersäule, im Benthos und tiefer im Sediment bestimmt; nur 0.01 bis 0.1% des photosynthetisch produzierten organischen Materials wird ins Sediment eingelagert. Der vertikale Stofftransport erfolgt hauptsächlich durch biogene Partikel unterschiedlicher Größe und Zusammensetzung (Deuser 1986). Diese Partikel sind auf ihrem Weg durch die Wassersäule vielfältigen biochemischen Prozessen unterworfen (Wakeham und Lee 1989). Verschiedene organische Substanzen natürlichen Ursprungs lassen dabei Rückschlüsse auf die Herkunft und den Auf/Abbau des organischen Materials zu. Als Biomarker werden dabei organische Moleküle definiert, die genügend Strukturmerkmale bewahrt haben, um als modifizierte Version einer biogenen Quellverbindung erkannt zu werden (Sohn 1986).

Die Bedeutung von Biomarkern in der Explorationsforschung wurde in vielen zusammenfassenden Arbeiten beschrieben (Brassel und Eglinton 1986; Johns 1986; Leythaeuser und Rullkötter 1986). Neben einfachen Verbindungen, z.B. n-Alkane, Pristan und Phytan, haben sich auch viele andere Verbindungsklassen als nützliche Biomarker erwiesen, wie Fettsäuren, acyclische und cyclische Isoprenoide, Porphyrine und vor allem Steroide.

Die überwiegende Zahl der Biomarkeruntersuchungen wurden in Sedimenten durchgeführt (Johns 1986). Gegenwärtig sind Informationen, die es ermöglichen aus Biomarkern auf die produzierenden Organismen rückzuschließen, sehr unzureichend (Repeta und Gagosian, 1987); ein Hauptgrund hierfür ist, daß zu wenig Untersuchungen des partikulären Materials in der Wassersäule vorliegen. Ein weiterer begrenzender Faktor ist die oft ungenügende analytische Auflösung der komplexen Stoffgemische. Hierzu sind in den letzten Jahren besonders die gaschromatographischen Techniken durch computergestützte GC-Massenspektrometrie (Philip und Gilbert 1986; Philip et al. 1988) weiterentwickelt worden. Multidimensionale

Gaschromatographie (Himberg et al. 1989) gekoppelt mit massenselektiven Detektoren bietet die Möglichkeit, bisher nicht bestimmbare Komponenten zu identifizieren.

Aufgrund von mikroskopischen Eigenschaften kann nur unzureichend vom sedimentären "record" auf die pelagische Organismengemeinschaft (u.a. Coccolithophoriden, Foraminiferen, Diatomeen, Flagellaten) geschlossen werden. Corg-reiche Horizonte im Sediment können auf erhöhten terrigenen und marinen Input (Gagosian und Peltzer 1985) oder auf größerer Erhaltung beruhen. Für die Beantwortung dieser Fragen werden neue Hinweise aus Biomarkeruntersuchungen erwartet (Mackenzie et al. 1982; Philp and Oung 1988). Weiterhin können sie Erkenntnisse zur Rekonstruktion paläoklimatischer Verhältnisse liefern (Didyk et al. 1978; Brassell et al. 1985).

In Sinkstoffallen-Experimenten erwiesen sich die labilen Aminosäuren, Fettsäuren und Wachsester als die Hauptkomponenten, ihre Konzentrationen nehmen bis zum Sediment stark ab (Lee et al. 1983; Wakeham et al. 1984). Als Biomarker bakteriellen Ursprungs in Sedimenten werden verzweigte Carbonsäuren, acyclische Isoprenoide und Hopanoide angegeben (Volkman et al. 1985; Gossens et al. 1985; Brassell et al. 1981). Direkte Beziehungen zwischen Biomarkern und Organismen wurden am häufigsten für Steroide beschrieben (Volkman 1986; Bayona et al. 1989; Mackenzie et al. 1982).

Im Gegensatz zu den natürlichen organischen Verbindungen unterliegen viele anthropogene Stoffe, besonders die chlorierten Kohlenwasserstoffe (CKW), im marinen Ökosystem nur geringfügig biologischen und chemischen Veränderungen. Solche Verbindungen finden daher als "Tracer" und Modellsubstanzen Verwendung. Es wird vermutet, daß der Nordatlantik die wichtigste Senke für schlecht abbaubare Verbindungen ist (NAS 1979). Neben der Frage nach dem geochemischen Verhalten der CKW sind besonders die PCB auch als Modellsubstanzen für Untersuchungen des Verhaltens lipophiler Stoffe in der Umwelt benutzt worden.

Die Datierung des in das Sediment eingetragenen organischen Materials mit Hilfe der  $\delta^{18}\text{O}$  Stratigraphie ist aufgrund der Karbonatarmut in den Sedimenten hoher Breiten oft nicht anwendbar. Einen alternativen Ansatz bietet hier die  $^{230}\text{Th}$ -Methode.

In Gebieten mit stark wechselnden Sedimentationsbedingungen zeigen die  $^{230}\text{Th}$ -Konzentrationen im Sediment starke Variationen, die sich zum Teil großräumig korrelieren lassen (Eisenhauer et al. 1990). Als Ursachen für die auch in anderen Meeresgebieten beobachteten  $^{230}\text{Th}$ -Variationen sind Verdünnungseffekte bzw. Sedimentumlagerungen und Abhängigkeiten von Bioproduktivitätsschwankungen denkbar (Mangini 1984; Bacon 1984; Suman und Bacon 1989; Mangini und Diester-Haass 1983). Die enge Verknüpfung von Radionuklidflüssen mit dem Fluß organischer Substanz aus der euphotischen Zone konnte durch Langzeitstudien an Sinkstoffallen bestätigt werden (Bacon et al. 1985; Taguchi et al. 1989).

Wegen der gleichmäßigen Produktion in der Wassersäule und der großen Partikelreaktivität vieler natürlicher Radioisotope ( $^{228}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{231}\text{Pa}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ) sind diese besonders geeignet, Partikeldynamik (Partikelbildung, Partikelverweilzeiten) und die damit verknüpften biologischen Prozesse in der Wassersäule zu untersuchen. So konnte gezeigt werden, daß die Verweilzeit von gelöstem  $^{234}\text{Th}$  (Halbwertszeit 24,1 d) umgekehrt proportional zu der Primärproduktion ist (Coale und Bruland 1985). Zusammen mit der Messung von partikulärem organischen Kohlenstoff in der Wassersäule ergibt sich daher eine neue Möglichkeit, den Fluß organischen Kohlenstoffs aus der euphotischen Zone, welcher der Primärproduktion entspricht, zu bestimmen (Eppley 1989; Murray et al. 1989).

Ein weiteres wichtiges Ergebnis dieser Untersuchungen ist, daß die Scavenging-Raten, d.h. die Raten, mit denen sich gelöste Substanzen an Partikel anlagern und aus der Wassersäule entfernt werden, von der Partikelkonzentration bzw. von der biologischen Produktivität abhängen (Anderson et al. 1983; Bacon 1988; Anderson et al. 1990). Entsprechend konnte für den Arktischen Ozean gezeigt werden, daß dort aufgrund der geringen Partikelkonzentration in der Wassersäule die Scavenging-Raten gering sind (Moore und Smith 1986; Bacon et al. 1989). Die Folge ist, daß die gelösten Substanzen in angrenzende Meeresgebiete, z.B. in die Grönländische See transportiert werden, sich an Partikel anlagern und dort am Boden in einer Art Senke sedimentieren (Cochran et al. 1990).

Ein bedeutender Faktor, der den chemischen Fluß in die Sedimente kontrolliert, ist die Boden-Nepheloid-Schicht. Für den westlichen Nordatlantik konnte aufgrund von  $^{234}\text{Th}$  Profilen nachgewiesen werden, daß lokale Resuspension von Partikeln mit einer durchschnittlichen Verweilzeit von 25 Tagen für die Entstehung der Boden-Nepheloid-Schicht verantwortlich ist (Bacon und Rütgers v. d. Loeff 1989).

Als ein wichtiger Indikator für paläoozeanographische Veränderungen kann das Cadmium/Calcium-Verhältnis in den Karbonatschalen benthischer Foraminiferen herangezogen werden. Das Cd/Ca-Verhältnis läßt Rückschlüsse auf den Nährstoffgehalt des Bodenwassers und damit auf die Durchmischungsrate des Ozeans zu (Boyle und Keigwin 1982; Boyle 1985). Weitere Elemente, für die ein Zusammenhang zwischen meereschemischen Parametern, z.B. Salinität, Temperatur und Nährstoffgehalt, und der Elementverteilung in den Foraminiferenschalen gezeigt werden konnte, sind Barium, Lithium, Magnesium, Natrium und Strontium (Bender et al. 1975; Delaney et al. 1985, Lea und Boyle, 1989).

Eine weitere Möglichkeit, paläo-ozeanographische Veränderungen zu rekonstruieren, bietet die Verteilung spezifischer Elemente in den Sedimenten. So können sich Paläoproduktivitätsänderungen beispielsweise im Barium-Gehalt widerspiegeln (Schmitz 1987), da die Bildung von Baryt in der Wassersäule an die Zersetzung von organischer Substanz gebunden ist (Bishop 1988). Darüber hinaus können Veränderungen der Paläo-Redox-Bedingungen im Sediment durch die diagenetische Mobilisierung bzw. Verteilung von Mangan, Uran, Kobalt, Nickel und seltene Erden erkannt werden (Liu et al. 1988; Wallace et al. 1988).

Sauerstoffisotope sind von zentraler Bedeutung für das Verständnis paläoozeanographischer und paläoklimatischer Entwicklungen. Solche Untersuchungen wurden in der Vergangenheit vor allem an karbonatischem Schalenmaterial durchgeführt. In hohen Breiten jedoch erlaubt der Mangel an Foraminiferenschalen in Sedimenten oft keine Sauerstoffisotopenstratigraphie. Daher müssen andere Gruppen von Organismen auf ihre Tauglichkeit überprüft werden, ob vergleichbar gute Informationen über die Variabilität des Ablagerungsraumes innerhalb geologischer Zeiträume erhalten werden können, wie sie sich durch die Karbonatisotopengeochemie ableiten lassen. Eine geeignete Gruppe könnten Diatomeen sein, deren Einbaurate von  $^{18}\text{O}$  ebenfalls nur von der Temperatur und dem  $^{18}\text{O}$ -Gehalt des Wassers bestimmt ist. In der Vergangenheit wurden von verschiedenen Arbeitsgruppen Untersuchungen des  $^{18}\text{O}$ -Gehalts an silikatischen Organismen durchgeführt (Knauth und Epstein 1975; Labeyrie 1974; Mikkelsen et al. 1978; Mopper und Garlick 1971; Wang und Yeh 1985; Matheney und Knauth 1989). Übereinstimmend befanden die Autoren Diatomeen als geeignet für die Sauerstoffisotopenanalyse, sofern die Reinigung von eventuellen Beimengungen detritischer Natur (Tonminerale, organische Substanz u.ä.) erfolgt und der Wassergehalt der Diatomeen ohne Isotopenaustausch mit dem Gerüst- $\text{SiO}_2$  entfernt wird.

Zur Präzisierung des Kreislaufes von Kohlenstoff ist neben dem vertikalen Partikelfluß und dem horizontalen Partikeltransport auch die aufwärts gerichtete Stoffzufuhr aus Fluid- und Gasaustritten ("cold seeps") zu berücksichtigen.

Austrittsstellen von Fluiden und Gasen am Meeresboden sind von mittelozeanischen Rücken, Back-arc Becken sowie von Subduktions- und Kollisionszonen ozeanischer und kontinentaler Platten seit einigen Jahren bekannt und haben revolutionäre Erkenntnisse über den marinen Stoffkreislauf geliefert (z. B. Jones 1985, Rona 1983, Han 1987, Lewis und Cochrane, in press). Dazu kommen neuerdings die "cold seeps" in Gebieten, die nicht offensichtlich an plattentektonische Prozesse gebunden sind, wie sie auch im Untersuchungsgebiet des SFB 313 beobachtet wurden (Kennicut et al. 1985, Paull et al. 1984, Paull et al. 1985, Hovland et al. 1987, Brooks et al. 1987, Hovland und Judd 1988, Jørgensen 1989). Ihre Bedeutung für den benthischen Stoffumsatz ist weitgehend unbekannt, und sie sind zum Ausgangspunkt für einen weiten Bereich von neuen Forschungsthemen geworden (Childress et al. 1986, Fisher et al. 1987, Dron et al. 1987, Boulegue et al. 1987).

Fluide und Gase treten entlang Verwerfungszonen und Ausbissen von Schichtflächen aus oder sind an Salz- bzw. Schlamm-Diapirismen gebunden; sie werden in den meisten Fällen durch geologische Randbedingungen gesteuert (Higgins und Saunders 1974, Bernard et al. 1976, Barber und Brown 1988, Cita et al. 1989, Suess et al., in press). Gebiete, in denen gegenwärtig Forschungsprojekte stattfinden, sind das Florida Escarpment an der Westseite der Halbinsel (Paull et al. 1985), der Laurentinische Tiefsee-Fan im NW-Atlantik, die Kattegat-Riffe (Jørgensen 1986) und die Gebiete der Nordsee mit Lagerstätten von Kohlenwasserstoffen im tieferen Untergrund (Hovland und Thomsen 1989).

Allen Untersuchungsgebieten ist eine charakteristische Besiedlung durch benthische Organismen gemeinsam. Bei diesen handelt es sich um eine symbiotische Vergesellschaftung von chemosynthetischen Mikroorganismen, die entweder auf Oxidation von Methan oder Sulfid oder auf beide Substrate spezialisiert sind, mit Makroorganismen wie Bartenwürmer und Muscheln, denen die mikrobielle Biomasse als Nahrung dient (Southward et al. 1981, Flügel und Langhof 1983, Southward et al. 1986, Spiro et al. 1986, Ruby et al. 1987, Schmaljohann und Flügel 1987, Schmaljohann et al. 1990).

Als weiteres Merkmal der Gas- und Fluidaustritte sind Karbonatkonkretionen, -krusten, -schlote und -zementbildungen bekannt, in deren Karbonatanteil das  $^{12}\text{C}$ -Isotop extrem angereichert ist (bis zu  $-80\text{‰}$  PDB). Solche diagnostischen Isotopien sind in allen Fällen auf die Inkorporation von Methan-Kohlenstoff zurückzuführen, welcher an den Austrittsstellen durch mikrobielle Oxidation in Karbonat überführt und dadurch zur Ausfällung der verschiedenen Karbonatstrukturen und -morphologien beiträgt (Whiticar und Faber 1986, Ritger et al. 1986, Han 1987, Schroeder et al. 1987).

Schließlich entstammt der allerjüngsten Zeit die kühne Hypothese, daß die Mehrzahl der "enigmatischen Korallenriffe", wie sie aus dem kalten Wasser des Nordatlantiks und dem extrem trüben Wasser des westlichen Golfes von Mexiko bekannt sind (Moore und Bullis 1960), auf Hartsubstraten wachsen, die sich um Austrittsstellen von Gasen und Fluiden aufgrund der Kohlenwasserstoff-, Sulfid- und Nährstoffzufuhr bilden (Hovland 1990). Im Untersuchungsgebiet des SFB 313 sind als besonders markante Beispiele die Lophelia-Riffe (Mikkelsen et al. 1982) und andere "Karbonat-Oasen" auf dem norwegischen Schelf, dem Barentsseeschelf und in der Norwegischen Tiefsee zu nennen. Während Kohlenwasserstoff-"seeps" und die damit auftretenden Karbonatbildungen mit anomalen  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenverhältnissen seit langem als Werkzeuge der Erdölexploration bekannt sind und Anwendung finden, existiert so gut wie keine Information über die gleichzeitig austretenden wässerigen Lösungen (Dillon und Paull 1983). Es werden geo- und hydroakustische Methoden bei der Exploration eingesetzt, um Kohlenwasserstoff-"seeps" zu erkennen, denn die Bildung einer Gasphase (Methanblasen) im Sediment und im Bodenwasserkörper führt zu starken Dichteunterschieden. Die damit verbundenen akustischen Anomalien erlauben es, großräumige Aufnahmen und Vermessungen von "seeps" durchzuführen (Han 1987).

Bei niedrigen Konzentrationen von Methan und Kohlenwasserstoffen (unterhalb der Gassättigung) sind diese Methoden allerdings nicht anwendbar und werden durch chemische Sonden ("sniffer") zur Auffindung von Methan in geschleppten Systemen kommerziell ersetzt. Auch hierbei entfällt jegliche Information über chemische Anomalien von Lösungen. Deshalb ist die umfassendste - wenn auch aufwendigste - Methode die diskrete Probenentnahme im Wasserkörper über dem Meeresboden und in der obersten Sedimentschicht und die Bestimmung von gelösten Gasen (wie z. B. Methan, Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff, Helium und Radon) und Fest-

stoffen (wie z. B. Mangan, Eisen, Barium und der Salze des Meerwassers). Die kontinuierliche Registrierung der Temperatur des Bodenwassers, wie sie bei der Auffindung von "vents" unerlässlich ist, kann bei den "cold seeps" offensichtlich nicht zum Erfolg führen.

#### Literatur

- Adams, D. und N.J. Fendinger (1986): Early diagenesis of organic matter in the recent sediments of Lake Erie and Hamilton Harbor I. Carbon gas geochemistry. - In: Sediments and water interactions, (P.G. Sly, ed.), Springer Verl.: 305-318
- Aller, J.Y. und R.C. Aller (1986): Evidence for localized enhancement of biological activity associated with tube and burrow structures in deep-sea sediments at the Hebble site, western North Atlantic. - Deep-Sea Res. 33: 755-790
- Aller, R.C. (1988): Benthic fauna and biogeochemical processes in marine sediments: the role of burrow structures. - In: Nitrogen cycling in coastal marine environments, (Blackburn, T.H. und J. Sørensen, eds.), John Wiley and Sons: 301-337
- Anderson, L.G.; P.O. Hall; A. Iverfeldt; M.M. Rutgers van der Loeff; B. Sundby und S.F.G. Westerlund (1986): Benthic respiration measured by total carbonate production. - Limnol. Oceanogr. 31: 319-329
- Anderson, R.F.; M.P. Bacon und P.G. Brewer (1983): Removal of  $^{230}\text{Th}$  and  $^{231}\text{Pa}$  at ocean margins. - Earth Planet. Sci. Lett., 66: 73-90.
- Anderson, R.F.; Y. Lao; W.S. Broecker; S.E. Trumbore; H.J. Hofmann und W. Wolfli (1990): Boundary scavenging in the Pacific Ocean: a comparison of  $^{10}\text{Be}$  and  $^{231}\text{Pa}$ . - Earth Planet. Sci. Lett., 96: 287-304.
- Bacon, M.P. (1984): Glacial to interglacial changes in carbonate and clay sedimentation in the Atlantic Ocean estimated from  $^{230}\text{Th}$  measurements. - Isotop. Geosci., 2: 97-111.
- Bacon, M.P. (1988): Tracers of chemical scavenging in the ocean: boundary effects and large-scale chemical fractionation. - Phil. Trans. R. Soc. Lond., A 325: 147-160.
- Bacon, M.P.; C.-A. Huh; A.P. Fleer und W.G. Deuser (1985): Seasonality in the flux of natural radionuclides and plutonium in the Deep Saragossa Sea. - Deep-Sea Res., 32: 273-286.
- Bacon, M.P. und M.M. Rutgers v. d. Loeff (1989): Removal of thorium-234 by scavenging in the bottom nepheloid layer of the ocean. - Earth Planet. Sci. Lett., 92: 157-164.
- Bacon, M.P.; C.-A. Huh und R.M. Moore (1989): Vertical profiles of some natural radionuclides over the Alpha Ridge, Arctic Ocean. - Earth Planet. Sci. Lett., 95: 15-22.
- Barber, T. und K. Brown (1988): Mud diapirism: the origin of melanges in accretionary complexes? - Geol. Today, May-Jun.: 89-94.
- Bayona, J.M., A. Farran und J. Albaiges (1989): Steroid alcohols and ketones in coastal waters of the western mediterranean: sources and seasonal variability. - Mar. Chem., 27: 79-104

- Bender, M.; R.B. Lorenz und D.F. Williams (1975): Sodium, magnesium and strontium in the tests of planktonic foraminifera. - *Micropaleontology*, 21: 448-459.
- Bender, M.L. und D.T. Heggie (1984): Fate of organic carbon reaching the deep sea floor: a status report. - *Geochim. Cosmochim. Acta* 48: 977-986.
- Benner, R.; J. Lay; E. K'nees und R.E. Hodson (1988): Carbon conversion efficiency for bacterial growth on lignocellulose: implications for detritus-based food webs. - *Limnol. Oceanogr.* 33: 1514-1526
- Bernard, B.B.; J.W. Books und W.M. Sackett (1976): Natural gas seepage in the Gulf of Mexico. - *Earth Planet. Sci. Lett.*, 31: 48-54.
- Bishop, J.K.B. (1988): The barite-opal-organic carbon association in oceanic particulate matter. - *Nature*, 332: 341 - 343.
- Boulegue, J.; E.L. Benedetti; D. Dron; A. Mariotti und R. Letolle (1987): Geochemical and biogeochemical observations on the biological communities associated with fluid venting in Nankai Trough and Japan Trench subduction zones. - *Earth Planet. Sci. Lett.*, 83: 343-355.
- Boyle, E.A. (1985): Paired carbon isotope and cadmium data from benthic foraminifera: implications for changes in deep ocean phosphorus and atmospheric carbon dioxide. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50: 265-276.
- Boyle, E.A. und Keigwin, L.D. (1982): Deep circulation of the North Atlantic over the last 200,000 years: geochemical evidence. - *Science*, 218: 784-787.
- Bray, E.E. und E.D. Evans (1961): Distribution of n-parafins as a clue to recognition of source beds. - *Geochim. Cosmochim. Acta* 22: 2-1.
- Brassel, S.C., A.M.K. Wasdroper, I.D. Thomson, J.R. Maxwell und G. Eglinton (1981): Specific acyclic isoprenoids as biological markers of methanogenic bacteria in marine sediments.- *Nature*, 290: 693-696.
- Brassel, S.C., R.G. Brereton, G. Eglinton, J. Grimalt, G. Liebezeit, I.T. Marlowe, U. Pflaumann und M. Sarthain (1985): Paleoclimatic signals recognized by chemometric treatment of molecular stratigraphic data.- *Adv. Org. Geochem.*, 10: 649-660.
- Brassel, S.C. und G. Eglinton (1986): Molecular geochemical indicators in sediments.- In: *Organic marine geochemistry* (M.L. Sohn, Ed.), ACS Symposium series 305; Wash.: 10-32.
- Brooks, J.M.; M.C. Kennicutt II; C.R. Fischer; S.A. Macko; K. Cole; J.J. Childress; R.R. Bidigare und R.D. Vetter (1987): Deep-Sea hydro-carbon seep communities: Evidence for energy and nutritional carbon sources. - *Science*, 238: 1138-1142.
- Canfield, D.E. (1989): Sulfate reduction and oxic respiration in marine sediments: implications for organic carbon preservation in euxinic environments. - *Deep-Sea Res.* 36: 121-138
- Childress, J.J.; T.J. Fisher; J.M. Brooks; J.M. Kennicutt II; R.R. Bidigare und A. Anderson (1986): A methanotropic marine molluscan (*Bivalvia Mytilidae*) Symbiosis: Mussels fueled by gas. - *Science*, 233: 1306-1308.



- Chin-Leo, G. und D.L. Kirchman (1988): Estimating bacterial production in marine waters from the simultaneous incorporation of thymidine and leucine. - *Appl. Environ. Microbiol.* 54: 1934-1939
- Cita, M.B.; A. Camerlenghi; E. Erba; F.W. McCoy; D. Castradori; A. Cazzani; G. Guasti; M. Giambastiani; R. Lucchi; V. Nolli; G. Pezzi; M. Redaelli; E. Rizzi; S. Torricelli und D. Violanti (1989): Discovery Of Mud Diapirism On The Mediterranean Ridge. A Preliminary Report. - *Bull. Soc. Geol. It.*, 108: 537-543.
- Coale, K.H. und K.W. Bruland (1985):  $^{234}\text{Th}:$  $^{234}\text{U}$  disequilibria within the California Current. - *Limnol. Oceanogr.* 30: 22-32.
- Cochran, J.K.; T. McKibbin-Vaughan; M.M. Dornblaser; D. Hirschberg; H.D. Livingston und K.O. Buessler (1990):  $^{210}\text{Pb}$  scavenging in the North Atlantic and North Pacific Oceans. - *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 97: 332-352.
- Cole, J.; F. Honjo und J. Erez (1987): Benthic decomposition of organic matter at a deep water site in Panama Basin. - *Nature*, 327: 704-705
- Cragg, B.A.; R.J. Parkes; J.C. Fry; R.A. Herbert; J.W.T. Wimpenny und J.M. Getliff (1990): Bacterial biomass and activity profiles within deep sediment layers. - In: Svess, E. und R. von Huene (eds.): *Proc. ODP Sci. Results 112*, College Station, Ocean Drilling Programm (in press)
- Debysier, Y.; R. Pelet und M. Dastillung (1977): *Geochimie organique de sediments marins recents: Mer Noire, Baltique, Atlantique (Mauritanie)*. - In: *Advances in Organic Geochemistry 1975*. Campos, R. and J. Goni (eds.), Madrid: 289-320.
- Degens, E.T. und J.I. Mopper (1976): Factors controlling the distribution and early diagenesis of organic material in marine sediments. In: *Chemical Oceanographie* (J.P. Riley und R. Chester, eds.), Vol. 6, Academic Press, London: 59-113.
- Delaney, M.L.; A.W.H. Be und E.A. Boyle (1985): Li, Sr, Mg, and Na in foraminiferal calcite shells from laboratory culture, sediment traps, and sediment cores. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49: 1327-1341.
- Deming, J.W. und R.R. Colwell (1985): Observations of barophilic microbial activity in samples of sediment and intercepted particulates from the Demerara Abyssal Plain. - *Appl. Environ. Microbiol.* 50: 1002-1006.
- Deuser, W.G. (1986): Seasonal and interannual variations in deep-water particle flux in the Sargasso Sea and their relation to surface hydrography. - *Deep Sea Res.*, 33: 225-246.
- Didyk, B.M., B.R.T. Simoneit, S.C. Brassel und G. Eglinton (1978): Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation. - *Nature*, 272: 216-222.
- Dillon, W.P. und C.K. Paull (1983): Marine gas hydrates - II: Geophysical evidence. - In: *Natural Gas Hydrates: Properties Occurrence and Recovery* (ed. by J. L. Cox), Butterworth, Boston: 73-90.
- Dobbs, F.C.; J.B. Guckert und K.R. Carman (1989): Comparison of three techniques for administering radiolabeled substrates to sediments for trophic studies. I. Incorporation by microbes. - *Microb. Ecol.* 17: 237-250.

- Dron, D.; J. Boulègue; A. Taira und C. Rangin (1987): Geochemistry of the Tenryu Canyon deep-sea fan biological community (Kaiko). - *Earth Planet. Sci. Lett.*, 83: 356-362.
- Duyf, van F.C. und A.J. Kop (1990): Seasonal patterns of bacterial production and biomass in intertidal sediments of the western Dutch Wadden Sea. - *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 59: 249-261
- Eglington, G. und M.T.J. Murphy (eds.) (1969): *Organic Geochemistry, methods and results.* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- Eisenhauer, A.; A. Mangini; R. Botz; P. Walter; J. Beer; M. Bonani; M. Suter und W. Wölfli (1990): High resolution <sup>230</sup>Th and <sup>10</sup>Be stratigraphy of core M23235-2 (Fram Strait). - In: Bleil, U. und Thiede, J. (eds.), *Geologic history of the polar oceans: Arctic versus Antarctic*, Nato Asi Series, C Serie, Kluwer Academic Publications: 475-488
- Emerson, S.; K. Fischer; C. Reimers und D. Heggie (1985): Organic carbon dynamics and preservation in deep-sea sediments. - *Deep-Sea Res.* 32: 1-21
- Eppley, R.W. (1989): New production: History, methods, problems. - In: Berger, W. H.; Smetacek, V. S. and Wefer, G. (eds.), *Productivity of the ocean: Present and Past*, Dahlem Konferenzen, John Wiley und Sons: 85-97.
- Fisher, C.R.; J.J. Childress; R.S. Oremland und R.R. Bidigare (1987): The importance of methane and thiosulfate in the metabolism of the bacterial symbionts of two deep-sea mussels. - *Mar. Biol.*, 96: 59-71.
- Flügel, H.J. und I. Langhof (1983): A new hermaphroditic pogonophore from the Skagerrak. - *Sarsia* 68: 131-138.
- Gagosian, R.B. und E.T. Peltzer (1985): The importance of atmospheric input of terrestrial material to deep sea sediments. - *Adv. Org. Geochem.*, 10: 661-669.
- Geomicrobiology Journal* (1989): Vol.7
- Goossens, HG.; W.I.C. Pijpstra, R.R. Düren, J.W. de Leeuw und P.A. Schenck (1985): Bacterial contribution to sedimentary organic matter. - *Adv. Org. Geochem.*, 10: 683-696.
- Han, M.W. (1987): Dynamics and chemistry of pore fluids in marine sediments of different tectonic settings: Oregon subduction zone and Bransfield Strait extensional basin. - PhD. Thesis, Oregon State University, Corvallis: 280
- Higgins, G.E. und J.B. Saunders (1974): Mud volcanoes: their nature and origin. - *Verh. Naturf. Ges. Basel*, 84: 101-152.
- Himberg, M., E. Sippola und M. Riekkola (1989): Multidimensional gas chromatography: state of the art. - *J. Microcolumn Sep.* 1: 271-277.
- Hovland, M. (1990): Do carbonate reefs form due to fluid seepage? - *Terra Nova*, 2: 8-18.
- Hovland, M.; M.R. Talbot; M.R. Qvale; S. Olausson und L. Aasberg (1987): Methane-related carbonate cements in pockmarks of the North Sea. - *J. Sedimentary Petrology*, 57: 881-892.
- Hovland, M. und A.G. Judd (1988): *Seabed Pockmarks and Seepages.* - Graham and Trotman, London: 293.
- Hovland, M. und E. Thomsen (1989): Hydrocarbon based communities in the North Sea? - *Sarsia*, 74: 29-40.
- Jahnke, R.A. und A.G. Jackson (1987): Role of sea floor organisms in oxygen consumption in the deep North Pacific Ocean. - *Nature* 329: 621-623

- Jahnke, R.A.; S.R. Emerson; C.E. Reimers; J. Schuffert; K. Ruttenger, K. und D. Archer (1989): Benthic recycling of biogenic debris in the eastern tropical Atlantic Ocean. - *Geochim. Cosmochim. Acta* 53: 2947- 2960
- Johns, R.B. (1986): Biological markers in the sedimentary record. *Methods in geochemistry and geophysics* 24, Elsevier, Amsterdam: 364 pp.
- Jones, M.L. (1985): The hydrothermal vents of the Eastern Pacific: An Overview.- *Bull. Biol. Soc. Washington*, 6: 475-484.
- Jørgensen, N.O. (1986): Recent high magnesian calcite/aragonite cementation of beach and submarine sediments from Denmark. - *J. Sedim. Petrol.*, 46: 940-951.
- Jørgensen, N.O. (1989): Holocene methane-derived, dolomite-cemented sandstone pillars from the Kattegat, Denmark. - *Mar. Geol.*, 88: 71-81.
- Karl, D.M. und J.A. Novitsky (1988): Dynamics of microbial growth in surface layers of a coastal marine sediment ecosystem. - *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 50: 169-176
- Kennicut, M.C. II; J.M. Brooks; R.R. Bidigare; R.R. Fay; T.L. Walde und T.J. McDonald (1985): Vent-type taxa in a hydrocarbon seep on the Louisiana slope. - *Nature* 317: 351-353
- Knauth, L.P. und S. Epstein (1975): Hydrogen and oxygen isotope ratios in silica from the JOIDES Deep Sea Drilling Project. - *Earth Planet. Sci. Lett.*, 25: 1-10.
- Kristensen, E. (1988): Benthic fauna and biogeochemical processes in marine sediments: Microbial activities and fluxes. - In: *Nitrogen cycling in coastal marine environments*, (Blackburn, T.H. und J. Sørensen, eds.), John Wiley and Sons, pp. 277-299
- Labeyrie, L. (1974): New approach to surface seawater paleotemperatures using 18-O/16-O ratios in silica of diatom frustules. - *Nature*, 248: 40-42.
- Lea, D.W. und E.A. Boyle (1989): Barium content of benthic foraminifera controlled by bottom-water composition. - *Nature*, 338: 751-753.
- Lee, C., S.G. Wakeham und J.W. Farrington (1983): Variations in the composition of particulate organic matter in a time-series sediment trap.- *Mar. Chem.*, 13: 181-194.
- Lewis, B.T.R. und G.C. Cochrane (in press): Relationship between chemosynthetic benthic communities and geologic structure of the Cascadia subduction zone. - In: *NATO-Advanced Research Institute, Il Ciocco, Italy*, *J. Geophys. Res.*
- Leythaeuser, D. und J. Rullkötter (1986): *Adv. Org. Geochem.* 1985. Part II.- *Org. Geochem.*, 10: 649-1142.
- Liu, Y.-G.; M.R.U. Miah und R.A. Schmitt (1988): Cerium: A chemical tracer for paleo-oceanic redox conditions. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52: 1361-1371.
- Lochte, K. und C.M. Turley (1988): Bacteria and cyanobacteria associated with phytodetritus in the deep sea. - *Nature* 333: 67- 69
- Mackenzie, A.S., S.C. Brassel, G. Eglinton und J.R. Maxwell (1982): Chemical fossils: The geological fate of steroids.- *Science* 217: 491-504.

- Mangini, A. (1984): Datierungen von Sedimenten und andere Anwendungen der Radionuklide  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{231}\text{Pa}$  und  $^{10}\text{Be}$  in der marinen Geologie. - Habil.-Schrift, Universität Heidelberg: 66
- Mangini, A. und L. Diester-Haass (1983): Excess  $^{230}\text{Th}$  In sediments off NW Africa traces upwelling in the past. - in: Suess, E. und Thiede, J. (eds.), Coastal upwelling, Part A, Plenum, New York: 455-470.
- Matheney, R.K. und L.P. Knauth (1989): Oxygen-isotope fractionation between marine biogenic silica and seawater. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53: 3207-3214.
- Mauviel, A.; S.K. Juniper und M. Sibuet (1987): Discovery of an enteropneust associated with a mound-burrows trace in the deep-sea: ecological and geochemical implications. - *Deep-Sea Res.* 34: 329-335
- Mikkelsen, N.; L. Labeyrie und W.H. Berger (1978): Silica oxygen isotopes in diatoms: a 20.000 year record in deep-sea sediments. - *Nature*, 271: 536-538.
- Mikkelsen, N.; H. Erlenkeuser; J.S. Killingley und W.H. Berger (1982): Norwegian corals: radiocarbon and stable isotope in *Lophelia pertusa*. - *Boreas*, 11: 163-171.
- Moore, D.R. und H.R. Bullis Jr (1960): A deep-water coral reef in the Gulf of Mexico. - *Bull. Mar. Sci. Gulf Carrib.*, 10: 125-128.
- Moore, R.M. und J.N. Smith (1986): Disequilibria between  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}$  in the Arctic Ocean and the implications for chemical modification of the Pacific water inflow. - *Earth Planet. Sci. Lett.*, 77: 285-292.
- Mopper, K. und G.D. Garlick (1971): Oxygen isotope fractionation between biogenic silica and ocean water. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 35: 1185-1187.
- Murray, J.W.; J.N. Downs; S. Strom; C.-L. Wei und H.W. Jannasch (1989): Nutrient assimilation, export production and  $^{234}\text{Th}$  scavenging in the eastern equatorial Pacific. - *Deep-Sea Res.*, 36: 1471-1489
- Murray, J.W. und K.M. Kuivila (1990): Organic matter diagenesis in the northeast Pacific: transition from aerobic red clay to suboxic hemipelagic sediments. - *Deep-Sea Res.* 37: 59-80
- Nedwell, D.B. (1987): Distribution and pool sizes of microbially available carbon in sediment measured by a microbiological assay. - *FEMS Microbiol. Ecol.* 45: 47-52
- Paull, C.K.; B. Hecker; R. Commeau; R.P. Freeman-Lynde; C. Neuman; W.P. Corso; S. Golubic; J.E. Hook; E. Sikes und J. Curray (1984): Biological communities at the Florida Escarpment resemble hydrothermal vent taxa. - *Science*, 226: 965-967.
- Paull, C.K.; A.J.T. Jull; L.J. Toolin und T. Linick (1985): Stable isotope evidence for chemosynthesis in an abyssal seep community. - *Nature, Lond.* 317: 709-711.
- Philip, R.P. und T.D. Gilbert (1986): The detection and identification of biological markers by computerized gas chromatography-massspectrometry.- In: Johns (Ed.), *Methods in geochemistry and geophysics*, 24, Elsevier, Amsterdam: 227-248.
- Philip, R.P. und J. Oung (1988): Biomarkers: occurrence, utility and detection.- *Anal. Chem.*, 60: 887A-896A.

- Philip, R.P., J. Oung und C.A. Lewis (1988): Biomarker determination in crude oils using a triple-stage quadrupole mass spectrometer.- *J. Chromatogr.*, 446: 3-16.
- Reimers, C.E. und K.L. Smith (1986): Reconciling measured and predicted fluxes of oxygen across the deep sea sediment-water interface. - *Limnol. Oceanogr.* 31: 305-318
- Repeta, D.J. und R.B. Gagosian (1987): Carotenoid diagenesis in recent marine sediments.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51: 1001-1009.
- Ritger, S.; B. Carson und E. Suess (1986): Methane-derived authigenic carbonates formed by subduction-induced pore water expulsion along the Oregon/Washington margin. - *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 98: 147-156.
- Rona, P.A. (1983): Hydrothermal Processes At Seafloor Spreading Centers, NATO Conference series, IV, Marine sciences: 12.
- Rowe, G.T. und J.W. Deming (1985): The role of bacteria in the turnover of organic carbon in deep-sea sediments. - *J. Mar. Res.* 43: 925-950
- Ruby, E.G.; H.W. Jannasch und W.G. Deuser (1987): Fractionation of stable carbon isotope during chemoautotrophic growth of sulphur-oxidizing bacteria. - *Appl. Environ. Microbiol.*, 53: 1940-1943.
- Scalan, R.S. und J.E. Smith (1970): An improved measure of the odd-even predominance in the normal alkanes of sediment extracts and petroleum. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34: 611-620.
- Schmaljohann, R.; Flügel, H.J. (1987): Methane-oxidizing bacteria in Pogonophora. - *Sarsia* 72: 91-98.
- Schmaljohann, R.; E. Faber; M.J. Whitticar und P.R. Dando (1990): Co-existence of methane- and sulphur-based endosymbioses between bacteria and invertebrates at a site in the Skagerrak. - *Marine Ecol. Prog. Series*, 61: 119-124.
- Schmitz, B. (1987): Barium, Equatorial High Productivity, and the Northward Wandering of the Indian Continent. - *Paleoceanography*, 2: 63-77.
- Schroeder, N.A.M.; L.D. Kulm und G.E. Muehlberg (1987): Carbonate chimneys on the outer continental shelf: Evidence for fluid venting on the Oregon margin. - *Oregon Geol.*, 49: 91-96.
- Sohn, M.Z. (1986): Organic marine geochemistry. ACS Symposium series 305, Wash., D.C.:427 pp.
- Southward, A.J.; E.C. Southward; P.R. Dando; G.H. Rau; H. Felbeck und H. Flügel (1981): Bacterial symbionts and low  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios in tissues of Pogonophora indicate unusual nutrition and metabolism. - *Nature, Lond.* 293: 616-620
- Southward, A.J.; E.C. Southward; P.R. Dando; R.L. Barrett und R. Ling (1986): Chemoautotrophic function of bacterial symbionts in small pogonophora. - *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 66: 415-437.
- Spiro, B.; P.B. Greenwood; A.J. Southward und P.R. Dando (1986):  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios in marine invertebrates from reducing sediments: confirmation of nutritional importance of chemoautotrophic endosymbiotic bacteria. - *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 28: 233-240
- Stach, E.; M.Th. Mackowsky; M. Teichmüller; G.H. Taylor; D. Chondra und R. Teichmüller (1982): Stach's Textbook of Coal Petrology. Gebrüder Bornträger, Berlin.

- Suess, E.; R. von Huene: Proc. ODP Sci. Results 112, College Station, Ocean Drilling Program. (in press)
- Suman, D.O. und M.P. Bacon (1989): Variations in Holocene sedimentation in the North American Basin determined from  $^{230}\text{Th}$  measurements. - Deep-Sea Res., 36: 869-878.
- Taguchi, K.; K. Harada und S. Tsunogai (1989): Particulate removal of  $^{230}\text{Th}$  and  $^{231}\text{Pa}$  in the biologically productive northern North Pacific. - Earth Planet. Sci. Lett., 93: 223-232.
- Tissot, B.P. und D.H. Welte (1984): Petroleum Formation and Occurrence. - Springer Verlag, Heidelberg.
- Volkman, J.K., D.I. Allen, P.L. Stevenson und H.R. Burton (1985): Bacterial and algal hydrocarbons in sediments from a saline Antarctic lake, Ace Lake.- Adv. Org. Geochem., 19: 671-681.
- Volkman, J.K. (1986): A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter.- Org. Geochem., 8: 83-99.
- Wakeham, S.G.; C. Lee; J.W. Farrington und R.B. Gagosian (1984): Biogeochemistry of particulate organic matter in the oceans: Results from sediment trap experiments. - Deep Sea Res., 31: 509- 520.
- Wakeham, S.G. und C. Lee (1989): Organic geochemistry of particular matter in the ocean: the role of particles in oceanic sedimentary cycles.- Org. Geochem., 14: 83-96.
- Wallace, H.E.; J. Thomson; P.P. Wilson; E. Weaver; N.C. Higgs und D.J. Hydes (1988): Active diagenetic formation of metal-rich layers in NE Atlantic sediments. - Geochim. Cosmochim. Acta, 52: 1557-1569.
- Wang, C.-H. und H.-W. Yeh (1985): Oxygen isotopic compositions of DSDP Site 480 diatoms: Implications and applications. - Geochim. Cosmochim. Acta, 49: 1469- 1478.
- Whiticar, M.J. und E. Faber (1986): Methane oxidation in sediment and water column environments-isotopic evidence. - Org. Geochem., 10: 759-768.

#### 7.4 Eigene Vorarbeiten

Für die Beurteilung qualitativer und quantitativer Aspekte der Ablagerung von organischem Material im Sediment ist es von besonderem Interesse, den Weg des organischen Kohlenstoffs von seiner enzymatischen Spaltung bis hin zur Remineralisierung und Festlegung in benthischer Biomasse zu verfolgen. Da insbesondere in küstenfernen Sedimenten der enzymatische Abbau partikulären organischen Materials den geschwindigkeitsbegrenzenden Schritt in der Kohlenstoffoxidation darstellt, wurde der Messung enzymatischer Abbauraten organischen Materials besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Durch die Verwendung fluoreszenzmarkierter Modellsubstrate (wie z. B. Fluoresceindiacetat; vergl. Meyer-Reil 1990b) konnte die Empfindlichkeit enzymatischer Messungen in den letzten Jahren beträchtlich gesteigert werden (Meyer-Reil 1986a, 1987b, 1990b). Die ermittelten enzymatischen Potentiale reflektieren den Pool natürlicher Enzyme, die von den benthischen (Mikro)organismen als Reaktion auf das eingetragene organische Material gebildet wurden (zusammenfassende Diskussion verschiedener Aspekte vergl. Meyer-Reil und Graf 1986; Meyer-Reil 1987a; Billen et al. 1990; Meyer-Reil et al. 1987).

Parallel zur Messung enzymatischer Abbauraten partikulären organischen Materials wurde die Remineralisierung sowie die Inkorporation der Hydrolyseprodukte in mikrobielle Biomasse verfolgt (Meyer-Reil 1987b). Tritium-markiertes Leucin diente zur Bestimmung der Biomasseproduktion. Als Maß für mikrobielle aerobe und anaerobe Remineralisierungsprozesse wurde die Produktion von Kohlendioxid in inkubierten Sedimentproben ermittelt (Charfreitag, Köster und Meyer-Reil, Posterpräsentationen auf der Frühjahrstagung der VAAM 1990).

Regionale Unterschiede im Verteilungsmuster benthischer Aktivitäten sind als Ausdruck unterschiedlicher Nährstoffzufuhr zum Sediment zu interpretieren (Meyer-Reil 1990a). Hierbei sind sowohl großskalige regionale Unterschiede als auch kleinskalige Unterschiede (z. B. benthische Besiedlung, Topographie des Meeresbodens) zu bedenken.

Enzymatische Abbauraten organischen Materials in Sedimentprofilen auf einem Schnitt über das Vøring-Plateau zeigten in Abhängigkeit von der Wassertiefe (Plateau- oder Hanglage) und der benthischen Besiedlung deutliche Variationen. Während auf dem Plateau die geringsten Umsatzraten gemessen wurden, stiegen die Hydrolyseraten hangabwärts deutlich an. Besonders hervorzuheben ist, daß bei einigen Stationen in intermediären Sedimenthorizonten enzymatische Aktivitäten angereichert waren. Diese erhöhten Abbauraten organischen Materials sind offenbar auf die Aktivität von Makrofaunaorganismen (Sipunculiden, Enteropneusten) zurückzuführen, die intensive Bioturbation betreiben (Romero-Wetzel 1987, 1989). Feinskalige Beprobungen der Gangsysteme der Organismen zeigten ausgeprägte Gradienten enzymatischer Aktivitäten und mikrobieller Biomasse zwischen den Gangwandungen und dem Umgebungssediment (Köster et al. 1990). Durch die z. T. dichte Verteilung von Gangsystemen ergibt sich eine große "stoffwechselaktive" Oberfläche, die Sediment/Wasser-Grenzfläche um ein Vielfaches übertreffend. Hingegen zeichneten sich Sedimente im Ostgrönlandstrom (Profil vor dem Scoresbysund) durch deutlich geringere Abbauraten organischen Materials aus. Intermediäre Maxima in der enzymatischen Aktivität waren nicht zu erkennen.

Die feinskalige Analyse von Sedimentprofilen in der Jan-Mayen Bruchzone zeigte an der Oberfläche extrem ausgeprägte Gradienten enzymatischer Aktivitäten. Da diese Gradienten mit dem Massenvorkommen von agglutinierten Foraminiferen (Gattungen *Hyperammina* und *Rheophax*) korrelierten, war zu vermuten, daß der große Pool hydrolytischer Enzyme im wesentlichen mit Foraminiferen assoziiert war. Diese Hypothese konnte durch die Untersuchung einzelner, lebender Organismen bestätigt werden. Paralleluntersuchungen mikrobieller Zahl, Biomasse und Produktion lassen vermuten, daß die Mikroorganismen eher vom Stoffwechsel der Foraminiferen profitieren (Aufnahme von Stoffwechselprodukten, Abbau toter Foraminiferen), als daß sie die Hauptdestruenten organischen Materials darstellen (Meyer-Reil und Köster, 1990a).

Das unterschiedliche Verteilungsmuster hydrolytischer Aktivitäten in Sedimenten des Vøring-Plateaus und der Jan-Mayen Bruchzone verdeutlicht unterschiedliche Strategien benthischer Organismen

in der Verwertung organischen Materials. Während in Sedimenten des Vøring-Plateaus ein Großteil des sedimentierten Materials offenbar in Gangsystemen von Makrofaunaorganismen konzentriert und abgebaut wird, findet der wesentliche Abbau organischen Materials in den mit Foraminiferen besiedelten Sedimenten in der Jan-Mayen Bruchzone unmittelbar an oder bereits oberhalb der Sedimentoberfläche statt. Hieraus ergeben sich bedeutende Konsequenzen für die Remineralisierung und die Ablagerung des organischen Materials im Sediment.

Für einige der produktivsten Foraminiferenstationen konnte die benthische Remineralisierung durch Messung der Produktion von Kohlendioxid bestimmt werden. Die hieraus errechneten Oxidationsraten organischen Kohlenstoffs betragen bis zu 30 mg pro m<sup>2</sup> Sediment pro Tag. Aus dem Vergleich der im Porenwasser gemessenen Konzentration mit der ermittelten Produktion von Kohlendioxid resultiert eine Turnover Zeit von etwa 10 Tagen (Sedimentoberfläche). Die errechneten Produktionsraten verdeutlichen, daß die von Foraminiferen besiedelten Sedimente aufgrund ihrer Lokalität (Bodenbeschaffenheit, Strömungen) durch erhöhte Einträge organischen Materials ausgezeichnet sind. Durch die hohen Remineralisierungsraten von organischem Material kommt es an diesen Stationen zu einer beträchtlichen Freisetzung von oxidiertem C (Kohlendioxid) in das Bodenwasser.

Gegenüber unbesiedelten Sedimenten zeichneten sich die mit Foraminiferen besiedelten Sedimente durch geringere Gehalte von organischem Kohlenstoff und Stickstoff sowie durch geringere C/N-Verhältnisse aus. Aus den generell um eine Größenordnung geringeren Hydrolyseraten organischen Materials und vernachlässigbar kleineren Nettofreisetzungsraten von Kohlendioxid kann geschlossen werden, daß das organische Material an den Stationen ohne Foraminiferenbesiedlung zum größten Teil refraktärer Natur ist und damit für Remineralisierungsprozesse durch benthische Organismen nur begrenzt verfügbar ist. Auch der geringere Prozentsatz von Bakterienkohlenstoff am Gesamtkohlenstoff im Sediment (ein indirektes Maß für abbaubaren organischen Kohlenstoff) deutet darauf hin, daß das organische Material an diesen Stationen schwer abbaubar ist und somit akkumuliert.

Wesentliche Kenntnisse über die Reaktionen des Benthos auf den Eintrag organischen Materials in das Sediment entstammen einem "Fütterungsexperiment", bei dem intakte Sedimentkerne an Bord gehältert und mit natürlichem Detritus gefüttert wurden. In regelmäßigen Abständen erfolgte die Entnahme und Analyse der gefütterten Sedimente parallel zu einer ungefütterten Kontrolle. Untersuchungen der Konzentration von Protein ergaben, daß das auf die Sedimentoberfläche aufgebrachte organische Material innerhalb weniger Tage in das Sediment eingearbeitet wurde. Die Akkumulation von verfügbarem organischen Material führte unmittelbar zu einer Stimulation benthischer Abbauaktivitäten. So stiegen die enzymatischen Hydrolyseraten innerhalb von drei Tagen nach der Fütterung an der Sedimentoberfläche stark an und erfaßten schnell auch tiefere Horizonte. Nachfolgend wurde die mikrobielle Biomasseproduktion stimuliert. Während des Beobachtungszeitraumes wurde nur etwa 2 % des in das Sediment eingetragenen Kohlenstoffs in mikrobielle Biomasse inkorporiert.



Als Erklärung mag angeführt werden, daß die Mikroorganismen das verfügbare organische Material zunächst bevorzugt respirieren, also Aktivität entwickeln und sich teilen. Erst in einer weiteren Phase des Abbaus könnte dann die Biomasseproduktion eine größere Bedeutung gewinnen (Meyer-Reil und Köster 1990b).

Die Bestimmung von organischen Verbindungen im Meerwasser und in Sedimenten erfordert großen analytischen Aufwand, da diese Verbindungen als komplexe Gemische und meistens in sehr niedrigen Konzentrationen vorliegen. Die organischen Komponenten müssen daher aus großen Probenvolumen angereichert und von störenden Begleitsubstanzen abgetrennt werden; bei der Analyse von anthropogenen Schadstoffen treten zusätzliche Probleme zur Verhinderung von Kontaminationen der Proben durch die Umgebungsatmosphäre auf. Die Verbesserung der Methoden zur Analyse von Spurenstoffen, besonders den chlorierten Kohlenwasserstoffen war ein Schwerpunkt unserer Arbeiten (Duinker und Hillebrand 1983; IOC 1984). In den letzten Jahren sind neue Probenahmesysteme (IOC 1990; Schulz 1990) und Techniken zur Probenfraktionierung durch HPLC (Petrick et al. 1988) entwickelt worden. Durch die Einführung der Multidimensionalen Gaschromatographie (MDGC) wurden wesentliche Fortschritte bei der Trennung von sehr komplexen Stoffgemischen erzielt (Duinker et al. 1988); erstmals konnten alle der theoretisch 209 individuellen Chlorbiphenyle identifiziert werden (Schulz et al. 1989). Neben den methodischen Arbeiten standen Fragen zu Transportprozessen und Mechanismen im Mittelpunkt des Interesses. Aus den Untersuchungen in Ästuarien und in der Atmosphäre wurden wesentliche Erkenntnisse zum Verhalten lipophiler Stoffe in der Umwelt und zur Eignung von Polychlorierten Biphenylen als Modellsubstanzen erhalten (Duinker et al. 1982; Duinker 1986; Duinker und Bouchertall 1989).

Seit Oktober 1985 wird ein von der DFG gefördertes Projekt zum Partikelfluß organischer Spurenstoffe im Nordatlantik bearbeitet. In diesem Projekt wurde ein kontaminationsfreier Typ von Sinkstoffallen getestet und bis zur Einsatzreife weiterentwickelt. Aufgrund der sehr niedrigen Konzentration von organischen Verbindungen im Meerwasser müssen diese aus großen Wasservolumen angereichert werden. Durch den Einsatz eines 400 Liter-Edelstahlschöpfers und spezieller Methoden zur Aufarbeitung sowie zur gaschromatographischen Analyse konnte erstmals ein Tiefenprofil der PCB im Nordatlantik bestimmt werden (Schulz et al., 1988).

Die im JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study) geplanten Arbeiten sind im engen thematischen Zusammenhang mit den Aktivitäten im SFB 313 zu sehen. Der bundesdeutsche JGOFS-Beitrag beschränkt sich auf den Nordatlantik zwischen 30-60° nördlicher Breite. Die Untersuchungen des SFB 313 im Europäischen Nordmeer sind als räumliche Erweiterung anzusehen, und wegen der hier herrschenden anderen ozeanographischen Verhältnisse sind sie zum Verständnis der im JGOFS-Programm erzielten Ergebnisse unerlässlich.

Im Rahmen des SFB 313 werden seit 2 Jahren Sedimentkerne aus der Norwegisch-Grönländischen See sedimentologisch, geochemisch und mineralogisch bearbeitet. Wie die ersten Ergebnisse zeigen, ist aus den <sup>230</sup>Th Tiefenprofilen in Sedimentkernen eine <sup>230</sup>Th-Strati-

graphie erstellbar, die es ermöglicht, karbonatarme Sedimentkerne großräumig zu korrelieren und zeitlich einzuordnen (Botz et al. 1989; Scholten et al. 1989; Scholten et al. in press).

Mineralogische, geochemische und sedimentologische Untersuchungen sowie Altersdatierungen von Sedimenten und Mangan-Knollen mit Hilfe radioaktiver Isotope werden von uns in Zusammenarbeit mit Dr. A. Mangini, Umweltphysik Heidelberg, seit 1978 durchgeführt.

Im Mittelmeer konnte der Entstehungsmechanismus der Sapropelagen geklärt werden (Dominik und Stoffers 1979). Im Indischen Ozean gelang erstmalig der Nachweis, daß mit der  $^{230}\text{Th}$ -Methode das Alter von Sedimenten mit einer Genauigkeit bestimmt werden kann, wie es für die letzten ca. 300.000 Jahre sonst nur mit der Sauerstoffisotopenstratigraphie erreicht wird (Scholten 1987). Im Pazifik wurde der Zusammenhang zwischen der Fluktuation der Tiefenwassergeschwindigkeit und ihrer Auswirkung auf die Sedimentation in Abhängigkeit von klimatischen Übergangsphasen geklärt (Mangini et al. 1982; Mangini et al. 1987; Stoffers et al. 1984).

Es wurde begonnen, die Methodik zur Bestimmung von Spurenelementen in Foraminiferenschalen zu entwickeln. Die ersten Untersuchungen deuten darauf hin, daß zumindest für das Element Cadmium der methodische Ansatz erfolgreich angewendet werden kann.

Organisch-geochemische sowie isotopengeochemische Untersuchungen wurden in der Vergangenheit in Zusammenarbeit mit mehreren in- und ausländischen Arbeitsgruppen im Rahmen verschiedener Fragestellungen angewandt.

Die organisch-petrologischen und organisch-geochemischen sowie isotope-geochemischen Arbeiten an Zechstein-Ablagerungen gaben Hinweise auf die Herkunft und Diagenese bzw. Katagenese der sedimentären organischen Substanz (Botz et al. 1981; Botz und Müller 1987). Ähnliche Untersuchungen an permischen Gondwana-Kohlen gaben Hinweise auf deren frühe Entstehung in polnahen limnischen Becken sowie auf die Prozesse, die zu komplexen Mineralumwandlungen und Mineralneubildungen führten (Botz et al. 1986). Geochemische und isotopengeochemische Untersuchungen an Sedimenten verschiedener Ablagerungsmilieus zeigten den engen Zusammenhang zwischen der Diagenese des organischen Materials und diagenetischen Mineralbildungen an (Botz und von der Borch 1984; von Rad und Botz, 1987; Botz et al. 1988 a; Botz et al. 1988 b).

In Zusammenarbeit mit den Drs. H. Erlenkeuser sowie J. Koch und H. Wehner (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) wurde im Rahmen des SFB 313 die organische Fraktion in einem Sedimentkern aus der Norwegisch-Grönländischen See organisch-petrologisch, organisch-geochemisch und isotopisch bearbeitet. Wichtigste Ergebnisse sind die Abhängigkeit des  $^{13}\text{C}$  Wertes vom Liptinit-Gehalt der Proben sowie das in den Sauerstoffisotopenstadien 5/6 variable Verhältnis von terrigener zu mariner organischer Substanz (Botz et al., in prep.).

Die Arbeitsgruppe der BGR, mit der wir gemeinsam diese Untersuchungen an Sedimenten der Norwegischen See durchgeführt haben und auch in Zukunft weiter durchführen möchten, hat seit vielen Jahren die entsprechenden speziellen Methoden in der Erdöl- und Erdgasforschung angewandt (Whiticar et al. 1985; Wehner und Hufnagel, 1986; Wehner et al., in press; Koch, 1969, 1970, 1989; Koch und Scheuermann 1970; Koch und Arnemann 1975; Lütke und Koch 1987). An Methoden stehen Gaschromatographie-Massenspektrometrie, Pyrolyse-Gaschromatographie und Kohlenstoff-Isotopenbestimmungen zur Verfügung.

In den vergangenen zwei Jahren wurde mit freundlicher Hilfeleistung von Prof. Hoefs, Universität Göttingen, eine Aufbereitungsanlage für silikatisches Material zur Sauerstoffisotopenanalyse errichtet und mit internationalen Standards eingefahren. Die Anlage arbeitet sehr gut, so daß nun die Arbeiten zur Freisetzung und Messung des silikatisch gebundenen Sauerstoffs in Diatomeen beginnen können.

Seit der Entdeckung von Fluid- und Gasaustritten in ca. 3000 m Wassertiefe zwischen der Juan de Fuca ozeanischen Platte und der nordamerikanischen Kontinentalplatte in der Cascadia-Subduktionszone wurden hydrochemische Fragen tektonischer Entwässerung bearbeitet (Suess et al. 1985; Kulm et al. 1986; Han und Suess 1989). Dazu gehören Quantifizierung der Stoff-Flüsse (Suess et al. 1987; Rugh et al. 1989; Carson und Suess, in press), regionale Verteilung von "vents" (Kulm und Suess 1987; Kulm und Suess, in press), chemosynthetische Lebensweise der "vent"-Makrofauna (Suess et al. 1985), Isotopien der ausströmenden Gase (Ritger et al. 1986; Suess und Whiticar 1989; Thornburg und Suess, in press) sowie Bewertungsgrundlagen für den Einfluß tektonischer Entwässerung auf den geochemischen Stoffkreislauf (Schlosser et al. 1987; Suess 1987; Han und Suess 1987; von Breyman et al. 1987; Kastner et al. 1987; Han et al. 1988; Kastner et al. 1988; Suess 1988; Kastner et al., in press). Diese stark interdisziplinär ausgerichtete Forschung wurde zusammen mit Antragstellern von vier ausländischen Universitätsinstituten durchgeführt. Hierbei wurden alle geochemischen Fragestellungen und einige biochemische und hydrochemische Aufgaben durch uns und die Mitarbeiter der damaligen Arbeitsgruppe von E. Suess an der Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA, bearbeitet.

Gelöste Stofftransportraten von Methan, Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff, Helium und Ammonium wurden erstmals mit einem neu entwickelten in-situ Probennehmer gemessen. Methan ist ein Hauptbestandteil der Fluide, die aus dem Boden austreten. Bei einigen Austritten wurde über die Zunahme des Isotops  $^4\text{He}$  eine Herkunft der Fluide aus der Sedimentsäule und nicht ein Kontakt mit der darunterliegenden ozeanischen Kruste postuliert. Ammonium wird offensichtlich als Stoffwechselprodukt der benthischen Organismen ausgeschieden, welche die "vent"-Felder besiedeln; eine Komponente aus dem Entwässerungsstrom konnte bislang nicht identifiziert werden.

Das zentrale Ergebnis der Messungen zum Stoff-Fluß ist ein Vergleich zwischen Entwässerungsraten, die einerseits mit einer direkten Strömungsmessung und andererseits durch chemische "tracer" festgestellt wurden. Die Größenordnung des kritischen Wasserflusses wird mit 200 Liter pro m<sup>2</sup> pro Tag bestimmt. Eine Hochrechnung der Transportraten auf andere tektonische Einheiten der Subduktionszone oder gar auf das gesamte globale Plattengefüge ist z. Zt. noch nicht möglich.

Vergesellschaftungen von benthischen Organismen aus Bartenwürmern und Riesenmuscheln, wie auch authigene Karbonatausfällungen, wurden an den Entwässerungsstellen ebenfalls gefunden und auf ihre stabile C-Isotopenverteilung hin untersucht. Die Verteilung der Organismen und der Karbonate sowie die immensen Massen an Kohlenstoff, die in dieser Form die "vent"-Felder kennzeichnen, deuten einen aufwärtsgerichteten Entwässerungsstrom aus tiefen Stockwerken des Akkretionskeiles an. Karbonatausscheidungen mit angereicherten <sup>12</sup>C-Isotopen (<sup>13</sup>C = -66 ‰ / PDB) zeigen, daß der Methankohlenstoff eine wichtige Rolle beim Stofftransport der Subduktions-"vents" spielt. Die Kolonien chemosynthetischer Organismen oxidieren Methan mit Hilfe von symbiontischen Mikroorganismen und erhalten dadurch die benötigte Energie und Nahrung. Die Oxidation von Schwefelwasserstoff, die bei Faunen der mittelozeanischen Rücken hauptsächlich Energielieferant ist, kann in den Subduktionszonen ebenfalls auftreten.

Die Untersuchungen zur tektonischen Entwässerung werden weitergeführt und ausgedehnt; so sind z. Zt. Untersuchungen mit französischen Kollegen an der Subduktionszone vor Peru in Vorbereitung. Diese Arbeiten werden im Rahmen eines BMFT-Vorhabens gefördert und erlauben den Einsatz des Tieftauchbootes Nautila. Die analytischen Kapazitäten und methodischen Ansätze zum Erkennen von "vent"-Feldern, Diagnostizieren von Methan- bzw. Schwefelwasserstoff-Stoffwechsel, der Einsatz von Parasound zum Kartieren der Zementationshorizonte in Fluid-Austrittsstellen und andere Erkenntnisse werden eine direkte Verbindung zu den hier geplanten Arbeiten im Untersuchungsgebiet des SFB 313 darstellen.

#### Literatur

- Billen, G.; C. Joiris; H.J. Lindeboom und L.-A. Meyer-Reil (1990): Microbiology of the North Sea. International Symposium on the Ecology of the North Sea, Texel.
- Botz, R.; W. Hiltmann; M. Schoell; M. Teschner und H. Wehner (1981): Kriterien und Bewertung des Zechstein-Stinkschiefers im Hinblick auf sein Erdöl- und Erdgaspotential. - Geol. Jb. D. 47: 113-132.
- Botz, R. und C.C. von der Borch (1984): Stable isotope study of carbonate sediments from the Coorong area, south Australia. - Sedimentology, 31: 837- 849.
- Botz, R.; J.W. Hunt und J.W. Smith (1986): Isotope geochemistry of minerals in australian bituminous coal. - J. Sed. Pet., 56: 99-111
- Botz, R. und G. Müller (1987): Geochemical investigations of upper Permian carbonates (Zechstein) and associated organic matter in the NW-German Basin. - Chem. Erde, 46: 143.

- Botz, R.; E. Faber; M.J. Whiticar und J.M. Brooks (1988a): Authigenic carbonates in sediments from the Gulf of Mexico. - *Earth Planet. Sci. Lett.*, 88: 263-272.
- Botz, R.; P. Stoffers; E. Faber und K. Tietze (1988b): Isotope geochemistry of carbonate sediments from Lake Kivu (East-Central Africa). - *Chem. Geol.*, 69: 299-308
- Botz, R.W.; H. Bohrmann; A. Mangini; H. Paetsch; J. Scholten; P. Stoffers und J. Thiede (1989):  $^{230}\text{Th}$ -Stratigraphy of high latitude sediments: A transect from the Norwegian-Greenland Sea to the Arctic Ocean. - *Terra abstr.*, 1: 334.
- Botz, R.; H. Erlenkeuser; J. Koch und H. Wehner (in prep.): Analysis of Sedimentary Organic Matter of a Glacial/Interglacial Change (oxygen isotope stage 6/5) in the Norwegian Sea.
- Breymann, M.v.; M.W. Han und E. Suess (1987): Hydrothermal pore fluids from a sedimented back-arc basin: Bransfield Strait, Antarctica. - *EOS*, 68(50): 1769
- Carson, B. und E. Suess (in press): Fluid flow and mass flux determinations at vent sites on the Cascadia Margin accretionary prism. In: NATO-Advanced Research Institute, Il Ciocco, Italy, *J. Geophys. Res.*
- Duinker, J.C., M.T.J. Hillebrand, R.F. Nolting und S. Wellershaus (1982): The river Elbe: processes affecting the behaviour of metals and organochlorines during estuarine mixing. - *Neth. J. Sea Res.*, 15: 141-196.
- Duinker, J.C. und M.T.J. Hillebrand (1983): Determination of selected organochlorines in sea water. - In: *Methods of seawater analysis*. K. Grasshoff, M Ehrhard, K. Kremling (Eds.), Verlag Chemie, Weinheim, Chapter 12.4: 290-309.
- Duinker, J.C. (1986): The role of low, small density particles on the partitioning of selected PCB congeners between water and suspended matter (North Sea area). *Neth. J. Sea Res.*, 20: 229-238.
- Duinker, J.C. und F. Bouchertall (1989): On the distribution of atmospheric PCB congeners between vapor phase, aerosols and rain. - *Environ. Sci. Technol.*, 23: 57-62.
- Duinker, J.C., D.E. Schulz und G. Petrick (1989): Multidimensional gas chromatography with electron capture detection for the determination of toxic congeners in PCB mixtures. - *Anal. Chem.*, 60: 478-482.
- Dominik, J. und P. Stoffers (1979): The influence of the late Quaternary stagnations on clay sedimentation in the eastern Mediterranean Sea. - *Geol. Rundsch.*, 68: 302-317.
- Han, M.W. und E. Suess (1987): Lateral migration of pore fluids through sediments of an active back-arc basin: Bransfield Strait, Antarctica. - *EOS (Abstract 51A-11)*, 68(50): 1769.
- Han, M.W.; E. Suess und L.D. Kulm (1988): Subduction induced pore fluid venting and the thermal structure within the Oregon accretionary complex. - *EOS* 69(16): 1047
- Han, M.W. und E. Suess (1989): Subduction induced pore fluid venting and the thermal structure within the Oregon accretionary complex. - *Paleogeogr., Paleoclimat., Paleoecol.* 71: 97-118
- IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) (1984): The determination of Polychlorinated Biphenyls in open ocean waters. - UNESCO, Paris, IOC Technical Series, 26: 26 pp.

- IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) (1990): Chlorinated biphenyls in open ocean waters: sampling, extraction, cleanup and instrumental determination.- UNESCO, Paris, IOC, Technical Series; (in press)
- Kastner, M.; E. Suess; R.E. Garrison und K. Kvenvolden (1987): Hydrology, geochemistry and diagenesis along the convergent margin off Peru. - EOS (Abstract T42E-175), 68(44): 1487.
- Kastner, M.; J.B. Martin; E. Suess; R.E. Garrison und K.A. Kvenvolden (1988): Evidence for density- and tectonically-driven fluid migration in convergent margin sediments off Peru. - EOS 69, (44): 1263
- Kastner, M.; H. Elderfield; J.B. Martin; E. Suess; K.A. Kvenvolden und R.E. Garrison (1989) (in press): Diagenesis and interstitial water chemistry at the Peruvian continental margin - Major constituents and strontium isotopes.- In: Suess, E. und R. von Huene, et al., 1989. Proc. ODP Sci. Results 112, College Station, Ocean Drilling Program
- Koch, J. (1969): Mikropetrographische Untersuchungen an einigen organischen Komponenten jungpleistozäner und holozäner Torfe Süddeutschlands und der Schweiz. - Geol. Jb., 87: 333-360.
- Koch, J. (1970): Petrologische Untersuchungen an niedersächsischen Torfen und Weichbraunkohlen. - Geol. Mitt., 10: 113- 150.
- Koch, J. (1989): Inkohlung durch Reibungswärme im Ölschiefer von Schandelah. - Erdöl und Kohle- Erdgas- Petrochemie/ Hydrocarbontechnology, 42: 485- 488.
- Koch, J. und L. Scheuermann (1970): Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Strukturen der humosen Grundmasse von lufttrockenen Weichbraunkohlen. - Braunkohle, Wärme und Energie, 22/3: 88-94.
- Koch, J. und H. Arnemann (1975): Die Inkohlung in Gesteinen des Rhät und Lias im südlichen Nordwestdeutschland. - Geol. Jb., A29: 45-55.
- Köster, M.; P. Jensen und L.-A. Meyer-Reil (1990) (in press): Hydrolytic activity associated with organisms and biogenic structures in deep- sea sediments from the Norwegian-Greenland Sea. - Proceedings of the First Workshop on Exoenzymes in Aquatic Environments. Reitrain/München.
- Kulm, L.D.; E. Suess; J.C. Moore; B. Carson; B.T. Lewis; S.D. Ritger; D. Kadko; T. Thornburg; R. Embley; W. Rugh; G. Massoth; M. Langseth; G. Cochrane und R.L. Scamman (1986): Oregon margin subduction zone: Venting, fauna and carbonates. - Science, 231: 561-566.
- Kulm, L.D. und E. Suess (1987): Fluid venting structures on the Oregon continental shelf. - EOS 68(44): 1487
- Kulm, L.D. und E. Suess (in press): Relationship between carbonate deposits and fluid venting: Oregon accretionary prism.- In: NATO-Advanced Research Institute, Il Ciocco, Italy, J. Geophys. Res.
- Lütke, F. und J. Koch (1987): Inkohlung des Paläozoikums im westlichen Harz. - Geol. Jb., D84: 3-31.
- Mangini, A.; J. Dominik; P.J. Müller und P. Stoffers (1982): Pacific deep circulation: A velocity increase at the end of the interglacial stage 5? - Deep-Sea Res., 29: 1517-1530.

- Mangini, A.; P. Stoffers und R. Botz (1987): Periodic events of bottom transport of Peru basin sediments during Quaternary. - *Mar. Geol.*, 76: 325-329.
- Meyer-Reil, L.-A. (1986): Measurement of hydrolytic activity and incorporation of dissolved organic substrates by microorganisms in marine sediments. - *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 31: 143-149
- Meyer-Reil, L.-A. (1987a): Bakterien in Sedimenten der Kieler Bucht, Biomasse und Abbau von organischem Material. - *Habilitationsschrift. Universität Kiel*
- Meyer-Reil, L.-A. (1987b): Seasonal and spatial distribution of extracellular enzymatic activities and microbial incorporation of dissolved organic substrates in marine sediments. - *Appl. Environ. Microbiol.*, 53: 1748-1755
- Meyer-Reil, L.-A. (1990a): Microorganisms in marine sediments: Considerations concerning activity measurements. - *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 34: 1-6
- Meyer-Reil, L.-A. (1990b): Ecological aspects of enzymatic activity in marine sediments. - *Proceedings of the First Workshop on Exoenzymes in Aquatic Environments, Reitrain/München, (in press).*
- Meyer-Reil, L.-A.; A. Faubel; G. Graf und H. Thiel (1987): Aspects of benthic community structure and metabolism. In: *Seawater-sediment interactions in coastal waters (J. Rumohr, E. Walger und B. Zeitschel, eds.)*, Springer-Verlag, Berlin: 69-110
- Meyer-Reil, L.-A. und G. Graf (1986): Seasonal development of bacterial communities in a coastal marine sediment as related to the input of organic material. - *IFREMER, Actes de Colloques* 3: 55-59
- Meyer-Reil, L.-A. und M. Köster (1990a): Fine-scale distribution of hydrolytic activity associated with foraminiferans and bacteria in sediments of the Norwegian-Greenland Sea (subm.).
- Meyer-Reil, L.-A. und M. Köster (1990b): Availability of nutrients to a deep-sea benthic community: results from a ship board experiment. II. Induction of microbial activities (in prep.).
- Rad, U.V.v. und R. Botz (1987): Authigenic Fe-Mn carbonates in cretaceous and tertiary sediments of the continental rise off eastern North America, Deep Sea Drilling Project Site 603. - In: *Init. Repts., DSDP*, (van Hinte et al. eds.), X11: 1061-1077.
- Ritger, S.; B. Carson und E. Suess (1986): Methane-derived authigenic carbonates formed by subduction-induced pore water expulsion along the Oregon/Washington margin. - *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 98: 147-156.
- Romero-Wetzel, M.B. (1987): Sipunculans as inhabitants of very deep narrow burrows in deep-sea sediments. - *Mar. Biol.* 96: 87-91.
- Romero-Wetzel, M.B. (1989): Struktur und Bioturbation des Makrobenthos auf dem Vøring-Plateau (Norwegische See). - *Berichte SFB 313*, 13.
- Rugh, W.D.; E. Suess; B. Carson und L.D. Kulm (1989): Determination of flow from subduction vent. - *Deep-Sea Res.* (in press).

- Schlosser, P.; E. Suess und Z. Top (1987):  $^3\text{He}$  in the Bransfield Strait waters: Indication for local injection from back-arc rifting. - EOS, 68 (50): 1769
- Scholten, J.C. (1987): Ein Beitrag zur Geochemie und Sedimentationsgeschichte am Carlsberg- und Mittelindischen Rücken. - Dissertation, Universität Heidelberg: 155.
- Scholten, J.C.; H. Bohrmann; R. Botz; A. Mangini; H. Paetsch; P. Stoffers und J. Thiede (1989): Dating sediment cores from the Arctic Ocean, Fram Strait, and Norwegian-Greenland Sea using the  $^{230}\text{Th}$  method. - Third International Conference on Paleo-oceanography, Abstr., 67.
- Scholten, J.C.; R. Botz; A. Mangini; H. Paetsch; P. Stoffers und E. Vogelsang (in press): High resolution  $^{230}\text{Th}$  stratigraphy of sediments from high latitude areas (Norwegian Sea, Fram Strait). - Earth Planet. Sci. Lett.
- Schulz, D.E., G. Petrick und J.C. Duinker (1988): Polychlorinated biphenyls in North Atlantic surface and deep water.- Mar. Pollut. Bull., 19: 526-531.
- Schulz, D.E., G. Petrick und J.C. Duinker (1989): Complete characterization of polychlorinated biphenyls in commercial Araclor and Clophen mixtures.- Environ. Sci. Technol., 23: 852-859.
- Schulz, D.E. (1990): Chlorbiphenyle im Meerwasser des Nordatlantiks und der Nordsee. Zur Problematik der Bestimmung und Aufarbeitung von Chlorbiphenylen.- Ber. Inst. F. Meeresk. Kiel, 197: (in press).
- Stoffers, P.; A. Sioulas; G.P. Glasby; W. Schmitz und A. Mangini (1984): Sediments and micronodules in the northern and central Peru Basin. - Geol. Rundsch., 73: 1055-1080.
- Suess, E. (1987): Hydrothermalism in the Bransfield Strait, Antarctica: An Overview. - EOS, 68(50): 1768
- Suess, E. (1988): Role of fluid circulation in the crust and the prospects for future ocean drilling. - EOS 69 (44): 1047
- Suess, E.; B. Carson; S.D. Ritger; J.C. Moore; L.D. Kulm und G.R. Cochran, G. R. (1985): Biological communities at vent sites along the subduction zone off Oregon. - In: M.L. Jones (ed.), The Hydrothermal Vents of the Eastern Pacific: An Overview. Bull. Biol. Soc. Washington, 6: 475-484.
- Suess, E.; L.D. Kulm; B. Carson und M.J. Whiticar (1987): Fluid flow and methane fluxes from vent sites at the Oregon subduction zone. - EOS 68(44): 1487.
- Suess, E. und M.J. Whiticar (1989): Methane derived  $\text{CO}_2$  in pore fluids expelled from the Oregon subduction complex. - Paleogeogr., Paleoclimat., Paleoecol. 71: 119-136.
- Thornburg, T.M. und E. Suess (1990)(in press): Allochthonous carbonate cementation of granular and fracture porosity: Implications for the Cenozoic hydrologic development of the Peru continental margin. - In: Suess, E. und R. von Huene, et al., 1990. Proc. ODP Sci. Results 112, College Station, Ocean Drilling Program
- Wehner, H. und H. Hufnagel (1986): Some Characteristics of the inorganic and organic composition of oil shales from Jordan. - Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderband 60: 381-395.



- Wehner, H.; H. Hufnagel; M. Teuscher und J. Koester (in press): Maturity and facies controlled composition of the organic matter of selected oil shales. In: John Hunt Memorial Volume (J. Whelan und J. Farrington, eds.), Columbia University Press.
- Whiticar, M.J.; E. Suess und H. Wehner (1985): Thermogenic hydrocarbons in the surface sediments of the Bransfield Strait, Antarctic Peninsula. - Nature, 314: 87-90.

### 7.5 Ziele, Methoden, Arbeitsprogramm, Zeitplan

Anhand von chemischen, geochemischen und geomikrobiologischen Arbeitsmethoden sollen die Modifikation und der Umsatz von organischem Material sowie von Biomarkern und Radionukliden als "tracer" für den Kreislauf des organischen Kohlenstoffs im Bodenwasser und Sediment untersucht werden. Ziel unserer Arbeiten ist die Charakterisierung und Differenzierung des benthischen Kohlenstoffumsatzes sowie von Einzelkomponenten, die als chemische Indikatoren geeignet sind, die Herkunft des organischen Materials und die paläoklimatische und paläoozeanographische Variabilität des Ablagerungsraumes aufzuzeichnen.

Schwerpunkte unserer Arbeiten sind folgende Einzelaspekte:

- a) mikrobiologische Untersuchungen zur Charakterisierung benthischer Substratumsätze
- b) chemische Analysen von Biomarkern zur Charakterisierung der Herkunft des organischen Materials
- c) organisch-petrologische und organisch-geochemische Untersuchungen der Zusammensetzung des sedimentären Materials zur Bestimmung seiner Herkunft und Verfügbarkeit
- d) isotope-chemische Analysen des Radionuklidflusses und die Bestimmung von Spurenelementen in Foraminiferenschalen als Indikatoren für paläoklimatische und paläo-ozeanographische Bedingungen
- e) Untersuchungen der Sauerstoffisotopen an silikatischem Schalenmaterial zur Erstellung einer  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie und zur Bestimmung absoluter Paläotemperaturen
- f) geomikrobiologische Untersuchungen fossiler Sedimente
- g) geochemische Differenzierung des benthischen Kohlenstoffumsatzes in Komponenten aus dem vertikalen Partikelfluß, dem horizontalen Partikeltransport und der aufwärts gerichteten Zufuhr aus Fluid- und Gasaustritten

zu a) Aussagen über den Abbau organischer Substanz in Tiefseesedimenten stützen sich im wesentlichen auf geochemische Untersuchungen der Verteilung von Gasen und Nährstoffen (Elektronenakzeptoren) im Porenwasser sowie der Konzentration von

organischem Kohlenstoff und Stickstoff im Sediment. Die Verteilungsmuster dienen als Grundlage für die Errechnung von Stoffflüssen, die sich aus diagenetischen Modellen ableiten. Aus den Annahmen, die diesen Modellen zugrundeliegen sowie aus der Interpretation der errechneten Abbauraten ergibt sich eine Reihe von offenen Fragen, die durch geochemische Untersuchungen allein nicht beantwortet werden können. Hier bieten sich geomikrobiologische Untersuchungen an, um zur Lösung der anstehenden Probleme beizutragen.

Ziel der vorgesehenen geomikrobiologischen Arbeiten ist es, die Modifikation des organischen Kohlenstoffs von seinem Eintrag aus dem bodennahen Meerwasser in das Sediment bis zu seiner (endgültigen?) Ablagerung in tieferen Sedimenthorizonten zu verfolgen. Dabei gewinnt die Frage nach der Verfügbarkeit des Kohlenstoffs für mikrobielle Substratumsätze zentrale Bedeutung. Grundlage unserer Untersuchungen ist die Hypothese, daß der Abbau organischen Materials nicht eine einfache Reflexion des Eintrages partikulären organischen Kohlenstoffs (POC) darstellt, sondern daß sedimentspezifische Faktoren über die Abbauprozesse im Sediment bestimmen. Hierzu zählen insbesondere die Aktivität der benthischen Lebensgemeinschaft, der Pool enzymatischer Abbauprozesse sowie die Verfügbarkeit von Elektronenakzeptoren für die Oxidation organischen Kohlenstoffs. Die aus dem Zusammenwirken dieser Faktoren resultierenden Abbauprozesse bestimmen Quantität und Qualität der Modifikation und Ablagerung von organischem Material im Sediment. Zur Beantwortung unserer Fragestellung sollen solche Sedimentprofile in unserem Untersuchungsgebiet analysiert werden, die hinsichtlich ihrer Lokalität, des Eintrages organischen Materials und der benthischen Besiedlung deutliche Unterschiede zeigen.

Ausgangspunkt unserer Untersuchungen ist der Pool partikulären organischen Kohlenstoffs im Sediment (C-, N-Analysen). Dieser setzt sich summarisch aus dem vorhandenen Kohlenstoff sowie einer saisonal wechselnden Menge von Kohlenstoff zusammen, der durch Sedimentation aus der Wassersäule oder durch lateralen Transport eingetragen wurde. Eine vorläufige Einschätzung des Nährstoffwertes dieses Pools wird über das C/N-Verhältnis ermöglicht. Bei Analysen von Hauptkomponenten des Pools organischen Kohlenstoffs sollen vor allem Methoden erprobt werden, die die Bestimmung von enzymatisch spaltbaren (also eventuell mikrobiell verfügbaren) Komponenten ermöglichen.

Bereits aus den vorangegangenen Untersuchungen (vergl. eigene Vorarbeiten) wird die Bedeutung deutlich, die der Messung enzymatischer Abbauprozesse als wichtiges Bindeglied zwischen dem Pool partikulären organischen Kohlenstoffs und seiner Verwertbarkeit im Sediment zukommt. Hydrolytische Enzyme werden von Mikroorganismen als Antwort auf abbaubares organisches Material gebildet. Die Messung dieses Pools enzymatischer Aktivitäten stellt damit einen empfindlichen Indikator für die Verfügbarkeit organischen Materials und damit für mikrobielle Abbauprozesse im Sediment dar. Neben der Messung enzymatischer Hydrolyseraten ist es wichtig zu wissen, wo die enzymatischen Aktivitäten lokalisiert sind (membranegebunden, assoziiert mit Partikeloberflächen).

Die aus der Hydrolyse partikulären organischen Materials resultierenden Spaltprodukte fließen entweder in den Pool gelösten organischen Kohlenstoffs im Sediment oder werden von den Mikroorganismen direkt aufgenommen. Zur Charakterisierung der labilen Fraktion des gelösten organischen Kohlenstoffs soll in Zusammenarbeit mit der Abteilung Chemie am Institut für Meereskunde Kiel die Messung freier gelöster Aminosäuren herangezogen werden.

Von besonderem Interesse für unsere Fragestellung ist es, die Modifikation und den Abbau des organischen Kohlenstoffs in den Mikroorganismen weiter zu verfolgen. Während ein Teil des aufgenommenen organischen Materials in mikrobieller Biomasse festgelegt wird, wird der andere (größere ?) Teil respiriert. Benthische Respirationsraten sollen in inkubierten Sedimenten über die Freisetzung von Kohlendioxid gaschromatographisch gemessen werden. Die Bedeutung verschiedener Elektronenakzeptoren für die Oxidation organischen Kohlenstoffs kann über die Bestimmung der Konzentrationen von Sauerstoff, Nitrat, Mangan und Eisen abgeschätzt werden. Für die Ermittlung des in mikrobieller Biomasse inkorporierten Kohlenstoffs bietet sich eine Größenfraktionierung der Organismen mit Hilfe der Fluoreszenzmikroskopie an. Durch Umrechnungsfaktoren kann auf mikrobiellen Kohlenstoff geschlossen werden. Eigene Vorarbeiten deuten darauf hin, daß das Verhältnis von mikrobiellem Kohlenstoff zum Gesamtkohlenstoff ein indirektes Maß für abbaubares organisches Material im Sediment darstellt.

Der vergleichenden Interpretation der in Sedimentprofilen gemessenen Konzentrationen und Abbauraten organischen Kohlenstoffs kommt besondere Bedeutung zu. Da enzymatische Aktivitäten in Tiefseesedimenten bislang kaum gemessen wurden, verspricht ihre Einbeziehung neue Aspekte der Interpretation benthischer Abbauprozesse. So bietet es sich an, die aus den C<sup>org</sup>-Profilen errechneten und die aus dem enzymatischen Abbau<sup>org</sup> ermittelten Ratenkonstanten zu vergleichen.

Es ist anzunehmen, daß sich zwischen der Konzentration von organischem Kohlenstoff und den enzymatischen Hydrolyseraten sediment-spezifische Beziehungen ergeben. Sollte das der Fall sein, so könnte hieraus die Konzentration resistenten Kohlenstoffs abgeleitet werden. Weiterhin ist auch von einer direkten (sediment-spezifischen?) Beziehung zwischen der enzymatischen Spaltung organischen Materials und der Respiration (Kohlendioxid-Freisetzung) auszugehen. Hieraus ergäbe sich die Möglichkeit, aus den gemessenen enzymatischen Abbaupotentialen absolute Umsatzraten zu extrapolieren. Die Meßdaten sollen weiterhin darüber Aufschluß geben, ob durch Ermittlung des Verhältnisses von mikrobiell-gebundenem Kohlenstoff zu Gesamtkohlenstoff die Natur des sedimentären organischen Materials charakterisiert werden kann.

zu b) Die chemische Zusammensetzung der sedimentierenden Partikel ist für die Bestimmung ihrer Herkunft und zum Verständnis der ablaufenden Prozesse von entscheidender Bedeutung. Als Hauptziele der Biomarker-Untersuchungen sollen die Beziehungen zu den produzierenden Organismen ermittelt und die Modifikationen der

organischen Substanzen charakterisiert werden. Um die Eignung von identifizierten Verbindungen als Biomarker zu erkennen und sie den produzierenden Organismen zuordnen zu können, ist interdisziplinäre Zusammenarbeit die Grundvoraussetzung. Aus dem geochemischen Verhalten von anthropogenen Spurenstoffen (PCB) werden Hinweise auf die Transportmechanismen von lipophilen Verbindungen erwartet.

Für eine umfassende Analyse der sehr komplexen Stoffgemische, die durch Extraktion von suspendiertem, partikulärem Material (SPM) und Sedimenten erhalten werden, ist es erforderlich, wenige Proben intensiv zu bearbeiten. Zunächst sollen die organischen Verbindungen in Lipidfraktionen von Proben aus der Wassersäule (Netzfänge, Kulturen, Sinkstofffallen und in-situ Pumpen) identifiziert werden; vor der Extraktion soll eine Bestimmung der Artenzusammensetzung erfolgen. Die durch säulenchromatographische Verfahren (HPLC) erhaltenen Fraktionen verschiedener Substanzklassen (u.a. Alkane/PCB, Aromaten, Alkohole/Aldehyde und Säuren) werden anschließend gaschromatographisch untersucht. Die mit eindimensionalen GC nicht getrennten Verbindungen sollen mit Hilfe der Multidimensionalen Gaschromatographie separiert und mit einem massenselektiven Detektor identifiziert werden. Im einzelnen sollen folgende Verbindungen analysiert werden (GC-Detektor): PC (ECD), Pestizide (ECD, MS), Alkane/Alkene (FID), Aromaten (FID, MS), Ketone/Aldehyde (FID, MS), Steroide (MS) und Säuren (FID, MS).

Die gefundenen Markersubstanzen und ihre Modifikationen sollen auf dem Weg aus der euphotischen Zone durch die Wassersäule bis in die oberen Sedimentschichten verfolgt werden, wobei wir stufenweise kompliziertere Verhältnisse erwarten. Durch Zooplanktonfraß, (mikro)biologische Umwandlungen und chemische Reaktionen finden vielfältige Veränderungen der organischen Substanz statt, im Material aus dem Benthos müssen zusätzliche Quellen für organische Verbindungen durch Lateraltransporte, "cold seeps" und benthische Organismen berücksichtigt werden.

zu c) Detaillierte organisch-petrologische und organisch-geochemische Untersuchungen sollen an einem ausgewählten Sedimentkern, dessen Stratigraphie aus der Sauerstoffisotopenverteilung in Foraminiferen bekannt ist, oder der mittels anderer Methoden (z.B.  $^{230}\text{Th}$  Datierungen) stratigraphisch eingeordnet werden kann, durchgeführt werden. Diese Untersuchungen sollen sowohl an Gesamtsediment-Anschliffen als auch an Konzentraten des organischen Materials durchgeführt werden. Neben den quantitativen Bestimmungen der Macerale werden Vitrinit-Reflexion und Fluoreszenz gemessen. Ziel dieser Untersuchungen ist es, Aussagen über die Art der organischen Substanz in den Sedimenten zu machen und, durch die quantitative Analyse, wechselnde Einträge aus verschiedenen Liefergebieten abzuschätzen und die Erkenntnisse in Modelle der Nährstoffkreisläufe, Bioproduktion und Wassermassenverteilung einzuordnen.

Die organisch-geochemischen Untersuchungen beinhalten die Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehaltes, die Soxhlet-Extraktion mit Dichlormethan sowie die Analyse des Gesamt-

extraktes mit Hilfe der gekoppelten Gaschromatographie/Massenspektrometrie. An den gewonnenen Extrakten sollen die Einzelfraktionen (GKW, AKW, Heterokomponenten, Asphaltene) abgetrennt und in Zusammenarbeit mit Dr. H. Erlenkeuser isotopisch untersucht werden. Ziel dieser Untersuchungen ist die quantitative Abschätzung des wechselnden Eintrages mariner und terrestrischer organischer Substanz sowie die Einordnung dieser Ergebnisse in paläoozeanographische Modelle.

zu d) Schwerpunkt der Isotopen-chemischen Untersuchungen ist die Verbesserung der  $^{230}\text{Th}$ -Stratigraphie sowie die Erforschung der Ursachen für die beobachteten Radionuklidvariationen in Sedimentkernen.

Durch den Vergleich der  $\delta^{18}\text{O}$ -Stratigraphie mit der erstellten  $^{230}\text{Th}$ -Stratigraphie soll an mehreren Sedimentkernen geklärt werden, ob die beobachteten  $^{230}\text{Th}$ -Variationen im Europäischen Nordmeer gleichzeitig auftreten. Diese Arbeiten dienen der Verbesserung der zeitlichen Auflösung der Stratigraphie. Bisher ist es nur möglich, große  $^{230}\text{Th}$ -Variationen, wie sie in den Terminationen I und II auftreten, großräumig zu korrelieren. Hingegen sind die Variationen, die in den Sauerstoffisotopen-Stadien 3 und 4 beobachtet werden, nicht verständlich und sollen deshalb eingehender untersucht werden.

Um die Ursachen der beobachteten  $^{230}\text{Th}$ -Variationen zu klären, sollen verschiedene langlebige, natürliche Radionuklide mit unterschiedlicher Partikelreaktivität ( $^{230}\text{Th}$ ,  $^{231}\text{Pa}$  und  $^{10}\text{Be}$ ) im Sediment gemessen werden. Insbesondere ist zu klären, inwieweit es über mehrere Klimastadien hinweg aufgrund von Paläoproduktivitätsschwankungen zu einer Veränderung in den Radionuklidverhältnissen gekommen ist. Ließe sich aufgrund dieser Untersuchungen für bestimmte Kernabschnitte eine Übereinstimmung zwischen der  $^{230}\text{Th}$ -Produktion in der Wassersäule und dem Einbau von  $^{230}\text{Th}$  in die Sedimente feststellen, dann sollen mit Hilfe des konstanten Fluß-Modells von  $^{230}\text{Th}$  Sedimentationsraten und chemische Flüsse für sehr kleine Zeitabschnitte (3000 bis 5000 Jahre) berechnet werden.

Um zu einer umfassenden Interpretation der Radionuklidprofile in den Sedimenten hoher Breiten zu gelangen, ist es von ausschlaggebender Bedeutung, die Prozesse zu verstehen, durch welche die Radionuklide aus der Wassersäule in die Sedimente transportiert werden. Hierzu sollen verschiedene natürliche Radionuklide ( $^{228}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{231}\text{Pa}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ) an gelöstem und suspendiertem Material der Wassersäule des europäischen Nordmeeres See untersucht werden. Diese Messungen sollen einerseits jahreszeitliche Schwankungen, andererseits auch geographische Unterschiede in der Radionuklidverteilung erfassen. Diese Studien waren bis vor wenigen Jahren nicht möglich, da die Konzentrationen einiger Radionuklide im Meerwasser, wie z. B.  $^{230}\text{Th}$  (0,1 bis 20 dpm/1000Liter), sehr gering sind und man sehr große Wassermengen für ihren Nachweis benötigte. Durch einen neuen methodischen Ansatz, die Verwendung von Tiefseepumpen, ist es nun möglich, natürliche Radionuklide in gelöster und partikulärer Form in ausreichender Menge zu gewinnen.

Darüber hinaus ist vorgesehen, aus der Verteilung von  $^{234}\text{Th}$  in der euphotischen Zone die Primärproduktion zu bestimmen. Die Resultate sollen mit den Ergebnissen des Teilprojektes A1, die mit anderen methodischen Ansätzen gewonnen wurden, verglichen werden.

Ergänzt werden sollen die Untersuchungen zur Radionuklidverteilung in der Wassersäule durch Studien an Sinkstoffallenmaterial, das im Rahmen des SFB 313 seit 1986 im Europäischen Nordmeer gewonnen worden ist. In diesem Zusammenhang ist die Frage zu klären, inwieweit die saisonale Bioproduktivität (und damit der saisonale Fluß organischer Substanz) Veränderungen der Radionuklidflüsse in die Sedimente hervorrufen kann.

Die Veränderung der chemischen Flüsse an der Grenzschicht Wasser/Sediment soll mit Hilfe von Radionukliduntersuchungen in der Boden-Nepheloid-Schicht quantifiziert werden. Durch die Bestimmung relativ kurzlebiger Radionuklide ( $^{234}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ) ist geplant, Informationen über Herkunft und Verweilzeiten von resuspendierten Partikeln in der Boden-Nepheloid-Schicht zu gewinnen.

Zur Rekonstruktion der Paläosalinität, des Paläonährstoffgehaltes und der Paläotemperatur soll die Elementverteilung in den Karbonatschalen der pelagischen und benthischen Foraminiferen gemessen werden. Die hierfür notwendigen Reinigungsmethoden werden unter dem Raster-Elektronen-Mikroskop bezüglich der Anlösung der Foraminiferenschalen kontrolliert und verglichen. Die Analyse der gereinigten Foraminiferenschalen erfolgt je nach Element mit der Graphitrohr-AAS oder mit der ICP-MS. Die Qualität der Reinigung soll hierbei mit Hilfe von Verschmutzungsindikatoren, wie z.B. Fe, evtl. Th, für Mn-, Fe-Überzüge und Al für Tonpartikel, überprüft werden. In einer ersten Phase soll eine Kartierung der Cd/Ca-Verhältnisse in benthischen Foraminiferen durchgeführt werden. Anschließend ist geplant, ausgewählte Sedimentkerne aus dem Europäischen Nordmeer zu bearbeiten.

Parallel hierzu werden chemische Untersuchungen am Gesamtsediment zeigen, ob sich die Veränderungen in der Paläoozenoographie und der Paläoproduktivität in chemischen Flüssen verschiedener Elemente (Mangan, Barium, Kobalt, Nickel, Uran, Seltene Erden) widerspiegelt.

zu e) Für die Sauerstoffisotopenanalysen an Diatomeen werden zunächst Reinigungs- und Isotopenaustauschversuche an Diatomeenkulturen durchgeführt. Parallel hierzu werden Wasserproben entnommen, die Temperatur gemessen und der  $^{18}\text{O}$ -Gehalt bestimmt. Ferner sollen Diatomeen extrahiert und dann unter kontrollierten Bedingungen kultiviert werden. Durch diese Arbeiten erhoffen wir uns eine Bestimmungsmöglichkeit für den Fraktionierungsfaktor für Diatomeen- $\text{SiO}_2$  gegen Wasser. Erst wenn diese Arbeiten erfolgreich abgeschlossen sind, sollen die  $^{18}\text{O}$ -Gehalte von Diatomeen aus Sedimenten parallel zu Bestimmungen von  $^{18}\text{O}$ -Gehalten in Foraminiferen durchgeführt werden, um einerseits die Tauglichkeit der  $^{18}\text{O}$ -Diatomeen-Stratigraphie nachzuweisen und andererseits absolute Paläotemperaturen des Oberflächenwassers zu errechnen.

zu f) Für ausgewählte Kerne sollen die geomikrobiologischen Arbeiten bis in fossile Sedimente ausgedehnt werden. Da für derartige Untersuchungen bislang keine Erfahrungen vorliegen und auch die Literatur nur wenige Anhaltspunkte bietet, müssen beträchtliche methodische Vorarbeiten geleistet werden. Diese beziehen sich sowohl auf die kontaminationsfreie Entnahme und Aufbereitung des Probenmaterials als auch auf die Steigerung der Empfindlichkeit bei der Messung mikrobieller Substratumsätze (verlängerte Inkubationszeiten, Reduktion der Aktivität in Kontrollmessungen zur Erfassung der nicht-biologischen "Aktivität"). Gerade bei Untersuchungen in fossilen Sedimenten gewinnt die Analyse enzymatischer Abbauprozesse zentrale Bedeutung. Wegen der zu erwartenden geringen Aktivitäten wird es vermutlich notwendig sein, mit Sedimentextrakten zu arbeiten. Auch an eine weitere Differenzierung des Enzympools unter Verwendung von enzymspezifischen Modellsubstraten ist gedacht. Sollten enzymatische Aktivitäten auch in fossilen Sedimenten nachweisbar sein, so kann das Spektrum gemessener Substratumsätze als Abbild dominierender Stoffwechselprozesse zu Zeiten der Sedimentbildung gedeutet werden.

Parallel zu enzymatischen Aktivitäten soll in fossilen Sedimenten die Bedeutung der Sulfatatmung und Methanogenese unter Verwendung radioaktiv-markierter Substrate ermittelt werden. Speziell für die Messung geringer Substratumsätze bietet sich auch die Mikroautoradiographie an, die in Verbindung mit der Fluoreszenz-Mikroskopie die Identifizierung einzelner stoffwechselaktiver Zellen ermöglicht. Durch Auswahl der entsprechenden Substrate wird die direkte Erfassung (Zahl und Biomasse) unterschiedlicher physiologischer Gruppen von Bakterien ermöglicht. So ist vorgesehen, durch aerobe bzw. anaerobe Inkubation von Sediment mit radioaktiv-markierten Aminosäuren die Gesamtzahl aerober bzw. anaerober heterotropher Bakterien zu ermitteln. Autotrophe Bakterien können nach Inkubation mit radioaktiv-markiertem Bikarbonat, sulfatreduzierende Bakterien nach Inkubation (anaerobe Bedingungen) mit radioaktiv-markiertem Acetat direkt ausgezählt werden. Damit stellt die Mikroautoradiographie eine aussagekräftige Alternative zu MPN-Techniken mit flüssigen, in der Vorbereitung arbeitsaufwendigen Anreicherungsmedien, dar.

zu g) Die Frage nach der Größenordnung der Stoffumsätze im Benthos betrifft die mikrobiellen Abbauprozesse, die Bedeutung des lateralen Stofftransportes sowie die bisher modellierten und gemessenen Stoff-Flüsse für die oberflächennahen Sedimente der bekannten Faziestypen des Untersuchungsgebietes. Als neuer Gesichtspunkt kommt hinzu, daß bei bestimmten geologischen Situationen die Stoffzufuhr aus der Tiefe an die Sedimentoberfläche ein Milieu mit eigenen Umsatzraten schafft.

Aus unseren Arbeiten und früheren Untersuchungen, die von Hovland zusammengefaßt wurden, gibt es eine große Anzahl von Lokalitäten im Europäischen Nordmeer, in denen "cold seeps" vermutet bzw. beobachtet wurden. Ein aufwärts gerichteter Stofffluß tritt hier mit dem abwärts gerichteten sedimentären Eintrag der Partikelfracht in Wechselwirkung und bestimmt somit die Gesamtheit benthischer Substratumsätze. Die vorgesehenen Untersuchungen

orientieren sich an folgenden speziellen Fragestellungen: Welches ist der tektonisch-sedimentologische Rahmen bekannter und vermuteter Fluid- und Gasaustritte am Vøring-Plateau, im Lofotenbecken und am westlichen Kontinentalhang der Barentssee? Gibt es diagnostische benthische Lebensgemeinschaften für diese aktive Energie- und Nährstoffzufuhr aus dem Sediment? Welchen Beitrag leisten die durch den horizontalen Partikelstrom sowie durch die "cold seeps" importierten Kohlenstoffverbindungen zum Gesamtstoffumsatz? Können verstärkter benthischer Stoffumsatz und Rückführung von Mineralisationsprodukten den Nährstoffgehalt des Bodenwassers im Europäischen Nordmeer beeinflussen?

Die Beantwortung der ersten und zweiten Frage ist ein direktes Ziel unserer Felduntersuchungen. Die Beantwortung der dritten und vierten Frage erfolgt über die Modellierung von Stoff-Flüssen an der Grenzfläche Wasser/Sediment aus den Konzentrationsprofilen von "seep"-Stationen. Die modellierten Stoff-Flüsse werden mit Abschätzungen des benthischen Stoffumsatzes verglichen, die von den anderen Teilprojekten ermittelt wurden.

Fluid- und Gasaustrittsstellen sind durch das Vorkommen von Bartenwürmern (Pogonophora), Schlammvulkanen sowie durch flachseismische ("acoustic turbidity") und hydrochemische Anomalien im Boden- und Porenwasser gekennzeichnet. Weiterhin sind Karbonatausfällungen in Form von Pflastern ("hard grounds") und Schloten Anzeichen für einen aufwärts gerichteten Stoff-Fluß aus dem Sediment.

Im Untersuchungsgebiet gibt es Hinweise für alle diese Vorgänge. Voraussetzung für das Erreichen unseres wissenschaftlichen Zieles ist die Erstellung einer detaillierten Karte mit allen bislang verfügbaren Informationen über "cold seeps" einschließlich der damit verbundenen tektonischen, chemischen, akustischen und sedimentologischen Anomalien.

Unter Einbeziehung dieser Ergebnisse werden Profil- und Vermessungsfahrten durchgeführt, auf denen Stationen mit und ohne "seeps" festgelegt werden. Auf den ausgewählten Stationen werden Untersuchungen in der Wassersäule und in der obersten Sedimentschicht ausgeführt. Das äußere Vøring-Plateau, der nördliche Teil des Barents-Fans und der Barentsseeschelf scheinen für die geplanten Untersuchungen am geeignetesten zu sein. Im Rahmen der Meteorexpedition M 13 sollen die genaue Lage, Umfang, Intensität und Typ der "seeps" im Arbeitsgebiet vorerkundet werden.

Bei der Durchführung des Arbeitsprogrammes ist eine akustische Vermessung der "seep"-Stationen mit flachseismischen Methoden (3,5 kHz und Parasound) vorgesehen. Die Stationswahl, Methoden und Probennahmen richten sich nach den Vorergebnissen und den Ergebnissen der anderen Teilprojekte.

Die Kernentnahme mit Kastenlot, Kastengreifer oder Multicorer dient hauptsächlich der Gewinnung des Porenwassers, in dem in Verbindung mit "cold seeps" hydrochemische Anomalien nachgewiesen werden können. Das stark veränderte  $\text{NH}_4/\text{SO}_4$  Verhältnis sowie die Anreicherung von  $^{12}\text{C}$  im gelösten Kohlendioxid sind Indizien für



die charakteristische Methanoxidation an "seeps". Weiterhin sind Bestimmungen von gelösten Nährsalzen, Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff, Methan und die Konservierung von Proben für Sulfat, Chlorid, Metalle (speziell  $\text{Fe}^2/\text{Fe}^3$ , Mn u.a.) und  $\delta^{13}\text{CO}_2$ ,  $\delta^{13}\text{CH}_4$ ,  $\delta^{34}\text{SO}_4/\text{H}_2\text{S}$ ,  $\delta\text{DCH}_2/\text{H}_2\text{O}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vorgesehen. Die Dokumentation hydrographischer Kennwerte im Untersuchungsgebiet, welches nicht durch "seeps" beeinflusst wird, ist ein wichtiger Programmpunkt in der anfänglichen Untersuchungsphase. Zu den Kennwerten gehören Temperatur, Salinität und Sauerstoffgehalt, Methan, Kohlendioxid und Helium. Weiterhin sollen Proben konserviert werden für die spätere Messung gelöster Metalle ( $\text{Fe}^2/\text{Fe}^3$ , Mn) und die Bestimmung der stabilen Isotopenverhältnisse  $\delta^{13}\text{CO}_2$ ,  $\delta^{13}\text{CH}_4$ ,  $\delta^{34}\text{SO}_4$ ,  $\delta\text{DH}_2\text{O}$ . Obige Messungen sind für folgende Stationen vorgesehen: <sup>4</sup>Vøring-Plateau, Lofotenbecken sowie Kontinentalfuß und Schelf der Barentssee.

## 7.6 Stellung innerhalb des Sonderforschungsbereiches

Das Teilprojekt A4 ist aufgrund seiner Fragestellung (Stoffumsätze im Benthal) eng mit den wissenschaftlichen Zielen anderer Teilprojekte verbunden.

Zum Teilprojekt A1 besteht eine enge Verknüpfung durch gemeinsame Konzeption von Sinkstofffallen- und Wassersäulenuntersuchungen. Mit den von uns durchzuführenden Radionukliduntersuchungen läßt sich auf die Primärproduktion schließen und die Verweilzeit von organischen Partikeln in der Wassersäule bestimmen, dies liefert wichtige ergänzende Daten für die Beurteilung biologischer Prozesse im Pelagial. In Zusammenarbeit mit den Planktologen sollen organische Komponenten, die als potentielle Biomarker im Material aus Sinkstofffallen und im Sediment identifiziert werden, wichtigen primärproduzierenden Arten zugeordnet werden, um auf die Herkunft der Biomarker rückzuschließen zu können. Vom TP A1 benötigen wir Daten über die Primärproduktion, über saisonale Variationen von Abbauprozessen in der Wassersäule sowie über die Menge des sedimentierten organischen Materials.

Über die Differenzierung des benthischen Stoffumsatzes in Komponenten aus dem ab- bzw. aufwärts gerichteten sowie aus dem lateralen Partikelimport geben die in den Teilprojekten A2 und A3 durchgeführten Untersuchungen wichtigen Aufschluß. Das TP A2 liefert Daten über den lateralen Sedimenttransport, aus denen abgeschätzt werden kann, welche Bedeutung diese Komponente für den Gesamteintrag von organischem Material besitzt.

In unserem Teilprojekt ist eine enge Zusammenarbeit mit dem TP A3 vorgesehen. Diese Zusammenarbeit gründet sich auf gemeinsame Probenentnahme sowie auf gemeinsame Untersuchungsgebiete (Barentsseeschelf, Eisrandlagen und "cold seeps"). Übergeordnetes Ziel beider Teilprojekte ist es, eine Abschätzung des benthischen Gesamtstoffumsatzes vorzunehmen. Während sich die Untersuchungen der Stoff-Flüsse im TP A3 mehr auf die Sedimentoberfläche und die Boden-Nepheloid-Schicht konzentrieren, verfolgen wir im TP A4 die Stoffwechselumsätze in rezenten und fossilen Sedimenten. Gemein-

sam mit dem TP A3 untersuchen wir, inwieweit aufwärts gerichtete Stofftransporte einen Einfluß auf benthische Stoffumsätze haben und wie weit sich die Ausbreitung von "cold seeps" in der Wassersäule verfolgen läßt. Vom TP A3 erhalten wir ergänzende Informationen über benthische Besiedlungsmuster von "cold seeps". Zudem erfahren wir, inwieweit horizontale und vertikale Gradienten in der Boden-Nepheloid-Schicht durch die benthische Besiedlung beeinflußt werden. Eine enge Kooperation mit dem TP A3 ist hinsichtlich der Messung mikrobieller Substratumsätze in der Boden-Nepheloid-Schicht (enzymatische Aktivitäten, bakterielle Biomasse und Besiedlung von Partikeln) vorgesehen.

An der Untersuchung der im TP B1 gewonnenen langen Kerne, die mehrere Klimaperioden überdecken, werden wir uns mit radiochemischen Datierungen und mit der Analyse von klimatypischen Spurenelementverteilungen bzw. Akkumulationsraten beteiligen. Die Probenentnahme aus langen Sedimentkernen ermöglicht uns, mikrobielle Aktivitäten bis in große Sedimenttiefen zu verfolgen. Das Spektrum mikrobieller Substratumsätze in fossilen Sedimenten kann als Abbild dominierender Stoffwechselprozesse zu Zeiten der Sedimentbildung gedeutet werden.

Unsere Ergebnisse zur Modifikation und Festlegung von organischem Material sowie von biogenen und abiogenen Spurenstoffen in der Wassersäule und im Sediment liefern dem TP B2 wertvolle Informationen zur Abbildung paläoklimatischer und paläoozeanographischer Verhältnisse im Sediment.

Mit dem TP B3 besteht ein gemeinsames wissenschaftliches Interesse an der Quantifizierung der Paläoproduktivität. Während in unserem Teilprojekt organisch-geochemische Untersuchungen sowie die Messung von Radionuklidflüssen zur Rekonstruktion der Paläoproduktivität herangezogen werden, stützen sich die Untersuchungen im TP B3 auf die Beschreibung und Charakterisierung von fossilen pelagischen Lebensgemeinschaften.

Die von uns erstellten chemischen, geochemischen und geomikrobiologischen Daten stehen dem TP B4 für vorgesehene umfassende Modellierungsansätze der Stoff-Flüsse zur Verfügung.

8. DARSTELLUNG DES PROGRAMMES NACH PROJEKTBEREICHEN UND  
TEILPROJEKTEN:  
Projektbereiches B "Geschichte der Umwelt"

Die Eigenschaften und Auswirkungen der ozeanischen Umwelt im Europäischen Nordmeer, d.h. der Zirkulation, der chemischen Bilanzen und der Bioproduktion bestimmen wesentlich das Klima in Nordwesteuropa und die Ozeanographie der Weltmeere. Aufbauend auf den Erkenntnissen des Projektbereiches A und zum Teil analog zu seinem wissenschaftlichen Ansatz versucht der zweite Projektbereich B die Geschichte der marinen Umwelt und der Organismengemeinschaften im nördlichen Nordatlantik zu rekonstruieren und zu simulieren. Für diese Zwecke werden die Sedimente der Tiefsee und Kontinentalränder mit Hilfe einer Vielzahl von marin-geowissenschaftlichen und numerischen Methoden analysiert. Unser Interesse konzentriert sich dabei auf folgende Themen:

1. Die quartäre Geschichte von bodennahen Konturströmen soll anhand der morphologischen und akustostratigraphischen Entwicklung des Meeresbodens entziffert werden (TP B1).
2. Die Zusammenhänge zwischen ozeanischer Zirkulation und Sedi-mentations- und Diagenesevorgängen sollen über hochauflösende seismische und sedimentphysikalische Analysen von Sedimentprofilen geklärt werden (TP B1).
3. Die raum-zeitliche Entwicklung von Lebewelt und Paläoozeano-graphie soll mit Hilfe der Paläo-Ökologie pelagischer und ben-thischer Mikrofossilgruppen sowie der physikalischen und chemi-schen Sedimenteigenschaften in Form von flächendeckenden Zeit-scheiben dargestellt werden (TP B2 und B3).
4. Von besonderem Interesse sind die chemischen und physikali-schen Prozesse, die zu raschen Umschwüngen in Ozeanographie und Klima geführt haben (TP B2).
5. Die Synoptische Analyse der Ökologie lebender und fossiler Planktongemeinschaften hat zum Ziel, die Herausbildung dieser Gemeinschaften im Europäischen Nordmeer während des Jungquartärs im Zusammenhang mit der ökologisch-klimatischen Entwicklung dieses Seegebietes zu verfolgen. Von speziellem Interesse ist die Umstrukturierung der Planktongemeinschaften als Ergebnis von vertikalem Partikelfluß, Partikelsedimentation und Umsetzung im Sediment.
6. Die tatsächlichen Zeitspannen der im Nordmeer dramatischen Klima-Abläufe sollen mit Hilfe der zahlreichen hochauflösenden Sedimentprofile am Kontinentalrand erfaßt werden (TP B2).
7. Numerische Modelle sollen theoretische Konzepte simulieren, rekonstruierte Szenarios überprüfen, die Entstehung ganzer Sedi-mentkörper nachzeichnen und über prognostische Modelle eventuell einen Blick in die Zukunft ermöglichen (TP 4).

Eine gute Koordination der Arbeiten beider Projektbereiche A und B wird gezielt zwischen einzelnen Teilprojekten, so TP A1 und B3, A2 und B1, A1, A4 und B2 angestrebt. Dem TP B4 soll dabei eine besondere Funktion für die Integration von empirischen Befunden und theoretischen Modellen, also zur Klärung der eigentlichen Denkansätze zukommen.

## 9. TEILPROJEKT B1: Geophysikalische Signale in Sedimenten

9.11 Fachgebiet und Arbeitsrichtung: Marine Geophysik

9.12 Leiter:

Prof. Dr. R. von Huene  
 GEOMAR  
 Forschungszentrum  
 für marine  
 Geowissenschaften  
 der Universität Kiel  
 Wischhofstr. 1-3  
 2300 Kiel  
 Tel. (0431) 7202149

Dr. J. Mienert  
 GEOMAR  
 Forschungszentrum  
 für marine  
 Geowissenschaften  
 der Universität Kiel  
 Wischhofstr. 1-3  
 2300 Kiel  
 Tel. (0431) 7202272

9.13 Personal Anfang 1991

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
------------------------------------	-----------------------------	---	-------------------------

Grundausstattung: Wissenschaftler

1) Flüh, E. Dr., wiss. Ang.	Geophysik GEOMAR	4	1/91
2) Huene, R. v. Dr., Prof.	Geophysik GEOMAR	10	1/91
3) Kassens, H. Dr., wiss. Ang.	Akustostratigr. GEOMAR	beratend	12/85
4) Kögler, F. C. Dr., wiss. Ang.	Geologie GPI	beratend	7/85
5) Meißner, R. Dr., Prof.	Geophysik IG	beratend	7/85
6) Mienert, J. Dr., wiss. Ang.	Akustostratigr./ Sedimentphysik GEOMAR	15	2/89
7) Theilen, F. Dr., Akad. Rat	Geophysik IG	beratend	7/85
8) Vosberg, H. Dipl. Geophys., wiss. Ang.	Geophysik GEOMAR	4	1/91
9) Weinrebe, W. Dr., wiss. Ang.	Informatik GEOMAR	4	1/91
10) Werner, F. Dr., wiss. Dir.	GPI Sedimentologie	beratend	7/85

Grundausstattung: nichtwiss. Mitarbeiter

11) Hansen, C. Büroang.	GEOMAR	5	1/91
----------------------------	--------	---	------

Ergänzungsausstattung: Wissenschaftler

12)	Bobsien, M. Dipl. Geophys. Doktorand	Geophysik GEOMAR	19,25	1/91
13)	Chi, J. Dipl. Phys. Doktorand	Sedimentphysik GEOMAR	19,25	1/91
14)	Preuß, H. Dipl. Geophys. Doktorand	Geophysik GEOMAR	19,25	1/91

**9.2 Zusammenfassung**

Das Teilprojekt "Prozesse geophysikalischer Signalbildungen in Sedimentabfolgen" behandelt den geophysikalischen Aufbau von Meeresböden mit dem Ziel, die quartäre Entwicklungsgeschichte der Transportbahnen von Bodenwassermassen und Sedimenten im nördlichen Nordatlantik abzuleiten. Besonders interessieren die Zusammenhänge zwischen ozeanischer Zirkulation und physikalisch-morphologischer Entwicklung des Meeresbodens. Hierzu sind hochauflösende (cm-Bereich) geophysikalische Untersuchungen der Sedimente entlang von Schlüsselregionen ozeanischer Zirkulation vorgesehen (Abb.18).

Die dazu geplanten Arbeiten gliedern sich in: (1) schallphysikalisch-magnetische Sedimentkernanalysen im Labor sowie in-situ Messungen der Ultraschallwellenausbreitung am Meeresboden und (2) Sedimentecholot- und Seitensicht-Sonar-Profilfahrteinsätze auf See sowie Analysen der akustischen Daten mit Prozessing-Verfahren an Land. Aus den geophysikalischen Daten wird zunächst einmal eine umfassende Systematik über Art und Variabilität physikalischer Sedimentstrukturen und akustischer (Impedanz-) Signale in Reflektorenfolgen erarbeitet sowie die Paläomorphologie von stratigraphisch gut einzuordnenden akustischen Leithorizonten bestimmt. Die daraus abzuleitenden Beziehungen zwischen geophysikalischem Meeresbodenaufbau und Transportprozessen sollen in eine Rekonstruktion von räumlich-zeitlichen Veränderungen der Sedimentationsprozesse und der sie steuernden ozeanographischen Umschwünge münden. Im Rahmen des SFB wird dieses Teilprojekt wichtige Beiträge zur Beschreibung und Deutung von physikalischen Änderungen vom Meeresbodenaufbau im nördlichen Nordatlantik geben, wobei eine direkte Verbindung mit den Teilprojekten A2, A4, B2 und B4 besteht.

Aus der allgemeinen Themenstellung des Teilprojektes werden drei Arbeitsrichtungen abgeleitet:

(1) Die Kernanalyse akustischer, magnetischer und sedimentphysikalischer Signaländerungen und ihrer Beziehungen mit dem Ziel, die komplexen Signalentwicklungen in verschiedenen Sedimentationsmilieus und glazial/interglazialen Sedimentzyklen zu erfassen, im Hinblick auf Ablagerungsprozesse zu interpretieren und Umweltveränderungen zuzuordnen. Von grundsätzlicher Bedeutung sind Anisotropie-Effekte und Wechselbeziehungen akustischer und magnetischer Signale im Sediment, da sie Hinweise auf Transportrichtungen geben können. Die geplanten geophysikalischen

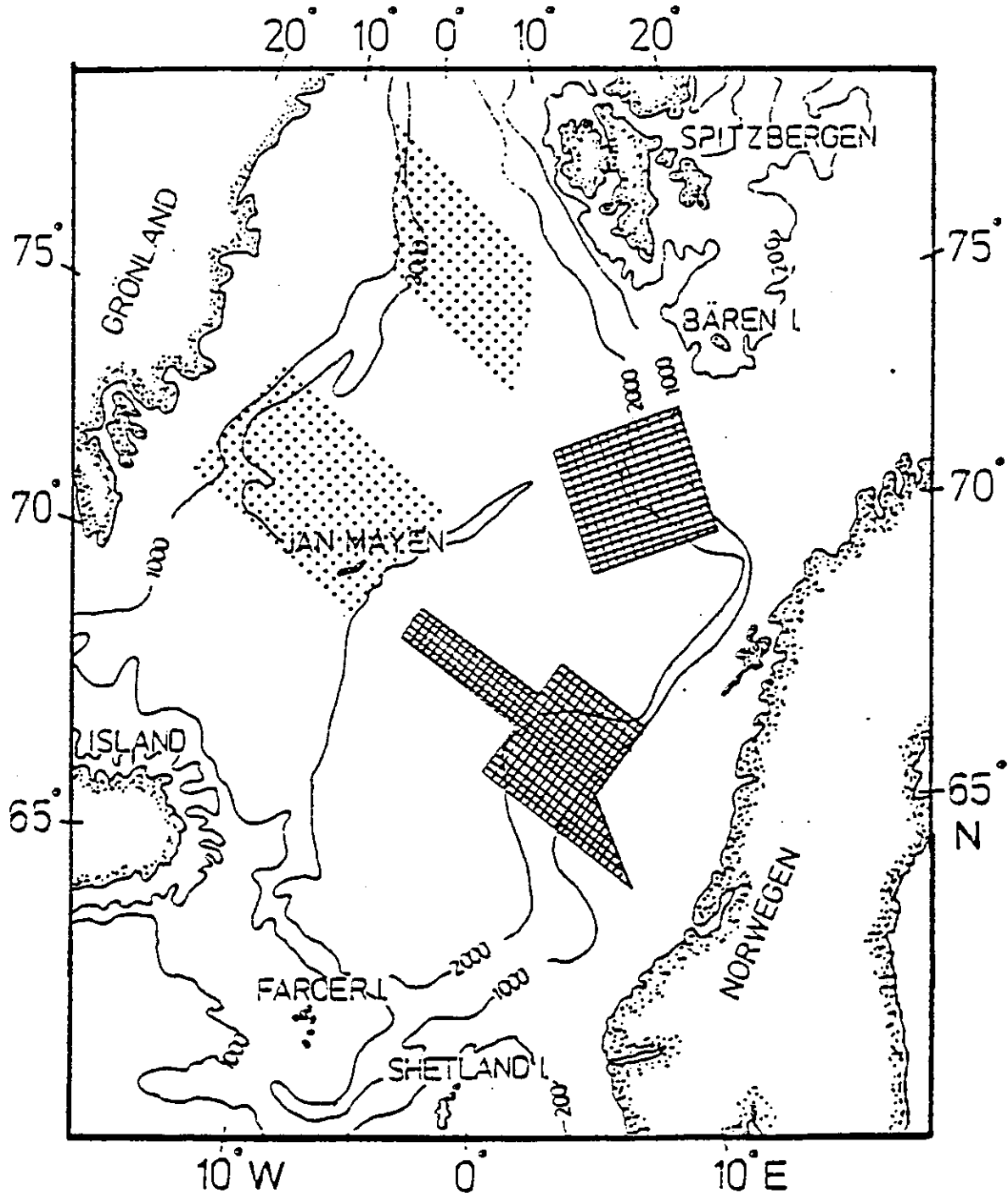


Abb. 18: Hochauflösende Reflexionsseismische Vermessung der Norwegischen See (kariert) vom Institut für Geophysik sowie geplante Sedimentecholot und weitflächige Seitensicht-Sonar-Vermessung vom Teilprojekt B1 (punktiert).

Sedimentanalysen beschränken sich auf die oberen 20 Meter Sediment, weil dieser Teufenbereich mit den von uns einzusetzenden Probennahmegeräten erfaßt werden kann.

(2) Die akustostratigraphische Interpretation von Reflektorenfolgen mit Hilfe von Prozessing-Verfahren, Sedimentecholot-Profilen und in-situ Schallmessungen dient zunächst einer Darstellung von Mächtigkeiten zwischen Reflektoren pelagischer Sedimentabfolgen, die über zeitgeeichte Reflektoren in Sedimentationsraten umgerechnet werden sollen. Die hierzu notwendige chronostratigraphische Zuordnung einzelner Reflektoren wird auf magnetischen sowie auf Massenbeschleuniger- und Sauerstoffisotopen-Messungen an Sedimentkernen beruhen. Die exakte Transformation von Teufen (m) auf Laufzeiten (ms) erfolgt über akustische in-situ Messungen am Meeresboden. Die in-situ Schallmessungen werden auf die oberen 100 m Sediment begrenzt sein.

(3) Die detaillierte Rekonstruktion von Paläomorphologie und oberflächennahen Sedimentstrukturen soll dem Entziffern von Strömungsdynamik und Transportbahnen von Bodenwassermassen dienen. Damit sollen die wesentlichen Veränderungen und Ursachen räumlicher Erstreckung und zeitlicher Verbreitung von strömungsgeprägten (Sedimentwellen, Sedimentdriften, Sedimentfurchen) Bodenformen bestimmt werden. Weiterhin sollen geoakustische Methoden für das Erkennen von "cold-seeps" (siehe TP A4) eingesetzt werden, die im Meeresboden zu einer Gasphase und damit zu starken Dichteunterschieden führen. Die daraus entstehenden akustischen Anomalien ermöglichen es, die Verbreitung und die Formen von "cold-seeps" mit flachseismischen Methoden zu vermessen und die Gas/Flüssigkeits-Verhältnisse aus den seismischen Amplituden abzuschätzen. Anschließend sollen diese Gebiete im Teilprojekt A4 gezielt auf ihren Stoffumsatz hin untersucht werden.

### 9.3 Stand der Forschung

Geophysikalische Untersuchungen in der Norwegischen See konzentrierten sich besonders auf reflexionsseismische Untersuchungen des Norwegischen Kontinentalrandes und seiner känozoischen Entwicklung. Folgen von Basaltflüssen, die sogenannten "dipping reflectors", sind entlang des Norwegischen und des Grönländischen Kontinentalrandes nachweisbar (z.B. Hinz, 1972; Hinz et al., 1986). Sie deuten auf einen exzessiven Vulkanismus während der Riftphase zwischen Anomalie 23 und 24 hin. Am Vøring Plateau wurden die Meeresbodenschichten bis zu mehreren hundert Metern Tiefe gezielt mit seismischen Profilmfahrten vermessen (z.B. Uenzelmann, 1988). Reflektoren wurden mit ODP-Leg 104-Bohrergebnissen (z.B. Thiede et al., 1989) altersmäßig eingestuft und sedimentologisch geeicht (z.B. Uenzelmann, 1988; Hempel, 1989). Uenzelmann (1988) befaßte sich mit Sedimentstruktur, Sedimentverteilung und Schallwellengeschwindigkeit und leitete daraus die



Absenkungsgeschichte der Sedimente seit dem Eozän ab, wobei tiefreichende seismische Vermessungen hier möglicherweise eine Kruste ozeanischen Ursprungs aufzeigen (z.B. Talwani und Eldholm, 1972). Auch in der Grönländischen See konzentrierten sich die geophysikalischen Untersuchungen auf die Auswertung von reflexionsseismischen Profilen, die auf einen prograden Schelfaufbau hinweisen (Larsen, 1983, Larsen, 1984, Vogt, 1986). Geophysikalisch weitgehend unerforscht sind dagegen die oberflächennahen Sedimentstrukturen (bis 20 m Teufe) in der Grönländischen See (u.a. Vogt, 1986), obwohl gerade dieser Bereich als Modellsituation für das Zusammenwirken von strömungskontrollierter Sedimentation und geophysikalischer Signalbildung in Sedimenten gelten kann. Reflexionsseismische Arbeiten zur Verbreitung von Konturit- und Sedimentdrift-Formen im nördlichen (Eiken und Hinz, 1989) und im westlichen Nordatlantik (Tucholke und Mountain, 1986) zeigen den generellen seismischen Aufbau dieser strömungsgeprägten Bodenformen. Jedoch fehlen hochauflösende geophysikalische Untersuchungen, um den Aufbau im Hinblick auf ozeanographische Prozesse des Glazials und Interglazials detailliert zu rekonstruieren und die Informationslücken bei den zum Teil noch heftig diskutierten Merkmalen strömungsgeprägter Meeresböden zu schließen.

#### Geophysikalische Sedimentkernuntersuchungen und Signalinterpretationen

Im Bereich der geophysikalischen Labormessungen liegen Erfahrungen mit schallphysikalischen, magnetischen und Leitfähigkeits-Meßverfahren an Sedimentkernen beispielhaft aus den niederen Breiten vor. Änderungen von Kompressionswellengeschwindigkeiten im Sediment sowie ihre Beziehungen zu chemischen Eigenschaften von Wassermassen wurden im äquatorialen Pazifik (Johnson et al., 1977; Berger und Mayer, 1978, Mayer, 1980, Embley und Johnson, 1980, Hamilton et al., 1982) und im Atlantik (siehe eigene Vorarbeiten) untersucht, weil dort signifikante Änderungen in den chemischen Eigenschaften von Wassermassen (NADW/AABW-Karbonatlösungszone!) und biologischen Produktionszonen äquatorialer Auftriebsgebiete (Biogenopal!) auftreten. Glazial/interglaziale Schwankungen der Produktivität steuern hier die Karbonatakkumulationsraten und darüber die Geschwindigkeitsänderungen (ca. 100 m/s) von Kompressionswellen im Sediment. Die Zunahmen von Karbonatlösungen mit der Wassertiefe sind in den Amplitudenabnahmen der Kompressionswellengeschwindigkeiten im Sediment zu beobachten (z.B. Mayer, 1980). Mayer (1979) und Hamilton (1982) zeigen, daß die biogene Opalkonzentration in den Sedimenten unter der äquatorialen Auftriebszone eine signifikant positive Korrelation zwischen Feuchtraumgewicht und Karbonat kennzeichnet. Niedrige Karbonat- und Feuchtraumgewichtswerte beruhen auf der Verdünnung von Karbonat mit Opal (Dichte  $1,6 \text{ g/cm}^3$ ). Diese Änderungen zeigen sich nicht nur in den Feuchtraumgewichten, sondern auch in den Impedanzwerten (dem Produkt aus Feuchtraumgewicht und Wellengeschwindigkeit) und können daher zur Entstehung deutlicher Reflektoren beitragen. Schallphysikalische Signaländerungen können daher als indirekter Ausdruck von Erosions- und Sedimentationsprozessen, Karbonatlösungsintensität und Klimazyklen gewertet werden.

Magnetische Analysen der Sedimentfeinschichtungen (Kern-Logging und Einzelproben) erlauben zunächst einmal Aussagen über die Konzentration und die Korngrößenverteilung von magnetischen Partikeln. Damit können glazial/interglaziale Klimazyklen sowie Zyklen äolischer Sedimentablagerung (z.B. Hamilton und Rees, 1970, King et al., 1982, Bloemendal et al., 1985, Robinson, 1986, Bloemendal et al., 1988, Bloemendal und DeMenocal, 1989) und die Intensität (DeMenocal, 1986) und Richtung von Bodenwasserströmungen erkannt werden. Zum Beispiel erlaubt die (ARM/MS-) anhystreretisch-remanente Magnetisierungs/magnetische Suszeptibilitäts-Methode (King et al., 1982), die Korngrößenspektren magnetischer Minerale zu erfassen. Da die ARM bevorzugt feine (ca. 1  $\mu\text{m}$ ), dagegen die MS größere Magnetitpartikel anzeigt, kann das Verhältnis von magnetisch fein- zu grobkörnigem Sediment rasch bestimmt werden. Die Kombination von ARM/MS- Methode und Anisotropie magnetischer Suszeptibilität (AMS) gibt einen relativ zuverlässigen Indikator für Intensität und Richtung von Bodenwasserströmungen sowie Hiaten (z.B. DeMenocal, 1986). Intervalle mit erhöhter Bodenwasserstromintensität sind (1) durch niedrige Werte von ARM/MS, d.h. viele relativ grobkörnige Magnetpartikel und (2) durch eine hohe Effizienz der Ausrichtung magnetischer Partikel in den AMS-Parametern gekennzeichnet.

Die wichtigsten geotechnischen Parameter wie Porosität, Scherfestigkeit, Feuchtraumgewicht und Permeabilität identifizieren im wesentlichen richtungslose Eigenschaften von Sedimenten. Die räumliche Orientierung der Sedimente ist dagegen eine aussagekräftige Kenngröße zur Beschreibung richtungsbestimmender Ablagerungsbedingungen. Die akustische Anisotropie ist geringer bei ungeschichteten Lagen, kann aber bei geschichteten Lagen Werte bis 13 % annehmen, wobei dieser Effekt unter dem Einfluß zunehmender Auflast mit der Tiefe zunimmt. Dieser Effekt ist insbesondere an ODP-Kernen für die akustischen Eigenschaften mariner Sedimente untersucht worden (Wetzel, 1986; Fujii, 1981, Carlson und Christensen, 1977).

Elektrische und akustische Leitfähigkeitsanisotropien sind hierbei komplementäre geophysikalische Eigenschaften mariner Sedimente: Während sich die akustische Leitfähigkeit aus der Struktur und Orientierung der mineralischen Festsubstanz ableiten läßt, wird die elektrische Leitfähigkeit primär durch die Geometrie und dreidimensionale Konfiguration des intergranularen Porenraum-Netzwerkes definiert. Die bevorzugte Richtung des elektrischen Flusses in marinen Sedimenten ist daher ebenfalls indirekt vom Grad der Tonmineraleinregelung unter dem Einfluß von Transport und gravitativer Kompaktion abhängig. Trotz dieses relativ klaren Zusammenhanges sind bislang nur wenige experimentelle Anwendungen von akustischen, elektrischen und magnetischen Verfahren zur Quantifizierung der sedimentphysikalischen Anisotropie im Hinblick auf Transportrichtungen benutzt worden. Die geplanten geophysikalischen Analysen stellen daher einen wichtigen Ansatz für ein Erkennen dieser Systematik und der Transportrichtungen dar.

Die Frage nach den Beziehungen zwischen den geophysikalischen Signalen und nach ihrer Variabilität in verschiedenen Ablagerungsräumen ist bisher, trotz erster Ansätze, noch weitgehend unbeantwortet geblieben. Es wird daher ein Ziel unserer geplanten Arbeiten sein, diese Fragen für den nördlichen Nordatlantik zu beantworten. Für diese Region liegen dem "Ocean Drilling Program" bereits mehrere Vorschläge für eine Bohrkampagne vor, die ein internationales wissenschaftliches Interesse aufzeigen, den quartären Ablagerungsraum umfassend zu verstehen, bevor die Klärung der präquartären Ablagerungsräume anhand von Bohrkernen angestrebt wird. Darüber hinaus werden unsere Untersuchungen in direkter Verbindung mit den Arbeiten im europäischen Projekt 'Polar North Atlantik Margin' (PONAM) stehen.

### Akustische 3-D Erfassung oberflächennaher Sedimentstrukturen

Da die bisherigen Arbeiten mit Sedimentecholotprofilen noch keine entsprechenden Resultate geliefert haben, soll mit der Kombination der geplanten Analysen ein neuer erfolgversprechender Weg beschritten werden. Die heute üblicherweise für die akustische Hochauflösung von Meeresböden und meeresbodennahen Sedimenten (0-100 m) eingesetzten Geräte sind in der Regel schiffsgebunden (3,5 kHz und Parasound Sedimentecholot, GLORIA-, SeaMARC II-Schleppsysteme) und erlauben nur den Echocharakter aufzuzeigen und die Laufzeiten von seismischen Wellen zwischen Diskontinuitäten zu messen. Diese Laufzeit ist jedoch das Produkt aus seismischer Geschwindigkeit und Mächtigkeit der Schicht zwischen den beiden Diskontinuitäten. Will man einen dieser Parameter exakt bestimmen, so muß man auf die in der Explorationsseismik üblichen Mehrkanalsysteme ausweichen, bei denen ein Signal von mehreren Empfängern in unterschiedlicher Entfernung von der Quelle aufgezeichnet wird. Für die hochfrequente Auflösung der Sedimentstrukturen im Dezimeter- bis Meter-Bereich sind solche Systeme wegen ihres niederfrequenten Frequenzbereiches jedoch nicht verfügbar.

Deshalb wird eine andere Vorgehensweise konzipiert, welche auf dem bewährten Konzept des Ozeanbodenseismometers beruht. Allerdings soll nicht ein niederfrequentes (Auflösungen  $> 1$  m), sondern ein hochfrequentes System (Auflösungen  $< 1$  m) eingesetzt werden, um eine hochauflösende Geschwindigkeitsverteilung vom Meeresbodenuntergrund zu erhalten. Dazu wird am Meeresboden ein akustisches Aufnehmersystem installiert, daß die von einem sich bewegenden Forschungsschiff ausgesandten Signale aus allen Richtungen und mit verschiedenen Einfallswinkeln registriert. Aus den Laufzeit- und Entfernungsunterschieden können dann, wie in der Explorationsseismik üblich, nach der Dix-Formel zunächst die seismischen Geschwindigkeiten einzelner Schichten und anschließend auch ihre Mächtigkeiten bestimmt werden.

Mit der Entwicklung von hochauflösenden Sedimentecholoten (z.B. Luskin et al., 1954) begann man, den Meeresbodenuntergrund (max. Eindringung ca. 150 m) zunächst auf der Basis von Echocharakteren profilierend zu kartieren (z.B. Damuth, 1975). Präzise weitflächige Aufnahmen (max. Breite ca. 10 km) der Meeresbodenober-

fläche und seiner Bathymetrie sind hingegen erst in jüngster Zeit durchführbar (z.B. Blackington et al., 1983). Während der Teilnahme an voraussichtlich mehreren Forschungsfahrten mit Poseidon, Meteor, Hudson und Polarstern sollen die Schlüsselregionen ozeanographischer Zirkulation vom Grönländischen Kontinentaltalhang bis zum Mittelozeanischen Rücken mit kombinierten Einsätzen von digitalen Meeresbodenoberflächen- und untergrundmeßverfahren und nachfolgender seismischer Datenbearbeitung untersucht werden. Die Interpretationsgrundlage für die Norwegische See wird auf bereits vorhandenen analogen Sedimentecholot- und Seitensicht-Sonar-Aufnahmen beruhen.

#### Literatur

- Berger, W.H. und Mayer, L.A. (1978): Deep-sea carbonates: acoustic reflectors and lysocline fluctuations.- *Geology*, 6: 11-15.
- Blackinton, J. G., Hussong, D.M. und Kosalos, J. (1983): First results from a combination side-scan sonar and seafloor mapping system (SeaMARC II). Offshore Technology Conference, OTC 4478: 307-311.
- Bloemendal, J., Barton, C.E. und Radhakrishnamurthy, C. (1985): Correlation between Rayleigh loops and frequency-dependent and quadrature susceptibility: Application to magnetic granulometry of rocks. *J. Geophys. Res.*, 90: 8789-8792.
- Bloemendal, J., Lamp, B. und King, J. (1988): Paleoenvironmental implications of rockmagnetic properties of late Quaternary sediment cores from the Eastern Equatorial Atlantic. *Paleoceanography*, 3: 61-87.
- Bloemendal, J. und deMenocal, P. (1989): Evidence for a change in the periodicity of tropical climate cycles at 2.4 Myr from whole-core magnetic susceptibility measurements. *Nature*, 342: 887-900.
- Carlson, R.L. und Christensen, N.I. (1977): Velocity anisotropy and physical properties of deep-sea sediments from the western south Atlantic. *Init. Repts. DSDP*, 39: 555-559.
- Damuth, J.E. (1985): Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to the dispersal and distribution of terrigenous sediments.- *Mar. Geol.*, 18: 17-45.
- DeMenocal, P. (1986): Magnetic signatures of bottom current erosion. Master thesis, Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island. 142 pp.
- Eiken, O. und Hinz, K. (1989): Contourites in the Fram Strait. In: *Aspekter ved refleksjonsseismikk. Ni bidrag om innsamling, prosessering og tolkning med geografisk tyngde i Svalbard. Dr. scient. oppgave, Jordskjelvstasjonene, Universitetet i Bergen, Desember 1989*, 93-121.
- Embley, R. W. und Johnson, D.A. (1980). Acoustic stratigraphy and biostratigraphy of Neogene carbonate horizons in the north equatorial Pacific. *J. Geophys. Res.*, 85: 5423-5437.
- Fujii, N. (1981): Anisotropy in compressional-wave velocities and wet-bulk densities of calcareous sedimentary rocks. *Init. Repts. DSDP*, 62: 995-998.

- Hamilton, E.L., Bachman, R.T., Berger, W.H., Johnson, T.C., und Mayer, L.A. (1982): Acoustic and related properties of calcareous deep-sea sediments, *Jour. Sed. Pet.*, 52: 733-753.
- Hamilton, N. und Rees, A.I. (1970): The use of magnetic fabric in paleocurrent estimation. In Runcorn, S.K. (ed.), *Paleogeophysics*, Academic Press, N.Y.: 445-464.
- Hempel, P. (1989): Der Einfluß von biogenen Opal auf die Bildung seismischer Reflektoren und die Verbreitung opalreicher Sedimente auf dem Voering Plateau.- Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 14: 131 pp.
- Hinz, K. (1972): Der Krustenaufbau des Norwegischen Kontinentalrandes (Vøring-Plateau) und der Norwegischen See zwischen 66 und 68 N nach seismischen Untersuchungen. *Meteor Forschungsergebnisse, Reihe C*, 10: 1-16.
- Hinz, K., Mutter, J.C., und Roeser, H.A. (1986): Symmetric Conjugation of Structures along the Norwegian and East Greenland Margins. Abschlußbericht für das Forschungsvorhaben Hi 179716-2, DFG-Archiv-Nr. 99565.
- Johnson, T.C., Hamilton, E.L., und Berger, W.H. (1977): Physical properties of calcareous ooze: control by dissolution at depth, *Mar. Geol.*, 24: 259-277.
- King, J., Banerjee, S.K., Marvin, J., Ozdemir, O. (1982): A comparison of different magnetic methods for determining the relative grain size of magnetite in natural materials: some results from lake sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 59: 404-419.
- Larsen, B. (1983): Geology of the Greenland-Iceland Ridge in the Denmark Strait. In: M.H.P. Bott et. al., (eds.), *Structure and development of the Greenland Scotland Ridge*. Plenum Press, New York: 425-444.
- Larsen, H.C. (1984): Geology of the East-Greenland Shelf. In: Graham, A. and Trotman, P. (eds.), *Petroleum Geology of the Northern European Margin*. Norwegian Petrol. Society, Stavanger: 329-339.
- Luskin, B., Heezen, B.C., Ewing, J.I., und Lansidman, M. (1954): Precision measurements of ocean depth. *Deep-Sea Res.* 1, 131-140
- Mayer, L.A. (1979): Deep-sea carbonates: acoustic, physical, and stratigraphic properties. *J. Sediment. Petrol.*, 49: 819-836.
- Mayer, L.A. (1980): Deep-sea carbonates: physical property relationships and the origin of high-frequency acoustic reflectors. *Mar. Geol.*, 38: 165-183.
- Robinson, S.G. (1986): The late Pleistocene palaeoclimatic record of North Atlantic deep-sea sediments revealed by mineral-magnetic measurements. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 42: 22-47.
- Talwani, M. und Eldholm, O. (1972): Continental Margin off Norway: A Geophysical Study. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83: 3575-3606.
- Thiede, J., Eldholm, O. und Taylor, E. (1989): Variability of Cenozoic Norwegian-Greenland Sea paleoceanography and northern hemisphere paleoclimate. *Proc. Init. Rep. (B), ODP Leg 104*. p. 1067-1118.

- Tucholke, B.E. und Mountain, G.S. (1986): Tertiary paleoceanography of the western North Atlantic Ocean. In: P.R. Vogt and B.E. Tucholke (eds.): The Geology of North America, Volume M, The Western North Atlantic Region, Geological Society of America: 631-650.
- Uenzelmann, G. (1988): Sedimente des südlichen äußeren Vøring-Plateaus - Eine hochauflösende reflexionsseismische Untersuchung.- Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 12: 142 pp.
- Vogt, P.R. (1986): Seafloor topography, sediments, and paleoceanography. In: Hurdle, B.G. (Eds.), The Nordic Seas, Springer Verlag, New York: 237-386.
- Wetzel, A. (1986): Anisotropy and modes of deposition of pelitic Mississippi fan sediments. Init. Repts. DSDP, 96: 811-817.

#### 9.4 Eigene Vorarbeiten

Ein Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten der Abteilung für ozeanische Geodynamik am GEOMAR-Forschungszentrum und des Instituts für Geophysik der Universität Kiel sind seismische Untersuchungen und Prozessing-Verfahren zur Rekonstruktion der plattentektonischen Entwicklungsgeschichte von kontinentaler und ozeanischer Kruste (z.B. Meißner, 1979; Theilen und Meißner, 1979; von Huene, 1989; Philipp, 1989) und sedimentphysikalischer Prozesse (z.B. Kvenvolden und von Huene, 1985; Mienert, 1986). Neben den Erfahrungen aus zahlreichen Einsätzen auf deutschen und internationalen Forschungsfahrten liegen insbesondere auch Erfahrungen von umfangreichen DSDP/ODP-Bohrkampagnen vor (z.B. von Huene: DSDP Leg 18, 57, 67, 84, ODP Leg 112; Mienert: ODP Leg 108 und 114). Darüber hinaus bestehen nicht nur enge wissenschaftliche Kontakte zu den einschlägigen Arbeitsgruppen in Deutschland, sondern auch zu den Kollegen in England, Norwegen, Island, Dänemark und den USA.

Das geplante Forschungsvorhaben soll auf den bisherigen Erfahrungen geophysikalischer Sedimentkernuntersuchungen (z.B. Mienert, 1986, Philipp, 1989) aufbauen und soll durch das Zusammenführen von sedimentphysikalisch-magnetischen Untersuchungsmethoden (z.B. Mienert und Bloemendal, 1989), meeresbodengestützten akustischen Registriergeräten und hochauflösenden akustischen Sedimentecholot- und Seitensicht-Sonar-Aufnahmen profitieren.

Die durchgeführten Untersuchungen konzentrierten sich z.B. auf das Kernmaterial aus dem äquatorialen Pazifik (Mienert, 1984), vom Kontinentalhang vor Peru (von Huene et al., 1987), aus dem äquatorialen und südpolaren Atlantik (Mienert, 1985, Mienert et al., 1985, Mienert, 1986, Sarnthein und Mienert, 1986, Mienert und Curry, 1986, Mienert und Curry, 1987, Nobes und Mienert, 1988, Mienert und Nobes, in press), dem nördlichen Nordatlantik (Mienert et al., in Vorb.) und der Arktis (Mienert et al., 1990).

Während der Teilnahme an ODP-Leg 108 im äquatorialen Ostatlantik und ODP-Leg 114 im südpolaren Atlantik kamen erstmals die neuen Technologien des schallphysikalischen und magnetischen Kernlogging zum Einsatz (Schultheiss und Mienert, 1988, Bloemendal et al., 1988). Die wichtigsten Ergebnisse der bisherigen Arbeiten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

(1) Im äquatorialen Ostatlantik wurde die Entwicklungsgeschichte der Tiefenwasserzirkulation im Neogen sowie der Verlauf von Turbiditstromgebieten dieser Region anhand von Sedimentphysik, Sedimentmorphologie, Sedimentecharakter und Reflektorenfolgen rekonstruiert (z.B. Mienert, 1986). Dabei gaben die Sedimentfurchen, Manganknollen, Sedimentwellenfelder und Sedimentrücken deutliche Hinweise auf die Verbreitung von Bodenwasserströmungen. Weiterhin konnte eine räumliche Verbreitung von Paläowassermassen, die eine signifikante Karbonatlösung oder eine erhöhte Strömungsgeschwindigkeit in Verbindung mit Sedimenterosion aufzeigen, mit Hilfe von seismischen Reflektoren erfaßt werden. Diese Reflektoren entstehen hier durch Impedanzunterschiede, welche mit verstärkter Karbonatlösung, Grobsandlagen und/oder Schichtlücken korrelieren.

(2) Im äquatorialen Ost- und Westatlantik gehen Kompressionswellen-Geschwindigkeiten parallel mit Änderungen der Karbonatakkumulationsraten und Karbonatkorngrößen und werden damit über komplexe Prozesse von Karbonatproduktion und -lösung von den paläoklimatischen und paläo-ozeanographischen Verhältnissen gesteuert (Mienert et al., 1988). Ein wichtiges Ergebnis ist, daß die Wellengeschwindigkeiten im Bereich der Karbonat-Kompensationstiefe (CCD) deutlich abnehmen.

(3) Auch im Arktischen Ozean zeigt sich eine deutliche Abnahme der Wellengeschwindigkeiten im Oberflächensediment unterhalb von 4000m Wassertiefe. Während diese im äquatorialen Westatlantik einer deutlichen Änderung in der Karbonatlösung und damit dem Grenzbereich zwischen kalkaggressivem Antarktischen Bodenwasser (AABW) und Nordatlantischen Tiefenwasser (NADW) entspricht, bedarf das Zuordnen von geophysikalischen Strukturen im nördlichen Nordatlantik und der Arktis detaillierter interdisziplinärer Untersuchungen (Mienert et al., 1990).

(4) In der GEOMAR-Abteilung Ozeanische Geodynamik wurde unter der Leitung von Prof. Dr. von Huene ein seismisches Prozessing-Zentrum aufgebaut (Abb. 19). Die dazugehörigen Datenverarbeitungsprogramme konnten von Prakla Seismos eingeworben und von Dipl. Phys. Vosberg, Dr. Weinrebe und Dr. Flüh mit Erfolg getestet und eingesetzt werden, so daß die Anlage für das Prozessieren von digital aufgezeichneten Sedimentecholotaufnahmen im Jahr 1991 voll einsatzfähig sein wird. Das Prozessieren von digitalen Seitensicht-Sonar-Aufnahmen wird nach bisherigen Absprachen mit Dr. Summerhayes und Dr. Whitmarsh (Institute of Ocean Sciences, Wormley, U.K.) mit den am dortigen Institut bereits vorhandenen Programmen durchgeführt.

# Prozessing Zentrum

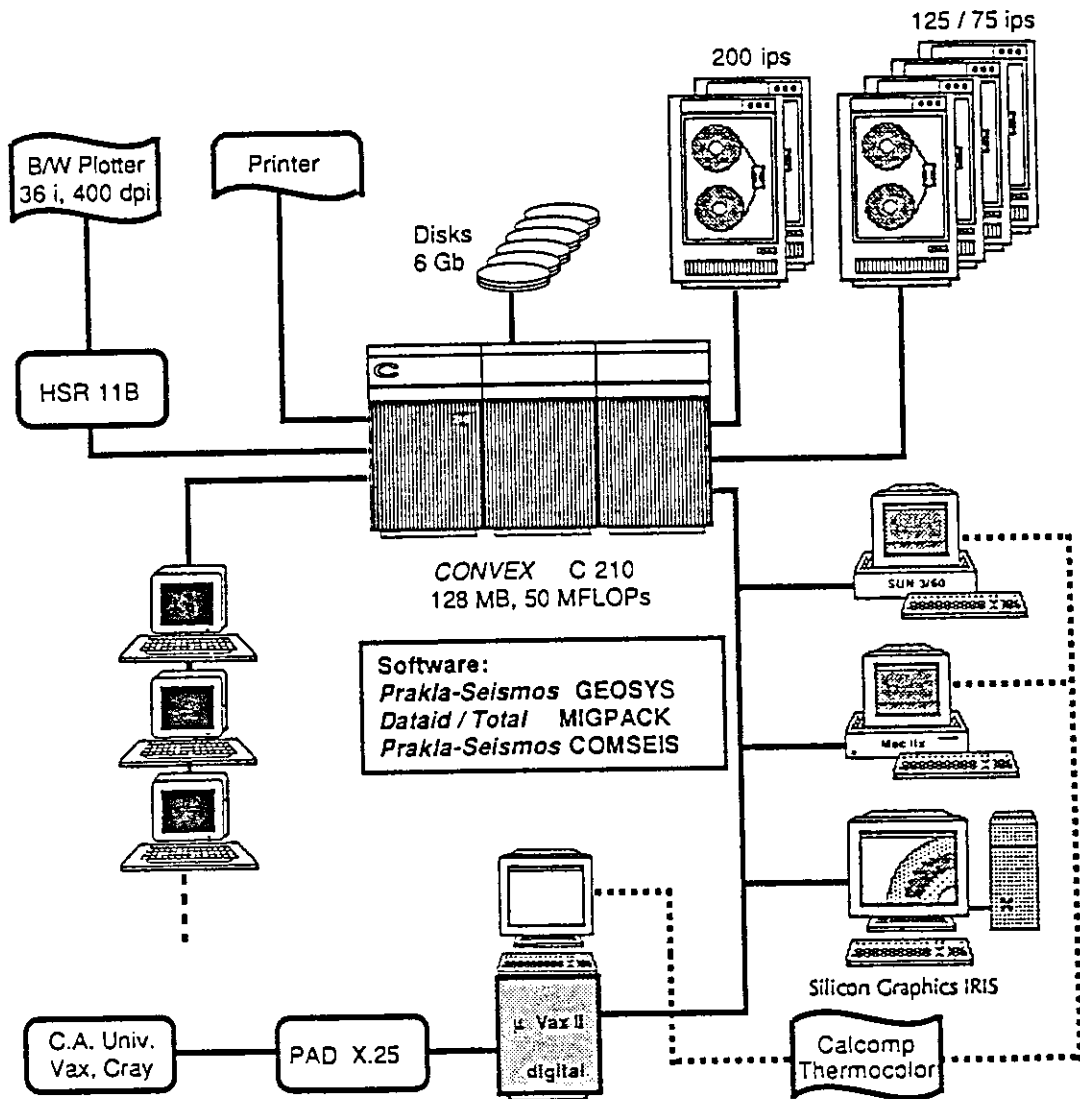


Abb. 19: Schematische Darstellung der Rechensysteme und der Vernetzung im Prozessing-Zentrum des GEOMAR Forschungsinstituts.



## Literatur

- Bloemendal, J., Tauxe, L., Valet, J.-P. und Shipboard Scientific Party (1988): High resolution whole-core magnetic susceptibility logs from Leg 108. In: Ruddiman, W.B., Sarnthein, M., et al., Proc. Init. Rep. (A), ODP Leg 108: 1005-1013.
- Huene, R. von (1989): Continental Margins around the Gulf of Alaska, In: Winterer, E. L., Hussong, D. M., und Decker, R.W., eds. The Eastern Pacific Ocean and Hawaii: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America: 383-401.
- Huene, R. von, Suess, E., Emeis, K-Ch. und Leg 112 Scientific Party (1987): Convergent tectonics and coastal upwelling: a history of the Peru continental margin; Episodes, 10/2: 87-93.
- Kvenvolden, K.A. und von Huene, R. (1985): Natural gas generation in sediments of the convergent margin of the Eastern Aleutian Trench area, in Howell, D.G. (ed.), Tectonostratigraphic terranes of the Circum-Pacific region: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series, 1; 31-49 pp.
- Meißner, R. (1979): Fennoscandia -A short Outline of its Geodynamic Development. Geojournal 3.3: 227-233.
- Mienert, J. (1984): The importance of carbonate content in the acoustic stratigraphy of Panama Basin, Mar. Geol.: 237-247.
- Mienert, J. (1985): A semiquantitative estimate of bottom water flow during the past 3 Million years inferred from high resolution acoustic stratigraphy. Terra cognita, 5/1: 76 pp.
- Mienert, J. Sarnthein, M., and Werner, F. (1985): Sediments in the Kane gap: Effects of episodic current action. Terra cognita, 5/1: 76 pp.
- Mienert, J. (1986): Akustostratigraphie im äquatorialen Ostatlantik: Zur Entwicklung der Tiefenwasserzirkulation der letzten 3.5 Millionen Jahre.- "Meteor" Forschungsergebnisse, Reihe C, 40: 19-86.
- Mienert, J. and Curry, W.B. (1986): High resolution compressional wave velocity measurements in the equatorial Atlantic: Late Quaternary stratigraphic and climatic relationships. GSA 99th annual meeting and exposition, San Antonio, Texas: 695 pp.
- Mienert, J. Curry, W.B. (1987): Compressional-wave velocities and foram-lysocline fluctuations: Application for Late Quaternary paleoceanographic reconstructions. AGU spring meeting, Baltimore, Maryland, EOS, Transactions AGU, 68/16: 329 pp.
- Mienert, J., Curry, W.B., and Sarnthein, M. (1988): Sonostratigraphic records from equatorial Atlantic deep-sea carbonates: Paleoceanographic and climatic relationships. Marine Geology, 83: 9-20.
- Mienert, J. and Bloemendal, J. (1989): A comparison of acoustic and rock magnetic properties of equatorial Atlantic deep-sea sediments: paleoceanographic implications. Earth and Planetary Science Letters, 94: 291-300.

- Mienert, J., Mayer, L., Jones, G., and King, J. (1990): Physical and acoustic properties of Arctic Ocean deep-sea sediments: Paleoclimatic implications. In: Bleil, U., and Thiede, J. (eds.): The geologic history of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic. NATO ASI Ser. C, Dordrecht (Kluwer).
- Mienert, J., and Nobes, D.C., in press. Physical properties of sediments beneath polar-front upwelling regions of the Subantarctic South Atlantic (Hole 704A). Init. Repts. ODP-Leg 114, Vol. B.
- Mienert, J. Andrews, J. Milliman, J., in Vorb. Paleoclimatic and paleoceanographic changes at the East Greenland Continental Margin.
- Nobes, D.C., and Mienert, J., 1988. from Hiatuses to cyclicity: An Ocean Drilling Program perspective of physical property applications, Geological Association of Canada, St. Johns, New Foundland.
- Philipp, J. (1989): Bestimmung der Kompressions- und Scherwellengeschwindigkeit mariner Sedimente an Kastenlotkernen: Entwicklung einer Meßapparatur und Vergleich mit sedimentologischen Parametern.- Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 16: 95 pp.
- Sarnthein, M. and Mienert, J. (1986): Sediment waves in the eastern equatorial Atlantic: sediment record during the late Glacial and interglacial times. In: Summerhays, C.P. und Shackleton, N.J. (eds.), Proc. of "North Atlantic Paleoceanography" Meeting, Geol. Soc. London, Blackwell Scientific Publications.
- Schultheiss, P., and Mienert, J. et al. (1988): Whole core p-wave velocity logs and gamma ray attenuation logs from ODP Leg 108 (Sites 657-668). In Ruddiman, W.B., Sarnthein, M., et al., Proc. Init. Rep. (A), ODP Leg 108: 115-146 pp.
- Theilen, F. und Meißner, R. (1979): A Comparison of Crustal Features in Fennoscandia and the Rhenish Shield, Two Areas of Recent Uplift. Tectonophysics, 61: 227-242.

#### 9.5 Ziele, Methoden, Arbeitsprogramm und Zeitplan

Hauptziel der geplanten geophysikalischen Forschungsvorhaben ist es, Richtung, Intensität und Umfang sedimentärer Transportprozesse und der sie steuernden Wassermassen zu bestimmen und für die im Quartär auftretenden glazial/interglazialen Klima-Umschwünge zu rekonstruieren. Hierzu sind Felduntersuchungen entlang von zwei Transekten vom ostgrönländischen Kontinentalhang zum Mittelozeanischen Rücken geplant (Abb.18), in denen der Meeresbodenaufbau einen Hauptmonitor für Änderungen in kalten, südgerichteten Bodenwasserströmungen darstellt. Im wesentlichen wird die regionale Entwicklungsgeschichte der folgenden drei Transportprozesse im Vordergrund unserer Untersuchungen stehen:

- (1) Gravitativer Transport von Sedimenten in Regionen mit hangabwärtsgerichteten Kaskaden kalter Bodenwassermassen am Kontinentalhang,

(2) Erosion, Akkumulation und Paläomorphologie von Sedimenten entlang von Haupttransportbahnen kalter Bodenwassermassen in der Tiefsee,

(3) Verbreitung und Austrittsgebiete von Gas/Hydratzonen ("cold-seeps") am Meeresboden und ihre Stellung im Sedimentationsraum.

Die Grundlage dafür ist zunächst eine gezielte Aufnahme der paläomorphologischen und geophysikalischen Entwicklung des Meeresbodens in zwei ausgewählten Transekten anhand von hochauflösender 3D-Sonographie, digitalen Sedimentecholot-Tiefenaufnahmen (max. 100 m) und Seitensicht-Sonar-Oberflächenaufnahmen (max. 10 km). Die Aufnahmen werden hinsichtlich ihrer Feinstruktur mit seismischen Prozessing-Verfahren ausgewertet. Der akustische Informationsgehalt wird mit geophysikalisch-magnetischen (sowie stratigraphisch-lithologischen, TP A2) Sedimentkernuntersuchungen geeicht und für oberflächennahe Sedimente mit einer AMS-Feinstratigraphie für die letzten 45.000 J.v.h. altersmäßig eingestuft. Im einzelnen sollen Antworten zu folgenden Fragen erarbeitet werden:

- Welche Systematik und Variabilität zeigen Anisotropie und Amplitude von geophysikalischen Signalen bezüglich der Richtung und Intensität von sedimentären Prozessen?
- Welche Beziehungen existieren zwischen Änderungen von geophysikalischen Signalen und lithologischen Grenzen sowie Lösungs- und Zementationshorizonten?
- Wie wirken sich die Klimaänderungen im Quartär auf den Verlauf der Transportbahnen von Wassermassen und Sedimenten und die paläomorphologische Entwicklung des Meeresbodens aus?
- Welche Wassermassen und welche hydrodynamischen Prozesse lassen sich aus den Bodenformen ableiten?
- In welcher Größenordnung gelangt das Sediment vom Schelf zur Tiefsee und wo befinden sich die Ablagerungszentren in der Tiefsee in glazialen und interglazialen Zeiten?
- Welche Größenordnung und räumliche Verteilung haben Gas- und Hydratvorkommen und welche Stellung haben sie und die "cold seeps" (TP A4) im Sedimentationsraum?

Der Hauptansatz der Arbeit liegt in dem Zusammenführen von geophysikalischen Sedimentkernuntersuchungen im Labor, in-situ Sonographie am Meeresboden, hochauflösender akustischer Vermessung der Meeresbodenstrukturen mit Sedimentecholot und Seitensicht-Sonar sowie Prozessing der akustischen Daten an Land.

Laboruntersuchungen ("Logging", Abb.20) beinhalten die Kompressionswellengeschwindigkeit, magnetische Suszeptibilität und Leitfähigkeit. Sie dienen der Bestimmung der Anisotropie in Sedimenten. Zusammen mit Porosität, Feuchtraumgewicht, Scherfestigkeit, Porenraumwasser bzw. Porengas sollen die Beziehungen zwischen akustischen Signalen, Transportrichtungen und Sedimentparametern geklärt werden:

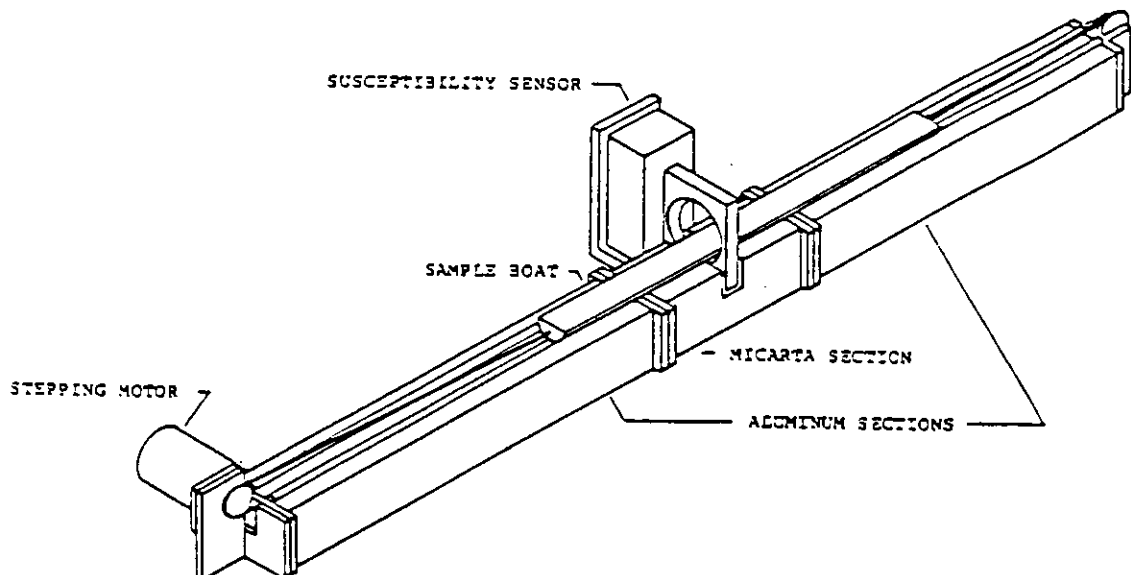
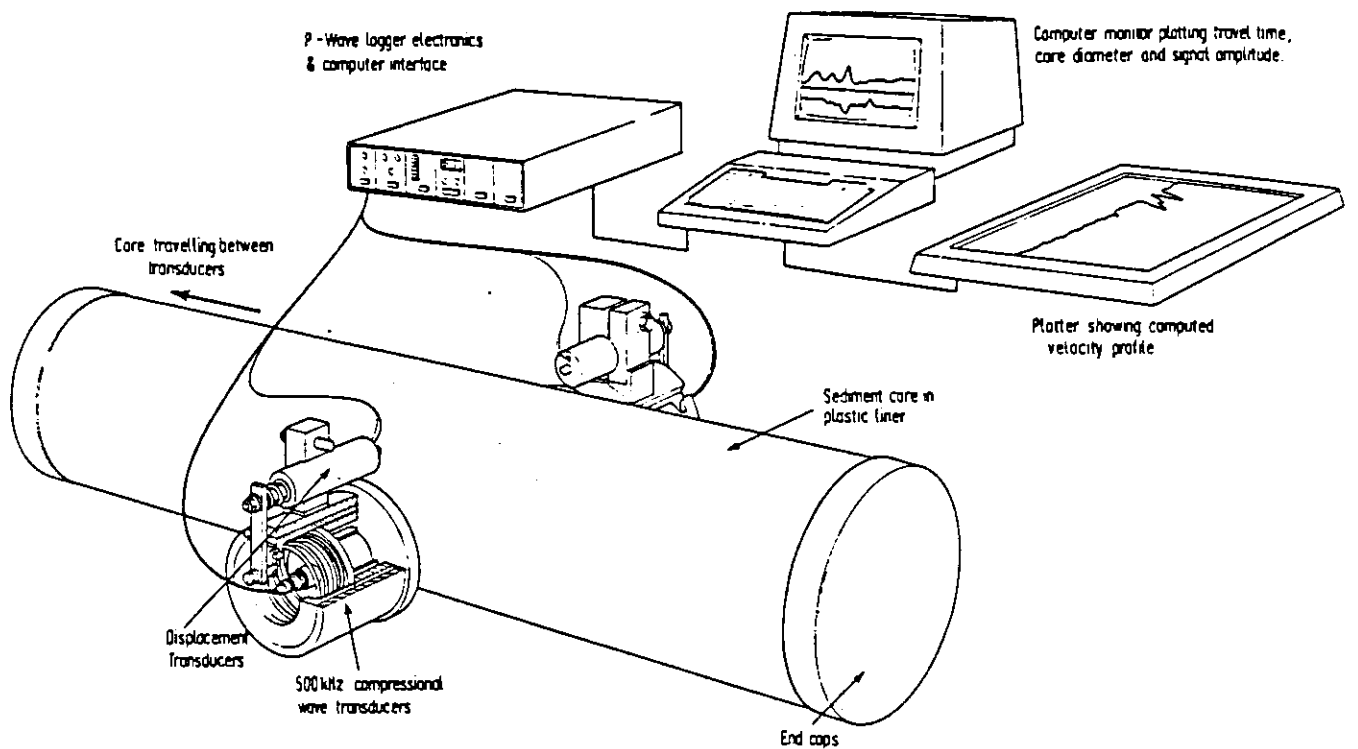


Abb. 20: Schematische Darstellung: Kern-Logging- (aus Schultheiss und McPhail, 1989) und Kern-Transport- System (Fa. Analytical Service Company, 1987)

(1) Die Entwicklungsphase soll in erster Linie dem Aufbau eines Kern-Logging-Systems zur hochauflösenden Bestimmung der geophysikalischen Parameter dienen. Das Kern-Logging System ist mobil einsetzbar. Es besteht aus einem automatischen Kerntransportsystem (der Fa. Analytical Services Company), einem Schrittmotor für den Kerntransport, einem Kompressionswellen-Sensorsystem mit Sender und Empfänger, einem Scintrex Gamma-Strahler mit Sensor und einer Bartington Suszeptibilitätsbrücke. Die Sensoren und das Transportssystem werden in einem Rechnersystem integriert und so kontrolliert. Diese Messungen können direkt an ungeöffneten Kernen durchgeführt werden. Die Kern-Logs enthalten hochauflösende Informationen über Kompressionswellengeschwindigkeiten, Feuchtraumgewichte (durch Gamma-Strahlungsmessung) und niederfrequente magnetische Suszeptibilität.

(2) Die Meßphase beinhaltet zunächst die Durchführung von Sedi-mentanalysen zur Bestimmung der geotechnischen Parameter. Die weiteren Untersuchungen schallphysikalischer und magnetischer sowie der Leitfähigkeits-Anisotropien werden dann die Hauptarbeit darstellen. Elektronenmikroskopische und sedimentologische Untersuchungen sollen nach Möglichkeit parallel im Teilprojekt A2 durchgeführt werden. Von besonderem Interesse sind dabei die Beziehungen zwischen geophysikalischen und sedimentologischen Kenngrößen. Untersuchungen der magnetischen Eigenschaften werden sich zunächst auf AMS und ARM-Messungen stützen. Aufgrund der langjährigen Verbindungen mit Kollegen in Deutschland (Prof. Dr. Bleil), UK (Dr. Jan Bloemendal) und USA (Prof. Dr. King) können aber auch thermomagnetische Messungen zur Typisierung von Trägern der Magnetisierung herangezogen werden. Diese Messungen können zum einen in Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. Bleil (Universität Bremen) und zum anderen mit Herrn Prof. Dr. King (University of Rhode Island) durchgeführt werden.

(3) Die Auswertung betrifft das Erarbeiten einer umfassenden Systematik von Korrelationen und Variabilitäten in einer Reihe von sedimentären Ablagerungsräumen. Die gewonnenen Informationen über sedimentäre Prozesse sollen mit den akustischen Ereignissen in Reflektorenfolgen korreliert und über eine Transformation von Sedimentteufen (m) und Laufzeiten (ms) in Sedimentecholotprofile übertragen werden.

Am Meeresboden wird ein akustisches Aufnehmersystem installiert, das die von sich bewegenden Schiffen ausgesandten Schallimpulse aufzeichnet (Abb. 21). Dabei werden Signale aus verschiedenen Richtungen und unter verschiedenen Einfallswinkeln registriert. Über Laufzeit- und Entfernungsunterschiede wird in Anlehnung an die Explorationsphysik zunächst die seismische Geschwindigkeit einzelner Schichten und anschließend auch ihre Mächtigkeit bestimmt (Dix-Formel). Daraus ergibt sich ein erstes tiefengetreues Abbild der Sedimentstrukturen. Die verbleibenden Ungenauigkeiten können durch detaillierte Registrierungen der Amplitudeneinsätze eingeschränkt werden. Zudem können aus den Amplitudenbetrachtungen auch die Dichte und Scherwellengeschwindigkeiten in engen

Grenzen durch Modellrechnungen angegeben werden. Wird als Aufnehmer ein Drei-Komponenten-Geophon benutzt, so kann man weitere Informationen über die Scherwellengeschwindigkeiten extrahieren, was bei einer lithologischen Interpretation des Sedimentationsraumes von Bedeutung ist. Da das Schiff beweglich und der Aufnehmer stationär ist, kann er aus allen Richtungen "angeschossen" werden. Damit sind Aussagen zur Anisotropie im Sedimentraum möglich, die besonders bei detaillierten Untersuchungen von strömungsgeprägten Bodenformen von Bedeutung sind.

Das technische Konzept des Aufnehmers basiert auf bekannten und erprobten Ozeanbodenseismometern, die für hochfrequente Auflösung modifiziert werden. Für die Aufnehmer sind drei Konzepte vorgesehen, die sich teilweise ergänzen und die je nach Ablagerungsraum eingesetzt werden sollen. Es sind dies das Drei-Komponenten-Geophon, das Vertikal-Array aus drei Hydrophonen und das Horizontal-Array aus ebenfalls drei Hydrophonen. Eine Benthos-Ozeanbodenplattform, bestehend aus Ankerstein, Stromversorgung, Auftriebskörper, akustischem Auslösesystem, Druckkörper für die Registriereinheit sowie Blitzgerät, Radiopeiler und Aluminiumflagge ist ein herkömmliches System, welches zunächst den äußeren Rahmen bildet. Dieses System wird vom Forschungsschiff abgesetzt, landet auf dem Meeresboden, wird nach Ablauf der Messungen durch das akustische Auslösesystem vom Ankerstein abgelöst und taucht wieder zur Meeresoberfläche hin auf, wo es vom Schiff aufgenommen wird. Das Registriergerät ist ein für hochfrequente Signale modifiziertes akustisches Aufnahme-System, welches drei Kanäle simultan und digital aufzeichnen kann. Die Daten werden dabei auf einer 1,2 Gbyte-Platte gespeichert. Diese läßt bei einer Signalfrequenz von 20 kHz insgesamt 60 Minuten Registrierzeit zu. Da aber meist im Ein/Aus-Mode gearbeitet wird, d.h. mit etwa 3 bis 10 sek Registrierzeit pro Minute, können etwa zwischen 10 und 20 Std. Registrierzeit erreicht werden. Die Datensicherung, Qualitätskontrolle und Reformatierung erfolgt über einen PC bzw. eine Workstation. Dieses Konzept basiert im wesentlichen auf erprobten Komponenten und wird zahlreiche geophysikalische Informationen liefern, die mit anderen Systemen in dieser Auflösung nicht zu erhalten sind. Auch werden die parallelen Untersuchungen von in-situ Messungen am Meeresboden und Sedimentkern-Logging im Labor zum Einsatz kommen. Bei allen Kernentnahmen und sedimentphysikalischen Messungen im Labor tritt das Problem auf, da zum einen deutliche Veränderungen durch die Kernentnahme selbst und zum anderen durch die Druckentlastung im Sediment auftreten. Die vergleichenden Untersuchungen sind daher von wesentlicher Bedeutung für das Erstellen von in-situ Modellen, welche die sedimentphysikalischen und geoakustischen Veränderungen im Sedimentationsraum der oberen Zehnermeter widerspiegeln sollen. Hierfür werden physikalische Parameter wie Wellengeschwindigkeit, elektrische Leitfähigkeit, magnetische Suszeptibilität, Porenraum und Feuchtraumgewicht kontinuierlich (cm-Bereich) gemessen. Diese Parameter sind wiederum abhängig von den sedimentologischen Parametern (z.B. Korngrößenverteilung), deren Veränderungen die Arbeitsgruppe im Teilprojekt A2 untersuchen.

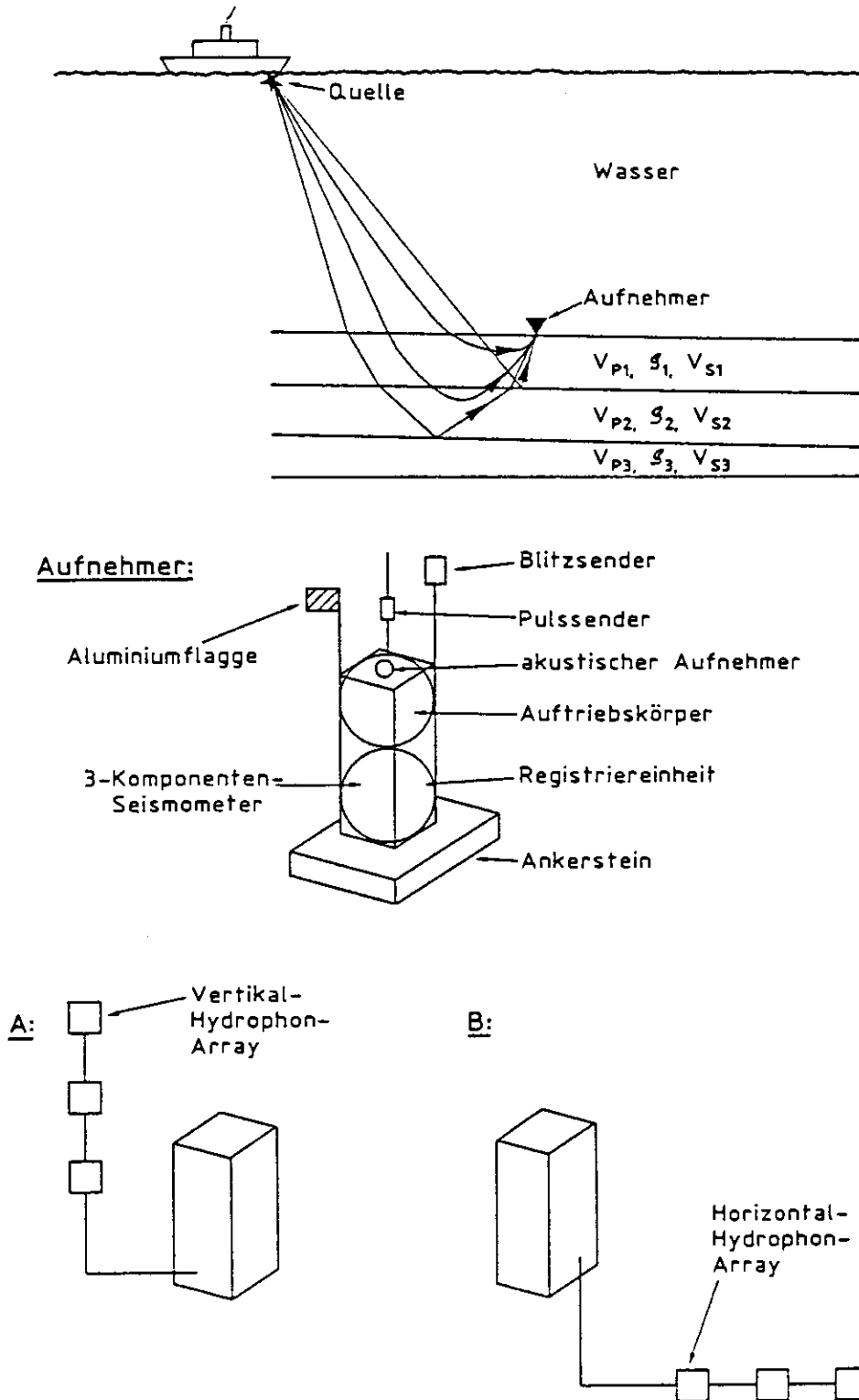


Abb. 21: Schematische Darstellung der Meeresbodenplattform zur akustischen 3-D-Erfassung oberflächennaher Sedimentstrukturen.

Profilfahrten mit geschleppten-Systemen von Seitensichtsonar und Sedimentecholot ("GLORIA", "SeaMARC II") und festinstallierten akustischen Systemen (Parasound, 3,5 kHz, Hydrosweep) sollen die sedimentologischen und morphologischen Änderungen des Meeresbodens weiträumig erfassen (in ca. 10 km breiten Profilbahnen). Das auf den Forschungsschiffen "Meteor" und "Polarstern" installierte Parasound erweitert die bislang gebräuchliche 3,5 kHz Anlage zur akustischen Erfassung oberflächennaher (<100 m) Sedimentstrukturen. Diese neue Anlage ermöglicht eine digitale Registrierung der akustischen Signale und bildet damit eine wesentliche Voraussetzung für die Analyse der im akustischen Signal gespeicherten sedimentphysikalischen Informationsgehalte. Die für die digitale Registrierung auf Forschungsschiffen notwendige Hard- und Software (Entwicklung und Erprobung Arbeitsgruppe Prof. Dr. Bleil, Universität Bremen) wird noch in diesem Jahr (1990) auf den Forschungsschiffen "Meteor" und "Polarstern" installiert. Eine hochfrequente Signalverarbeitung fehlt hingegen und erfordert jetzt einen weiten technologischen Schritt nach vorn. Diese geophysikalisch bedeutende Entwicklung wird mit dem vorhandenen Hochleistungs-Rechnersystem CONVEX 210 jetzt möglich sein. Für die Durchführung ist allerdings ein Umstieg von nieder- auf hochfrequente Signalverarbeitung und damit eine Anpassung der bereits vorhandenen Software notwendig. Generell sollen die seismischen Prozessing-Verfahren im Bereich der CONVEX-Anlage und die sedimentphysikalischen Untersuchungen in mobilen Containersystemen in unmittelbarer Zusammenarbeit mit dem Institut für Geophysik an der Universität Kiel (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Meißner und Dr. Theilen) durchgeführt werden.

Digitales seismisches Prozessieren kann die Interpretation von den mit multiplen Reflexionen und Streuungen der Energie beeinträchtigten Sedimentecholotsignalen verbessern. Dem liegt die Vorstellung zugrunde, daß der Meeresboden wie ein Frequenzfilter auf das akustische Signal wirkt, das ihn durchläuft und das von einzelnen Schichten zur Meeresoberfläche reflektiert wird. Das empfangene Signal wird als Abfolge von Filterprozessen auf ein definiertes, ungefiltertes Ausgangssignal hin betrachtet. Ziel des seismischen Prozessierens mit Inversionsverfahren ist die Bestimmung des Filters oder der Impedanzunterschiede und Reflektionskoeffizienten von Sedimentschichten. Hier ermöglichen vor allem digitale Filter eine Verbesserung der zeitlichen Auflösung eines Signals.

Mit Dekonvolutionsfiltern wird ein Signal auf Wiederholungen hin untersucht, um diese aus dem Signal herauszurechnen. Bei Kenntnis der Filtercharakteristika von Quellsignal und Empfänger können diese mit inversen Filtern aus dem Signal entfernt werden. Mit zeitabhängigen Frequenzfiltern kann das unerwünschte Rauschen unterdrückt werden. Mit Migrationsverfahren, d.h. dem Verknüpfen des Schiffsortes mit gemessenen Sedimentecholotaufzeichnungen und der Interpolation auf ein gleichmäßiges Raster, können erhebliche laterale Auflösungsverbesserungen erzielt werden. Allerdings sollten hierzu detaillierte Geschwindigkeitsinformationen aus in-situ Messungen vorliegen. Zur stratigraphisch-lithologischen Interpretation dienen zunächst als Maß die Schallhärte und Impedanz, die auf der Reflektivität und der



Momentanphase und Momentanfrequenz beruhen. Auf der COMSEIS-Workstation können diese Informationen berechnet und räumlich vernetzt für das regionale Untersuchungsgebiet dargestellt werden. Folgende seismische Software ist im GEOMAR-Prozessing verfügbar: GEOSYS (Prakla Seismos AG), das umfassende seismische Prozessing Programm COMSEIS und die Interpretations-Software (Prakla Seismos AG).

Die Modellation akustischer Signale mit Hilfe synthetischer Seismogramme geschieht auf der Basis von Dichte und Wellengeschwindigkeit. Damit wird es möglich, Reflektoren in seismischen Profilen mit den Änderungen in der Sedimentation, Lithologie, Erosion und Frühdiagenese exakt zu korrelieren.

Basierend auf der zeitlichen und geologischen Zuordnung von Reflektoren werden 3-D-Kartendarstellungen der Morphologie für ausgewählte Zeitscheiben mit Hilfe rechnergestützter Grafiksoftware bereitgestellt. Hierbei sollen besonders die Bereiche von Sedimentwellenfeldern und Sedimentdriften erfaßt werden, um die ozeanographischen Ereignisse im Europäischen Nordmeer zukünftig mit denen unter dem "Western Boundary Current" im Nordatlantik vergleichen und deuten zu können.

Da experimentelle Erfahrungen mit den unterschiedlichen Meßverfahren in der wissenschaftlichen Arbeitsgruppe der Grundausstattung vorhanden sind, kann mit einem zügigen Beginn der Arbeiten gerechnet werden. Der Zeitplan sieht die notwendige Entwicklung der apparativen Ausstattung (Logging, Meeresbodenplattform) im ersten Jahr vor, wobei eine Weiterentwicklung des Logging-Systems mit in situ Sensoren (die zur Zeit entwickelt und getestet werden) vom ersten bis ins dritte Antragsjahr reichen wird. Alle notwendigen apparativen Einrichtungen für das Prozessieren der Daten an Land sind bereits vorhanden. Die notwendige Erweiterung von analoger zu digitaler Datenspeicherung von Sedimentecholot-signalen auf Forschungsschiffen (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Bleil, Universität Bremen), wie z.B. Meteor und Polarstern, konnte bereits durch ein von der DFG gefördertes Projekt zum Aufbau der Hard- und Software durchgeführt werden.

Im ersten Antragsjahr sind, was das Prozessieren der akustischen Daten und die Beantwortung der Fragen nach den akustischen Sedimentstrukturen betrifft, erste Ergebnisse zu erwarten. Dafür sind Schiffsfahrten zur Datenaufnahme und Experimente am Meeresboden geplant. Weiterhin ist die Entwicklung des Kern-Logging Systems, das unter Einbeziehung der nationalen (KTB) und internationalen (ODP) Erfahrungen aufgebaut wird, vorgesehen. Wichtige Ergebnisse sollen auf nationalen und internationalen Tagungen vorgetragen und publiziert werden. Neben diesen Vorhaben ist die Beschaffung und Sichtung aller zur Zeit vorliegenden analogen, akustischen Aufnahmen von der Norwegischen See für eine erste Übersichtsarbeit geplant. Ein Großteil dieser Daten liegt bereits gesichtet im SFB 313 vor und kann rasch zusammengefaßt werden.

Im zweiten Antragsjahr sollen die geophysikalischen Ergebnisse aus dem Prozessing-Verfahren, aus den akustischen in-situ Messungen am Meeresboden und aus den Kernuntersuchungen in eine erste

Synthese münden. Weiterhin soll aufgrund der vorliegenden Ergebnisse eine detaillierte akustische und hochauflösende Erkundung mit GLORIA oder SeaMARC II in einem Transekt vom Mittelozeanischen Rücken zum Ostgrönländischen Kontinentalhang durchgeführt werden. Das Prozessing dieser digitalen Daten geschieht im Zentrum für Seitensicht-Sonar-Prozessing am Institute of Ocean Sciences (Wormley, U.K.). Da in Kiel zur Zeit weder ein einsatzfähiges tiefgeschlepptes noch ein vergleichbar weitreichendes Seitensicht-Sonar mit bathymetrischen Aufnahmemöglichkeiten existiert, sind diese geplanten Einsätze hochauflösender akustischer Systeme (es existieren nur vier auf der Welt) für unsere Untersuchungen in den Schlüsselregionen ozeanographischer Zirkulation im nördlichen Nordatlantik dringend erforderlich.

Im dritten Antragsjahr sollen die hochauflösenden Profilmfahrten noch verstärkt und unter Einbeziehung von Meeresbodenexperimenten, Sedimentecholotaufzeichnungen und weiteren Kernuntersuchungen akustisch geeicht und sedimentären Prozessen zugeordnet werden. Die zeitliche Einstufung von oberflächennahen Sedimentstrukturen erfolgt mit Hilfe einer Altersbestimmung durch Beschleunigermassenspektroskopie für die letzten 45.000 Jahre (in Zusammenarbeit mit dem Woods Hole Oceanographic Institution, USA). Das in den vorhergehenden Jahren aufgebaute Kern-Logging-Meßsystem soll mit geochemischen Sensoren erweitert werden. Im Rahmen der hier geplanten Entwicklung wird mit Hilfe einer gründlichen Vorarbeit ein Abschluß bis zur Jahresmitte angestrebt. Die wissenschaftlichen Arbeiten sollen mit drei geplanten Doktorarbeiten und zahlreichen Vorträgen und Publikationen bewertbar gemacht werden.

#### 9.6 Stellung innerhalb des Sonderforschungsbereiches

Das Teilprojekt B1 "Prozesse geophysikalischer Signalbildungen in Sedimentabfolgen" steht mit der Rekonstruktion der geophysikalischen Signalbildung, Paläomorphologie, Sedimenttransportbahnen und der daraus abzuleitenden Entwicklung der ozeanographischen Veränderlichkeit in Raum und Zeit in direkter Verbindung zu den sedimentologischen (A2), geochemischen (A4) und isotopenchemischen Teilprojekten (B2). Für ein Verständnis der geophysikalischen Signalbildungen und Veränderungen in der Tiefe ist ein Wissen über die Prozesse an der Meeresbodenoberfläche (A2) mit ihren vielfältigen Aspekten (A2 bis A4 und B3) von Bedeutung. Die Voraussetzung für eine gesicherte altersmäßige Zuordnung der Änderungen im Meeresboden wird gemeinsam mit C<sup>14</sup> Beschleuniger-massenspektroskopie-Alterbestimmungen für die letzten 45.000 Jahre und für ältere Sedimente mit bio- und isotopenstratigraphischen Analysen (B2, B3) erarbeitet. Die geophysikalischen Strukturen der Sedimentabfolgen im Meeresboden und ihre Variabilität sollen im wesentlichen mit drei Untersuchungsmethoden erfaßt werden: (1) den schallphysikalisch-magnetisch-elektrischen Sedimentkernanalysen im Labor, (2) den schallphysikalischen in-situ Messungen am Meeresboden und (3) den Fernerkundungen des Meeresbodens mit Sedimentecholot- und Seitensicht-Sonar-Analysen, wobei die mehr punktuellen Analysen an Kernen in einen größeren regionalen Rahmen gestellt werden.

## 10. TEILPROJEKT B2: Geschichte der Boden- und Oberflächenwassermassen

10.11 Fachgebiete und Arbeitsrichtung: Marine Geowissenschaften mit Paläontologie; Paläoökologie; radiometrische Altersbestimmungen und Physik leichter, stabiler Isotopen; Paläo-Ozeanographie und Paläoklimatologie.

## 10.12 Leiter:

Dr. A. Altenbach  
Geol.-Paläont. Inst.  
und Museum der Univ.  
Ludewig Meyn Str. 10  
2300 Kiel  
Tel.: (0431)880-2939

Prof. Dr. M. Sarnthein  
Geol.-Paläont. Ins  
und Museum der Univ.  
Ludewig Meyn Str. 10  
2300 Kiel  
Tel.: (0431)880-2851

## 10.13 Personal Anfang 1991

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
------------------------------------	-----------------------------	---	-------------------------

Grundausstattung: Wissenschaftler

1) Altenbach, A. Dr., Hochschul- ass.	Paläontologie GPI	10	7/85
2) Botz, R. Dr., wiss. Ang.	Geochemie GPI	beratend	3/87
3) Erlenkeuser, H. Dr., wiss. Ang.	Kernphysik IfK	8	7/85
4) Graf, G. Dr., Priv. Doz., Oberass.	Benthosökologie IfM	beratend	7/85
5) Haake, F. Dr., wiss. Ang.	Paläontologie GPI	15	7/85
6) Henrich, R. Dr., Hochschul- ass.	Sedimentologie GEOMAR	beratend	7/85
7) Kassens, H. Dr., wiss. Ang.	Akustostratigr. GEOMAR	beratend	12/85
8) Lange, H. Dr., wiss. Ang.	Tonmineralogie GPI	beratend	7/85
9) Lutze, G.-F. Dr., Prof.	Paläontologie GPI	beratend	7/85
10) Pflaumann, U. Dr., wiss. Ang.	Paläontologie GPI	beratend	7/85

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
11) Samtleben, C. Dr., wiss. Ang.	Paläontologie GPI	beratend	7/85
12) Sarntheim, M. Dr., Prof.	Paläo-Ozeanogr. GPI	10	7/85
13) Schäfer, P. Dr., Prof.	Paläontologie GPI	beratend	2/89
14) Thiede, J. Dr., Prof.	Paläo-Ozeanolog. GEOMAR	15	7/85
15) Willkomm, H. Dr., Prof.,	Kernphysik IfK	5	7/85
<u>Grundausstattung: nichtwiss. Mitarbeiter</u>			
16) Cordt, H. Techniker	IfK	10	7/85
17) Gumz, M. chem. Ass.	IfK	15	7/85
18) Metzner, H. Dipl. Ing.	IfK	10	
19) Mühlhan, N. techn. Ang.	GPI	10	7/85
20) Rehder, W. techn. Ang.	GPI	10	7/85
21) Reimers, W. techn. Ang.	GPI	10	7/85
22) Runze, O. techn. Ang.	GEOMAR	10	7/85
<u>Ergänzungsausstattung: Wissenschaftler</u>			
23) Hahn, M. Dipl. Geol. Doktorandin	Sedimentologie GPI	19,25	7/89
24) Locker, S. Dr., wiss. Ang.	Paläontologie GPI	38,5	7/88
25) Nees, S. Dipl. Geol., Doktorand	Paläontologie GEOMAR	19,25	6/90
26) Struck, U. Dipl. Geol., Doktorand	Paläontologie GEOMAR	19,25	1/89
<u>Ergänzungsausstattung: nichtwiss. Mitarbeiter</u>			
27) Brevern, B. v. techn. Ang.	SFB 313	19,25	11/85
28) Stahlberg, M. techn. Ang.	SFB 313	19,25	7/85
29) Tomanetz, B. techn. Ang.	SFB 313	38,5	7/89

## 10.2 Zusammenfassung

### Geschichte der Oberflächen- und Bodenwassermassen

Der methodische Ansatz der geplanten Untersuchungen wird Zeitscheiben (eine regionale Abdeckung des gesamten Europäischen Nordmeeres wird zusammen mit den Kollegen/-innen aus Bergen im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen POC und SFB 313 und unter PONAM angestrebt) und Zeitreihen umfassen. Bei den letzteren sollen vor allem hochauflösende Sedimentabfolgen aus den vier ausgewählten Kerngebieten (Vøring-Plateau, Barentssee-fächer, Scoresbysundfächer, Rockall-Plateau) aufgesucht werden. Dabei werden die Untersuchungen auf die letzteren 300-400 ky beschränkt. Die Zeitscheiben, die anhand einer Reihe sorgfältig ausgewählter stratigraphischer Schlüsselkerne bestimmt werden müssen, werden klimatische und ozeanographische Extreme und einige Übergangsstadien umfassen, z.B. 0, 3.000, 6.000, 9.000, 10.500, 13.700, 15.000, 18.000, 26.000, 55.000, 65.000, 80.000, 122.000, 128.000, 131.000, 135.000 und 193.000 Jahre v.h. etc. Die Zeitreihenstudien sollen maximal die letzten 350.000 Jahre, d.h., die letzten drei großen Eiszeitzyklen spektralanalytisch erfassen.

Die paläo-ozeanographischen Untersuchungen werden, aufbauend auf den Erkenntnissen der Sedimentologie und der mikropaläontologischen und isotopischen Verteilungsmuster als Abbild der Dynamik und Produktivität der Wassermassen im Nordmeer (Teilprojekte A1 und A4), innerhalb der gewählten Zeitscheiben konzentriert und mit den Kollegen aus den Teilprojekten A3 (horizontaler und vertikaler Partikelfluß als Basis der Benthos-Zonierung) und A2/B1 (Sedimentationsregime in Kalt- und Warmzeiten) abgestimmt und auf wichtige Ergebnisse aus der Untersuchung rezenter Faunengruppierungen und Sedimentationsverteilungen ausgerichtet.

Als methodisches Inventar steht eine Vielzahl von Ansätzen zur Verfügung, die quantifizierte ozeanographische Parameter liefern (eine sorgfältige Abstimmung wird mit den Arbeiten des TP B3 erfolgen, das hauptsächlich der Paläo-Ökologie nachgeht).

Diese Arbeiten bilden gemeinsam mit den bisherigen Ergebnissen zur langfristigen Veränderlichkeit und zum Wechsel von glazialen und interglazialen Intervallen die Grundlage für detaillierte Kartendarstellungen der wichtigsten sedimentologischen und paläontologischen Verteilungen im gesamten Europäischen Nordmeer während der ausgewählten Zeitscheiben. Diese Kartenabfolge soll die grundsätzlichen paläo-ozeanographischen Entwicklungen im nördlichen Nordatlantik, insbesondere die Verlagerung der Klimazonen und die Dynamik der Wassermassen widerspiegeln.

Die Geschichte der Oberflächen- und Bodenwassermassen des Europäischen Nordmeeres wird in den kommenden Kapiteln in drei methodische Ansätze zerlegt werden.

1. wird versucht, die Veränderlichkeit der wichtigsten Elemente der Oberflächen- und Bodenwassermassen im Rahmen von Zeitserienuntersuchungen für die letzten 300.000 bis 400.000 Jahre an vier ausgewählten Kerngebieten darzustellen (Vøring-Plateau, Barentseefächer, Scoresbysundfächer, Rockall-Plateau).
2. sollen synoptische Rekonstruktionen ausgewählter Zeitscheiben für das gesamte Europäische Nordmeer erstellt werden. Die Auswahl der Zeitscheiben ist im Kapitel 3.5 im Detail begründet.
3. werden wir versuchen, Proxydaten im Detail zu diskutieren, die es erlauben, quantitative Aussagen über den Zustand der Oberflächenwassermassen, die Wasserkörperschichtung und die Bodenwassermassen zu machen. Die folgenden Kapitel sind entsprechend diesen drei Punkten gegliedert.

### 10.3 Stand der Forschung

Die Erforschung der paläo-ozeanographischen Geschichte des Europäischen Nordmeeres hat in den vergangenen drei Jahren große Fortschritte erzielt. Dieses Gebiet rückt zunehmend in das Zentrum der wissenschaftlichen Diskussion zahlreicher Forschergruppen (aus den USA, Norwegen, England, Frankreich, den skandinavischen Ländern und Deutschland), weil es eine so bedeutende Stellung für das Verständnis der spätquaternären Geschichte des gesamten Weltmeeres einnimmt. Der SFB 313 hat an diesen Arbeiten Teil, weil es gelungen ist, sehr wichtige Beiträge zur Datierung der Ablagerungen und zur Quantifizierung der durch die Paläo-Ozeanographie gesteuerten Ablagerungsgeschichte zu machen. Grundzüge dieser Geschichte waren seit den Arbeiten des CLIMAP-Projektes (CLIMAP 1976, 1981), der Arbeiten von Holstedahl (1959) und von Kellogg (1976, 1980) bekannt. In den vergangenen drei Jahren sind beträchtliche Erweiterungen unseres Kenntnisstandes erreicht worden hinsichtlich der Möglichkeiten der Datierungen (Zeitserien/Zeitscheiben) und der verschiedenen Umweltparameter, die es erlauben, die Geschichte der Oberflächen- und Bodenwassermassen anzusprechen.

Im subarktischen und arktischen Bereich des Nordatlantik entsteht ein wesentlicher Anteil der globalen Tiefen- und Bodenwassermassen. Dichtes und sauerstoffreiches Oberflächenwasser aus dem Atlantik fließt in das Europäische Nordmeer ein. Diese warmen Wasserkörper kühlen hier ab; dabei bilden sich scharfe ozeanische Fronten, und die Exportwärme nimmt Einfluß auf die Eisrandlagen und das Klima des nordwesteuropäischen Kontinents. Die abkühlenden Wassermassen sinken in größere Wassertiefen und überwinden, gemeinsam mit von Norden zufließenden Tiefenwassermassen aus der Arktis (Aagaard et al. 1985) den Grönland-Schottland-Rücken. Das resultierende Nordatlantische Tiefenwasser (NADW) ist heute einer der wichtigsten Faktoren der globalen Entwicklung von Klima und marinem Stoffaustausch. Dieses dynamische System aus Import und Export von Materie und Energie ist wenig stabil und anfällig. Veränderungen der Quantität und Zusammensetzung dieses Wasserkörpers wirken sich massiv auf den globa-

len Fluß von Wärme, Sauerstoff, Kohlendioxyd und Nährstoffen aus (Duplessy et al. 1988). Selbst geringe Verschiebungen hatten in historischer Zeit merklichen Einfluß auf das Klima und die Lebensbedingungen in Europa (Grove 1988).

Je weniger warme Oberflächenwässer in das Europäische Nordmeer einfließen, um so weniger Wärme wird in den arktisch/subarktischen Atlantik transportiert. Gleichzeitig sinkt die Bildung von NADW, und die Eisrandlagen wandern nach Süden, was wiederum auf die Zirkulationsmuster der zufließenden Oberflächenwässer verändernd und behindernd einwirkt. Diese Rückkopplung macht das System anfällig für alle globalen und lokalen Entwicklungen, die in einer Veränderung der Strömungsmuster im Europäischen Nordmeer resultieren können und äußert sich selbst wieder im zeitlichen Ablauf der Klimaveränderung unseres Planeten (Boyle 1988, Mix and Pisias 1988).

Obwohl die Grundzüge der Paläo-Ozeanographie des Europäischen Nordmeers von den frühen Untersuchungen am DSDP-Leg 38 bis zu den hochauflösenden und gut datierten Resultaten des ODP-Legs 104 (Eldholm et al. 1989, Thiede et al. 1989) mit einer Vielzahl von Untersuchungen immer besser aufgeschlüsselt werden konnten, werden genaue Angaben zur Art, Geschwindigkeit und Dauer der einsetzenden Veränderungen noch immer diskutiert (Berger und Vincent 1986). Für eine räumlich/zeitliche Rekonstruktion der Prozesse, die für Klimaänderungen verantwortlich sind, fehlen noch immer Daten aus dem Nordwestteil der Grönländischen See. Oft konzentrieren sich die Untersuchungen auf einzelne Teilaspekte, wie mikropaläontologische Verteilungsmuster, Änderungen der Isotopenverhältnisse oder sedimentologische Abläufe und diskutieren sie oft in weitem Rahmen. Die Rückkopplung des Zirkulationssystemes und die Einflüsse lokaler Tendenzen, wie der Verlagerung der Eisränder, erhöhter Zufuhr von Schmelzwasser oder terrigener Sedimentlast werden im Einzelfall beobachtet, können aber kaum auf ihre stabilisierende oder beschleunigende Wirkung auf die Gesamtentwicklung abgeschätzt werden.

#### Datierung von Sedimentkernen aus dem nördlichsten Nordatlantik

Seit den Arbeiten von Høglund (1959), der sich noch mit einer rein litho- und biostratigraphischen Korrelation begnügen mußte, sind große Fortschritte erzielt worden, um Sedimentkerne im Detail quantitativ zu datieren. Dazu sind eine Reihe von wichtigen neuen methodischen Entwicklungen gelungen. Heute kann die Radiokohlenstoff-Methode routinemäßig, bei Zugang zu den entsprechenden Laboratorien auch mit Hilfe der AMS-Technik eingesetzt werden. Die Aminosäurestratigraphie ist neu entwickelt worden. Die Magnetostratigraphie hat bei Datierungen längerer Kerne bedeutende Fortschritte erzielt. Die pelagische Biochronologie ist soweit verfeinert worden, daß sie eine genaue Auflösung von zahlreichen stratigraphischen Leithorizonten erlaubt. Eine Zusammenstellung der wichtigsten methodischen Fortschritte und der daraus resultierenden Nomenklatur für Substadien der Sauerstoffisotopenstratigraphie ist in Martinson et al. (1987)

zu finden. Wichtige methodische Ansätze sind vor allem auch von den französischen Arbeitsgruppen in Gif-Sur-Yvette (Duplessy et al. 1988) erzielt worden.

So vielversprechend die Fortschritte der zeitlichen Festlegung von Zeitserien im Europäischen Nordmeer waren, so wenige Fortschritte sind jedoch bei der Rekonstruktion synoptischer Zeitscheiben erzielt worden, die das gesamte Europäische Nordmeer erfassen. Die einzigen Arbeiten, die versucht haben, das gesamte Europäische Nordmeer mit Karten verschiedener Zeitabschnitte (aber in einem sehr groben Raster) zu erfassen, sind die Rekonstruktionen von Kellogg (z.B. Kellogg 1980), die hauptsächlich anhand von planktischen Foraminiferen entwickelt worden sind. Für das Gebiet der Islandsee sind in neuester Zeit auch Fortschritte anhand von Diatomeen erzielt worden (Karpuz 1989), die sich jedoch auf die allerjüngsten Zeitabschnitte beschränken. Über die Fortschritte der eigenen Arbeitsgruppen wird unter Kapitel 10.4 berichtet.

#### Oberflächenwassermassen

Es ist seit langem bekannt, daß die Oberflächenwassermassen des Europäischen Nordmeeres und des angrenzenden Nordatlantiks dramatische Veränderungen im Zuge der jüngsten klimatischen Geschichte der nördlichen Hemisphäre erfahren haben (CLIMAP 1981). Versuche, diese Veränderungen quantitativ zu erfassen und diese Versuche auf das Europäische Nordmeer zu übertragen, sind jedoch bisher nur anhand von planktischen Foraminiferen und Diatomeen (Kellogg 1980, Karpuz 1989) in sehr beschränktem Maße erfolgreich gewesen. Die Datierung der Isotopenverhältnisse im Schalenmaterial planktischer Foraminiferen (Duplessy et al. 1988), die Verteilung von verschiedenen Mikrofossilgruppen, z.B. Coccolithen (Ruddiman and McIntyre 1976) und planktische Foraminiferen (Kellogg 1980, Spiegler und Jansen 1989) bedeuten wichtige Fortschritte in unserem Verständnis der Ablagerungsbedingungen und der zeitlichen Abfolge verschiedener paläo-ozeanographischer Events im Europäischen Nordmeer.

Diatomeen sind immer wieder als stratigraphische Hilfsmittel untersucht worden, haben jedoch ein Vorkommensmuster, das sehr unregelmäßig und stratigraphisch außerordentlich diskontinuierlich ist (Stabell 1986). Erst in jüngster Zeit sind Untersuchungen zu den Verteilungsmustern von Diatomeen, die vor einigen Jahren bereits von H. Schrader aufgegriffen worden waren, durch Karpuz (1989) weitergeführt worden.

Radiolarien sind vom Ende des vorigen Jahrhunderts bis in die zwanziger Jahre dieses Jahrhunderts relativ intensiv im Plankton des östlichen Europäischen Nordmeeres untersucht worden; diese Untersuchungen wurden nach einer langen Unterbrechung erst wieder in den siebziger Jahren aufgenommen (Borgert 1901, Popofsky 1905/1905, Schröder 1909/1929, 1911, Björklund 1974, Swanberg und Björklund 1986). Eine Analyse der Literatur ergibt, daß im gesamten Europäischen Nordmeer bisher ca. 90 Radiolarien-Arten



mit einem Opal-Skelett gefunden wurden (ca. 30 Spumellarien, ca. 40 Nassellarien und ca. 20 Phaeodarien). Dazu kommen noch ca. 15 Acantharien-Arten, die wegen ihres Skeletts aus Strontiumsulfat fossil nicht erhaltungsfähig sind.

Aufgrund ihrer ökologischen Präferenzen (Hülsemann 1963, Kruglikova 1989) erreichen die Opalskelett-tragenden Radiolarien ihre höchsten Arten- und Individuendichten im Einflußbereich der warmen Oberflächenwassermassen des Norwegen- und Irmingerstroms (Literatur siehe oben). Diese Verhältnisse werden deutlich in den Bodensedimenten wiedergespiegelt: Die höchsten Individuendichten finden sich unterhalb des Norwegenstroms und auf dem Island-Plateau (Petrushevskaya und Björklund 1974, Goll und Björklund 1985). In beiden Gebieten treten die Radiolarien nach ihrem Einsetzen im frühen Postglazial kontinuierlich durch das gesamte Holozän auf (Aarsetz et al. 1975, Jansen und Björklund 1985, eigene Vorarbeiten). Dieses kontinuierliche Vorkommen in jungen Sedimenten wird kontrastiert durch sporadische Nachweise in älteren Sedimenten des Quartärs (Björklund 1976, Goll und Björklund 1989).

Das Vorkommen von Eis ist eine der wichtigsten Eigenschaften der Oberflächenwassermassen. Es kann anhand des Vorkommens von eis-transportiertem Material leicht rekonstruiert werden, während solches Material über den Typ des transportierenden Eises Aussagen nur unter Schwierigkeiten erlaubt. Während Untersuchungen des Vorkommens eistransportierten Materials anhand von einzelnen Sedimentkernen immer wieder vorgenommen worden sind (Ramm 1989), gibt es bisher keine flächendeckende Analyse der Verteilungsmuster eistransportierten Materials im Europäischen Nordmeer (s.u.). In jüngster Zeit sind jedoch beträchtliche Fortschritte in der Kenntnis der stratigraphischen Verteilungsmuster eistransportierten Materials in den Bohrungen des ODP-Leg 104 (Vøring-Plateau) erzielt worden (Henrich et al. 1989). Die wichtigsten Ergebnisse sind aus den regionalen Unterschieden der Zusammensetzung der eistransportierten Komponenten, die auf regional schnell wechselnde Herkunftsgebiete schließen lassen, und aus der zeitlichen Verteilung dieses Materials gezogen worden, die auf den Beginn eines glazialen Ablagerungsmilieus im Europäischen Nordmeer nahe der Grenze mittleres/oberes Miozän schließen lassen.

#### Bodenwassermassen und Schichtung der Wassersäule

Eigenschaften der Bodenwassermassen können vor allem durch die Benthos-Foraminiferen erfaßt werden. Neben den benthischen Foraminiferen liefert aber auch die im Sediment gebundene organische Substanz wichtige Aussagen über die Eigenschaften der Bodenwassermassen. Da wir im Europäischen Nordmeer ein morphologisch intensiv gegliedertes Seegebiet untersuchen, können durch Beprobungen der Hänge von Seamounts und Kontinentalrändern auch flachere Teile der geschichteten Wassersäule erfaßt werden. Dieses ist bisher gezielt durch die Beprobungsstrategie verfolgt

worden und wird uns erlauben, neben Rekonstruktionen von Zeitserien und Zeitscheiben der Oberflächenwassermassen die Bodengewässermassen und die Schichtung der Wassersäule zu beschreiben. Bei der Bearbeitung der Benthos-Foraminiferen wurde ein Bruch in der Rekonstruktion der Paläo-Ozeanographie des Europäischen Nordmeeres schon früh bemerkt. Die nachweisbaren Änderungen der Faunenzusammensetzungen zwischen Glazial- und Interglazialzeiten betrafen nur einzelne, weltweit verbreitete Arten (in erster Linie *Cibicidoides wuellerstorfi*, mit *Oridorsalis uumbonatus*, *Epistominella exigua* und *Pullenia bulloides*). Deren heutige Lebensräume umfassen zum Teil größere Schwankungen der Umweltparameter, als sie für die lokalen Änderungen in der Norwegisch-Grönländischen Tiefsee während der Klimaänderungen angenommen werden können (Sen Gupta 1984, Belanger und Streeter 1980). Es muß als eine der wesentlichen Leistungen der Mikropaläontologen in der Lamont CLIMAP-Arbeitsgruppe gewertet werden, daß sie die frühen statischen Modelle paläo-ökologischer Rekonstruktionen, die vorwiegend auf linearen Abhängigkeiten von Druck, Temperatur und Sauerstoffgehalt basierten, weitgehend verwarfen; auch unter dem Aspekt, daß damit die Grundlage vorangegangener Arbeiten und auch eigenen Untersuchungen relativiert wurden. Streeter et al. (1982) schließen ihre umfassende Studie zur Reaktion der Benthos-Foraminiferen auf die jüngeren paläo-ozeanographischen Veränderungen mit dem Satz: "It would seem, therefore, that benthic foraminiferal faunas in the Norwegian Sea are more responsive to seasurface conditions and surface circulation and productivity than to changes in the deep water, and that they may be used to decipher the three-dimensional circulation of the Norwegian-Greenland Sea only insofar as the patterns of the deep circulation may be inferred from knowledge of the surface of the sea." In der folgenden Literatur wurde allgemein darauf verwiesen, daß ohne genauere Kenntnis der Autökologie der betreffenden Arten eine grundlegende Interpretation der bekannten und mit Sicherheit klimaparallel verlaufenden Faunenverschiebungen kaum möglich ist.

Die im Sediment abgelagerte organische Substanz hat als Deponie für CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre in letzter Zeit verstärkt die Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Aus den Sedimentationsraten und dem Gehalt der Sedimente an organischem Kohlenstoff wird der Fluß des dem Kreislauf entzogenen Kohlenstoffs ermittelt und die Bedeutung dieser CO<sub>2</sub>-Fixierung für die Klimaentwicklung in der Vergangenheit untersucht. Bei genauerer Analyse nach geochemischen, organisch-petrologischen und -isotopischen Kriterien zeigt sich aber, daß die organische Substanz im Sediment nicht zur Gänze unmittelbar aus der Wassersäule stammt, sondern zu großen Teilen umgelagert ist und sehr unterschiedlicher Herkunft sein kann. Der Anteil der allochthonen Fraktion wird u.a. von dem übergeordneten globalen klimatischen Rahmen wesentlich mitbestimmt und hängt im einzelnen noch einmal von den regionalen Gegebenheiten des betreffenden Sedimentationsraumes wie Bodentopographie, Bodenströmung und Ozeanographie der Deckschicht ab.

Das  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis des gelösten anorganischen Kohlenstoffs (dissolved inorganic carbon = DIC, im wesentlichen das Bikarbonat) im ozeanischen Tiefenwasser und in den daraus kalzifizierenden Foraminiferen verändert sich mit dem Anteil des isotopisch leichteren, d.h.  $^{13}\text{C}$ -ärmeren  $\text{CO}_2$  aus dem Abbau organischer Substanz. Paläo-ozeanographisch werden die langzeitlichen Veränderungen des  $^{13}\text{C}$  bestimmter benthischer Foraminiferenarten im wesentlichen als Veränderungen der abyssalen Ventilationsrate gedeutet. Durch Akkumulation des organogenen  $\text{CO}_2$  entlang eines Stromfadens des Bodenwassers wird das  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis im DIC zunehmend leichter, umso mehr, je langsamer die Wasserbewegung ist. Damit hängt aber der Anteil organogenen  $\text{CO}_2$  im DIC auch vom Wegintegral der Quellstärke (Erzeugungsrate) des organogenen  $\text{CO}_2$  ab. Dazu liefert das absinkende Oberflächenwasser den abyssalen  $^{13}\text{C}$ -Anfangswert, der damit vom Kohlenstoffhaushalt und somit von den ozeanographischen und produktionsbiologischen Prozessen der euphotischen Zone geprägt wird. Die Untersuchung dieser Beziehungen in dem für die globale Tiefenwasserbildung so wichtigen Europäischen Nordmeer steht aus, wenn man von wenigen GEOSEX-Profilen aus der Grönlandsee absieht. Insbesondere fehlen Untersuchungen zur Auswirkung der saisonalen Interferenz von Bodenströmung, über mögliche Winterwasserbildung, Zufuhr abbaubaren organischen Detritus aus der planktischen Produktion zum Boden und über die Auswirkung des Kalzifizierungszeitplans der benthischen Foraminiferen auf das  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis der Schalen.

#### Literatur:

- Aargard, K., Swift, J. and Carmack, E. (1985): Thermohaline circulation in the Arctic mediterranean seas. - J. Geophys. Res., 90, 4833-4846.
- Aarseth, I., Bjerkli, K., Björklund, K.R. et al. (1975): Late Quaternary sediments from Korsfjorden, western Norway. - Sarsia, 58, 43-66.
- Belanger, P.E. and Streeter, S.S. (1980): Distribution and ecology of benthic foraminifera in the Norwegian-Greenland Sea. - Mar. Micropal., 5(4), 401-428.
- Berger, W.H. and Vincent, E. (1986): Sporadic shutdown of North Atlantic deep water production during the Glacial-Holocene transition?. - Nature, 324, 53-55.
- Björklund, K.R. (1974): The seasonal occurrence and depth zonation of radiolarians in Korsfjorden, western Norway. - Sarsia, 56, 13-42.
- (1976): Radiolaria from the Norwegian Sea, Leg 38 of the Deep Sea Drilling Project. - Init. Rep. DSDP, 38, 1101-1168.
- Borgert, A. (1901): Die nordischen Tripyleen-Arten. - In: Brandt, K. (Ed.), Nordisches Plankton, 7, 1-52.
- Boyle, E.A. (1988): Vertical ocean nutrient fractionation and glacial/interglacial  $\text{CO}_2$  cycles. - Nature, 331, 55-56.
- CLIMAP (1976): The surface of the ice-age earth. - Science, 191, 1131-1137.
- (1981): Maps of northern and southern hemisphere continental ice, sea ice and sea surface temperatures in august for the modern and the last glacial maximum. - Geol. Soc. Amer., Map and Chart Ser., MC-36.

- Duplessy, J.-C., Shackleton, N.J., Fairbanks, R.G., Labeyrie, L., Oppo, O. and Kallel, N. (1988): Deepwater source variations during the last climatic cycle and their impact on the global deepwater circulation. - *Paleoceanography*, 3, 343-360.
- Eldholm, O.J., Thiede, J., Taylor, E. et al. (1989): Norwegian Sea.- Proc. Ocean Drill. Progr., Sci. Res., 104B, 1141 p.
- Goll, R.M. and Björklund, K.R. (1985): *Nephropsyris knutheieri* sp. nov., an extant trissocyclid radiolarian (Polycystinea: Nasselaria) from the Norwegian-Greenland Sea. - *Sarsia*, 70; 103-118.
- Grove, J. (1988): *The Little Ice Age*. - Methuen & Co., London.
- Henrich, R., (1989): Glacial/Interglacial cycles in the Norwegian Sea: sedimentology, paleoceanography, and evolution of Late Pliocene to Quaternary northern hemisphere climate. - Proc. Ocean Drill. Progr., Sci. Res., 104B, 189-247.
- Henrich, R., Wolf, T., Bohrmann G. and Thiede, J. (1989): Cenozoic paleoclimatic and paleoceanographic changes in the northern hemisphere revealed by variability of coarse fraction composition in the sediments from the Vöring Plateau, ODP Leg 104 drill sites. - Proc. Ocean Drill. Progr., Sci. Res. 104B, 75-188.
- Holtedahl, H. (1959): Geology and paleontology of Norwegian Sea bottom cores. *J. Sedim. Petrol.*, 29, 16-29.
- Hülsemann, K. (1963): Radiolaria in plankton from the Arctic Drifting Station T-3, including the description of three new species. - *Techn. Pap. N. Am. Arct. Inst.*, 13, 1-52.
- Jansen, E. and Björklund, K.R. (1985): Surface ocean circulation in the Norwegian Sea 15 000 B.P. to present. - *Boreas*, 14, 243-257.
- Karpuz, N.K. (1989): Surface sediment diatom distribution and Holocene paleotemperature variations in the GIN sea. - cand. scient. thesis, Univ. Bergen, Geol. Inst., Norway, 199p.
- Kellog, T.B. (1976): Late Quaternary climatic changes: Evidence from the deep-sea cores of Norwegian and Greenland Seas. - *Geol. Soc. Amer. Mem.*, 145, 77-110.
- Kellog, T.B. (1980): Paleoclimatology and paleo-oceanography of the Norwegian and Greenland Seas: glacial-interglacial contrasts. - *Boreas*, 9, 115-137.
- Kruglikova, S.B. (1989): Arctic Ocean Radiolarians. - In: Herman, Y. (Ed.): *The Arctic Seas*, p. 461-480.
- Martinson, D.G., Pisias, N.G., Hays, J.D., Imbrie, J., Moore, T.E. and Shackleton, N.J. (1987): Age dating and the orbital theory of the ice ages: development of a high resolution 0 to 300 000 years chronostratigraphy. - *Quatern. Res.*, 27, 1-29.
- Mix, A.C. and Pisias, N.G. (1988): Oxygen isotopes and deep sea temperature changes: Implications for rates of oceanic mixing. - *Nature*, 331, 249-251.
- Petrushevskaya, M.G. and Björklund, K.R. (1974): Radiolarians in Holocene sediments of the Norwegian-Greenland Seas. - *Sarsia*, 57, 33-46.
- Popofsky, A. (1905): Die nordischen Acantharien. Teil 1: Acanthometriden. - In: Brandt, K. (Hrsg.), *Nordisches Plankton*, 7, 43-69.
- (1905)(1905): Die nordischen Acantharien. Teil 2: Acanthophracten. - In: Brandt, K. (Hrsg.), *Nordisches Plankton*, 7, 71-90.

- Ramm, M. (1989): Late Quarternary carbonate sedimentation and paleoceanography in the eastern Norwegian Sea. - *Boreas*, 18, 255-272.
- Ruddiman, W.F. and McIntyre, A. (1976): Northeastern Atlantic paleoclimatic changes over the past 600 000 years. - *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 145, 111-146.
- Schröder, O. (1909): Die nordischen Spumellarien. Teil 2: Unterlegion Sphaerellaria. - In: Brandt, K. (Hrsg.): *Nordisches Plankton*, 7, 1-6.
- (1911): Die nordischen Nasselarieren. - In: Brandt, K. (Hrsg.): *Nordisches Plankton*, 7, 67-146.
- (1929): Die nordischen Spumellarien. Teil 2: Unterlegion Sphaerocollida. - In: Brandt, K. (Hrsg.): *Nordisches Plankton*, 7, 91-120.
- Sen Gupta, B.K. (1984): Late Quarternary behtic foraminifera of the southern Norwegian Sea. - In: Oertli, H.J. (ed.): *Benthos '83; 2nd Int. Symp. on Benthic Foraminifera* (Pau, April 1983). - *Elf Aquitaine, Esso REP. and Total CFP, Pau and Bordeaux*, p. 551-555.
- Spiegler, D. and Jansen, E. (1989): Planktonic foraminifer biostratigraphy of Norwegian Sea sediments: ODP Leg 104. - *Proc. Ocean Drill. Progr., Sci. Res.*, 104B, 681-696.
- Stabell, B. (1986): A diatom maximum horizon in upper Quarternary deposits. - *Geol. Rundsch.*, 75, 175-184.
- Streeter, S.S., Belanger, P.E., Kellog, T.B. and Duplessy, J.C. (1982): Late Pleistocene paleo-oceanography of the Norwegian-Greenland Sea: Benthic foraminiferal evidence. - *Quarternary res.*, 18, 72-90.
- Swanberg, N.R. and Björklund, K.R. (1986): The radiolarian fauna of western Norwegian fjords: Patterns of abundance in the plankton. - *Mar. Micropal.*, 11, 231-241.
- Thiede, J., Eldholm, O. and Taylor, E. (1989): Variability of Cenozoic Norwegian-Greenland Sea paleoceanography and northern hemispheric paleoclimate. - *Proc. Ocean Drill. Progr., Sci. Res.*, 104B, 1067-1118.

#### 10.4 Eigene Vorarbeiten

Die Mitglieder des Teilprojektes B2 haben in den vergangenen fünf Jahren umfangreiche Arbeiten zur paläo-ozeanographischen Geschichte des Europäischen Nordmeeres geleistet. Diese alle hier im Detail darzustellen, wäre zu umfangreich (s. Berichtsband). Alle Mitglieder des Teilprojektes waren in den vergangenen Jahren jedes Jahr intensiv an verschiedenen Expeditionen beteiligt; es ist gelungen, ein großes Netz von Sedimentkernen im Detail zu datieren und auf viele Proxydaten hin zu untersuchen. Aus diesem Teilprojekt geht die Habilitationsarbeit Henrich hervor, die Dissertationen Vogelsang, Baumann, Bischof, die bereits abgeschlossen sind sowie die Dissertation von Birgisdottir, die sich im Abschluß befindet. Die Dissertation Kassens ist in enger Zusammenarbeit mit diesem Projekt erstellt worden, dazu kommen zahlreiche Diplomarbeiten an einzelnen Kernen zu einzelnen Aspekten der Sedimentationsgeschichte. Wichtige Ergebnisse aus der

ersten Bewilligungsphase des SFB's und aus dem regionalen Umfeld des Europäischen Nordmeeres sind in den Publikationen des Ocean Drilling Program Leg 104B-Bandes (Eldholm, Thiede, Taylor et al. 1989) und den Proceedings der "Arctic versus Antarctic"-Tagung in Bremen, Herbst 1988 (Bleil und Thiede 1990 in press) enthalten. Als Zusammenfassung unserer stratigraphischen Arbeiten ist in Abb. 4, Kap.2.3 eine Übersicht aller bisher bearbeiteten Kerne gegeben, in Abb. 22 derjenigen Kerne, die nachgewiesenermaßen Sedimente erreichen, die älter als Termination II (128.000 Jahre BP) sind. Auf die Arbeiten und Manuskripte des Berichtsbandes wird in diesem Zusammenhang verwiesen.

#### Datierung von Sedimentkernen aus dem nördlichsten Nordatlantik

Wie aus Abb. 22 ersichtlich, ist es uns gelungen, eine größere Anzahl von Sedimentkernen im Detail zu datieren. Die Arbeiten haben sich dabei im wesentlichen auf einen Schnitt vom Vøring-Plateau über das zentrale Europäische Nordmeer bis in das Gebiet des Scoresbysund erstreckt. Eine zweite Gruppe von Sedimentkernen aus der Framstraße und dem angrenzenden Tiefseebecken des Nordpolarmeeres ist im Rahmen des Framstraßenprojektes (gefördert durch den BMFT) bearbeitet worden. Henrich et al. (1989) und Vogelsang (1990) ist es dabei gelungen, detaillierte Zeitserien für eine Reihe von Kernen entlang des Transectes vom Vøring-Plateau zum Scoresbysund zu erarbeiten, deren Ergebnisse ebenfalls durch die Dissertation Kassens (1990) mit ihren litho- und seismostratigraphischen Ergebnissen unterstützt wird. Das dabei erarbeitete Zeitgerüst für die letzten ca. 50.000 Jahre kann als gesichert betrachtet werden. Datierungen und Korrelationen, die älter sind, müssen weiterhin überprüft werden. Dem Problem der Zeitserien wird anhand der Dissertation Hahn im Gebiet des Barentssee-fächers weiter nachgegangen. Die erarbeiteten Daten erlauben jedoch von Ausnahmen abgesehen bisher noch keine synoptischen Rekonstruktionen für beckenweite Zeitscheiben, wie sie von Kellogg vor ca. 10 Jahren, allerdings aufbauend auf einer wesentlich geringeren Datenbasis, versucht worden sind.

#### Oberflächenwassermassen

Eigenschaften der Oberflächenwassermassen sind mit Hilfe von Untersuchungen leichter stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffisotopen und anhand einer Reihe von Mikrofossilgruppen rekonstruiert worden (Vogelsang 1990, Baumann 1990). Die Ergebnisse von Vogelsang sind in dem zusammenfassenden Diagramm der Abb. 23 wiedergegeben. Sie lassen auf dramatische Veränderungen der Ozeanographie und der Eisbedeckung des Europäischen Nordmeeres während der letzten 400.000 Jahre schließen. Diese Ergebnisse stehen zum Teil im Widerspruch zu Ergebnissen über die Zusammensetzung und Eintragsraten des eistransportierten Materials in der Framstraße (Spielhagen 1990), zum Teil bestätigen sie sich.

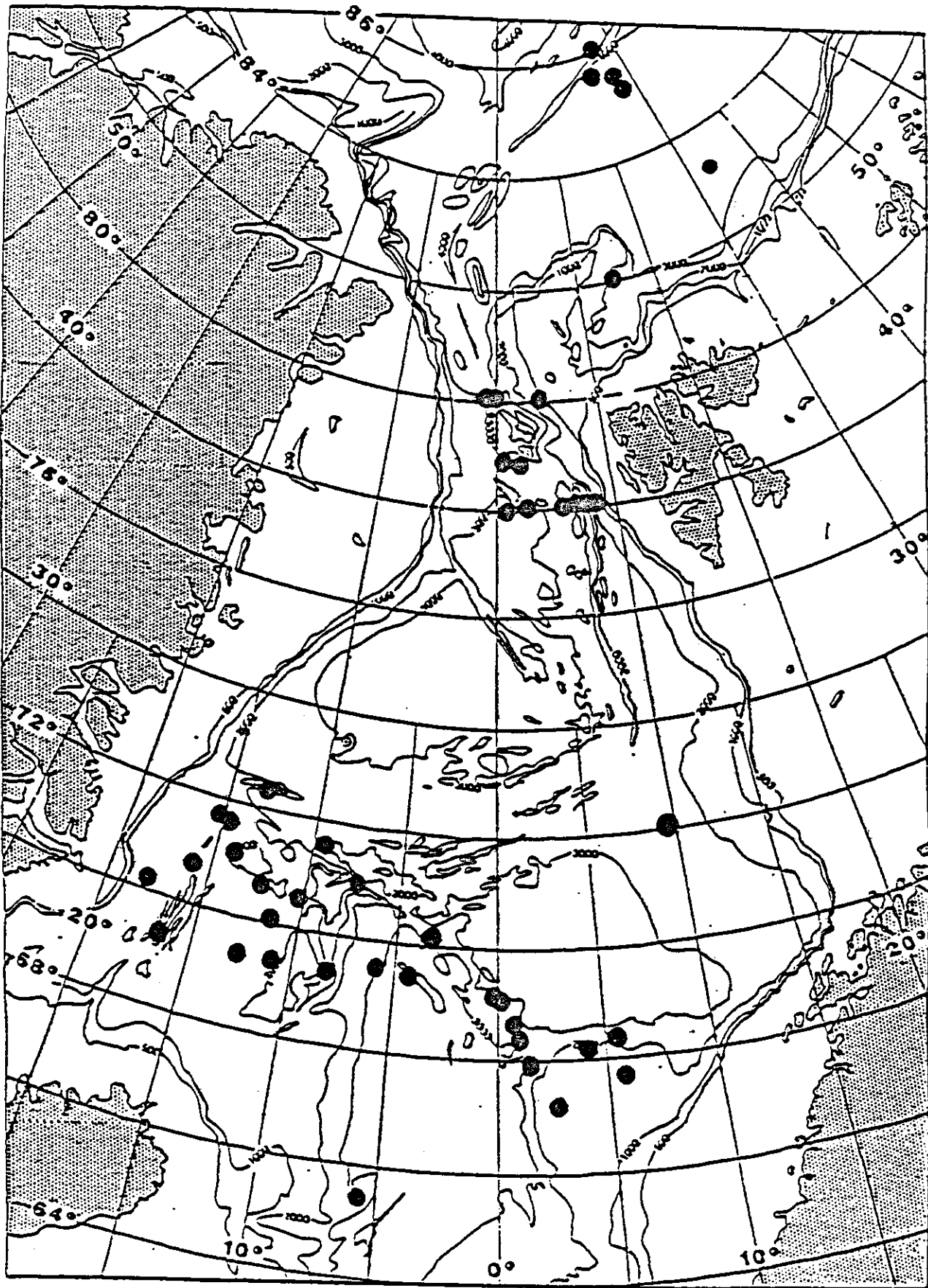


Abb. 22: Kerne mit Sedimenten älter als 128.000 Jahre BP





Planktonische Foraminiferen werden im Rahmen der jetzt laufenden Dissertation Bauch untersucht. Quantitative Untersuchungen von planktischen Foraminiferen wurden an zwei Kernen (23059, 23063) vom Vøring-Plateau durchgeführt. Die Foraminiferenfauna, die von *Neoglobobulimina pachyderma* dominiert wird, wurde dabei in zwei Gruppen unterteilt: 1. subpolares Plankton, 2. morphologische Varianten von *N. pachyderma*. Im Europäischen Nordmeer sind hauptsächlich fünf subpolare Arten mit unterschiedlicher Dominanz in Zeit und Raum vertreten: *Globigerina quinqueloba*, *Globigerina bulloides*, *Globigerinita glutinata*, *Globigerinita uvula*, *Orbulina universa*. Diese subpolare Fauna stellt im stratigraphischen Sinne eindeutig eine interglaziale Vergesellschaftung dar. Ihre größte Häufigkeit findet sich dabei in Sedimenten des Holozäns, wo *G. quinqueloba* und *G. bulloides* bis zu 60% der Gesamtf fauna bilden. *N. pachyderma* zeichnet sich allgemein durch eine große morphologische Variabilität aus. Je nach Gehäuse-drehung (rechts/links), Schalenoberfläche (kristallin/retikulat), Kammeranzahl und -größe sowie Art und Lage der Mündung (umbilikal/extraumbilikal, vorhandene Lippe) konnten etwa 20 intraspezifische Varianten mit unterschiedlicher stratigraphischer Signifikanz differenziert werden. Variationen in der relativen Häufigkeit dieser Morphotypen führen zu paläo-ozeanographischen oder polarklimatischen Aussagen. Dies gilt im besonderen Maße für Sedimentkerne aus Gebieten, in denen die planktische Foraminiferenfauna fast ausschließlich durch *N. pachyderma* vertreten wird (Ostgrönlandstrom, Arktischer Ozean).

Neben dem karbonatischen Plankton wird ebenfalls das kieselige Plankton untersucht. Es wurden mehrere GKG- und KAL-Kerne aus Hochsedimentationsgebieten am Kontinentalhang des Vøring-Plateaus und des Barentssee-Schelfs, d.h. aus dem Einflußbereich des warmen Norwegenstroms, auf kieseliges Plankton bearbeitet (Locker, in prep.). Die KAL-Kerne 23312-1 und 23331-1 vom Kontinentalhang des Vøring-Plateaus lieferten Postglazial-Profile von >8 m Länge, die zusammengesetzt ein kontinuierliches Profil vom Bölling/Alleröd bis zur Gegenwart ergeben.

Der KAL-Kern 23312-1 führt von der Basis an Diatomeen und Radiolarien. Die Radiolarien-Faunen des basalen Teils, die wahrscheinlich dem Alleröd entsprechen, weisen relativ niedrige Arten- und Individuendichten auf. Höhere Anteile von *Spongotrochus glacialis* und teilweise auch *Amphimelissa setosa* deuten an, daß sie aus kühleren Wassermassen stammen. In der Mitte des Profils tritt ein markanter Diatomeen-Peak auf, der nach Vergleichen mit der südlichen Norwegischen See (Pedersen und Stabell, subm.) ein Alter von ca. 10.5 Ka haben dürfte. Die Radiolarien-Faunen aus dem Bereich maximaler Diatomeen-Entwicklung, der anscheinend bis ins Präboreal/Boreal reicht, sind gleichfalls arten- und individuenarm, doch fehlen ihnen die erhöhten Anteile von *S. glacialis*. Die Radiolarien Faunen oberhalb des Diatomeen-Maximums repräsentieren das Intervall Atlantikum bis Rezent. Sie zeichnen sich durch hohe Abundanzen und Diversitäten (insgesamt >70 Arten) aus, die ihrerseits als Hinweis auf

den Einstrom von stärker erwärmten nordatlantischen Wassermassen zu werten sind. Das wird u.a. auch durch das sporadische Vorkommen von stenothermen, subtropischen Arten (*Hexapyle sp.*, *Amphiplecta sp.*, *Pterocanium sp.*, u.a.) bestätigt.

Die postglaziale Entwicklung der Radiolarien im Einflußbereich des kalten Ost-Grönlandstroms wurde von Molina-Cruz (Ms 1989) an mehreren GKG-Kernen analysiert. Im Gebiet des nördlichen Island-Plateaus setzen die artenarmen Radiolarien-Faunen kurz vor 10.6 Ka ein. Sie werden klar von polaren bis subpolaren Arten (*Amphimelissa setosa*, *Lithomitra platycephala*, *Cromyechinus borealis*, u.a.) dominiert.

Trotz der verstärkten Anstrengungen gerade in letzter Zeit ist die Anwendung der Spurenelement-Analyse mariner Mikroorganismen auf paläo-ozeanographische Fragestellungen noch in der Entwicklungsphase. Es bedarf vermehrter Untersuchungen, um die Einsatzmöglichkeiten dieser Methode besser auszuloten. Die ersten Untersuchungen im Europäischen Nordmeer (Thiede, Nürnberg) zeigen aber sehr gute Arbeitsansätze für die Rekonstruktion der Nährstoffgehalte in fossilen Bodenwasserkörpern aus den Spurengehalten in den Karbonatschalen benthischer Foraminiferen. Die Grundlage dieser Methodik, insbesondere die nutzbare Auflösungsgenauigkeit der eingesetzten Elektronen-Mikroanalyse, werden im Lauf der nächsten Jahre weiterverfolgt.

Wichtige Hinweise sind ebenfalls aus der Verbreitung eistransportierten Materials gewonnen worden. Die Untersuchungen im Rahmen der Dissertation Bischof haben ergeben, daß nicht nur aus Herkunftsgebieten in Fennoskandien und Grönland besonders wichtige Einträge eistransportierten Materials und daraus resultierende Driftrichtungen erkannt werden, sondern auch aus dem Gebiet der Nordsee und aus dem Gebiet des Nordpolarmeeres; das kann aus der Zusammensetzung der eistransportierten Gesteinsfragmente erschlossen werden. Dieses ist durch die Abb. 24 belegt und gibt Anlaß zu weiteren detaillierten Untersuchungen über die lithostratigraphische Verteilung eistransportierten Materials.

Ein für die Paläo-Ozeanographie der Oberflächenwassermassen besonders wichtiges Gebiet ist die Islandsee. Auf einer Kern-<sup>0</sup>Traverse entlang 70°N von der Ostseite des Jan-Mayen-Rückens bis zur Westseite des Kolbeinsey-Rückens wurden Untersuchungen über die paläo-ozeanographische Veränderlichkeit der Islandsee in den letzten etwa 550.000 Jahren durchgeführt (Diss. Birgisdottir). Es lassen sich 5-7 relativ gut korrelierbare Zyklen von tonigen quarzreichen Sedimenten gegenüber foraminiferenreichen Schichten unterscheiden. Eine stratigraphische Einstufung wurde mit Hilfe der Sauerstoff- Isotopenbestimmungen an zwei Kernen ermöglicht. Für die Festlegung der Isotopenstadiengrenze 4/5 ist das Auftreten der benthischen Foraminiferen *Pullenia bulloides* benutzt worden. Die Aktivität der nahegelegene Vulkangebiete (Jan Mayen, Island, Eggvingrunn) zeichnet sich in gut korrelierbaren Tephralagen ab, z.B. in den Stadien 1 ca. 10.000a, 2 ca. 14.000a, 5 ca. 127.000a, 7 ca. 211.000a und ca. 228.000a, 8 ca. 272.000a, 11 ca. 400.000a). Die zeitliche

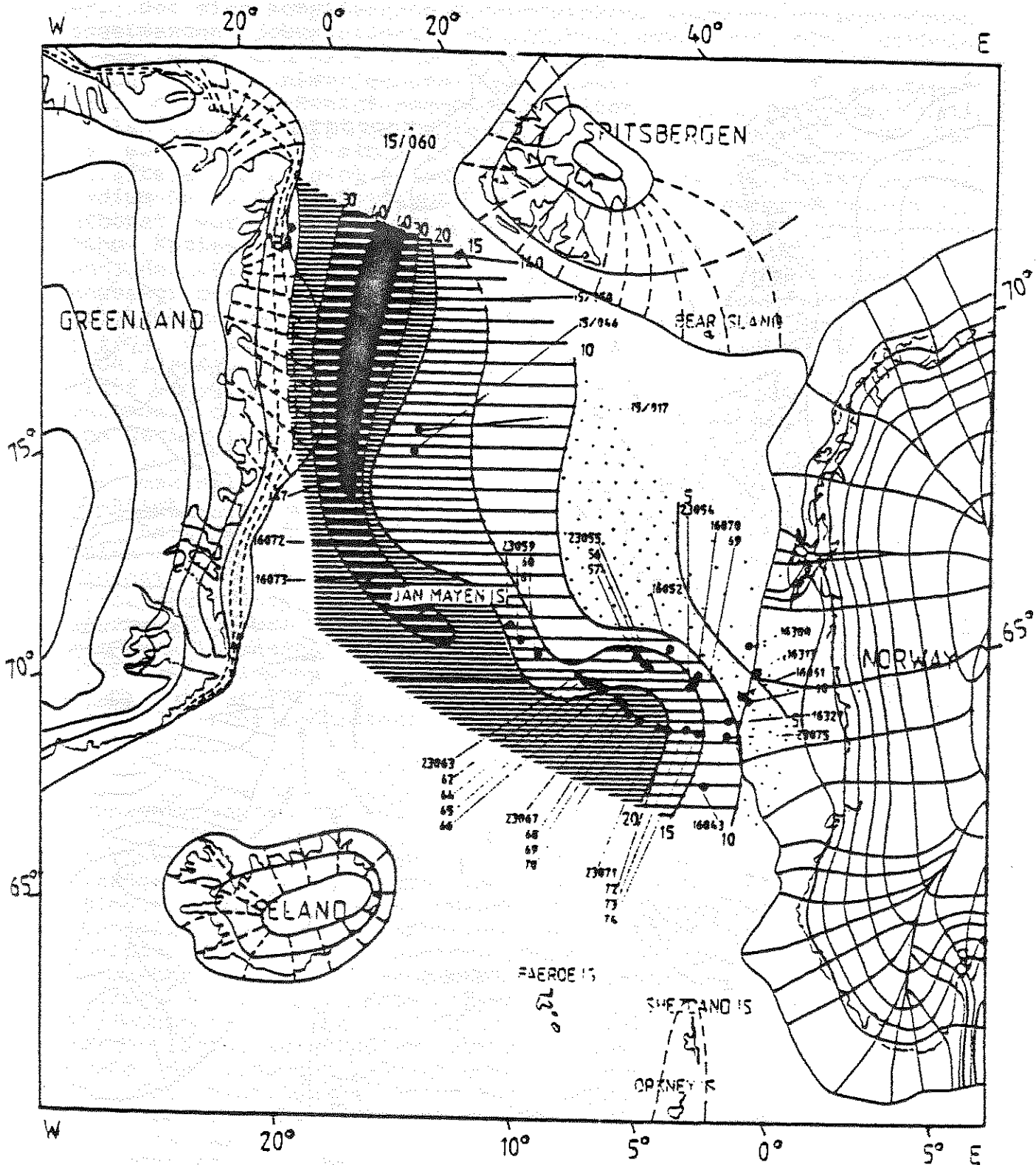


Abb. 24: Die Isoprozentallinien-Darstellung zeigt den Anteil der Quarzite an den Kristallingesteinen. Er fällt von 40-50% in der westlichen Framstraße auf 10-20% in der Norwegischen See ab. Dazu ist die maximale Ausdehnung der kontinentalen Vergletscherungen im späten Weichsel-Glazial dargestellt.

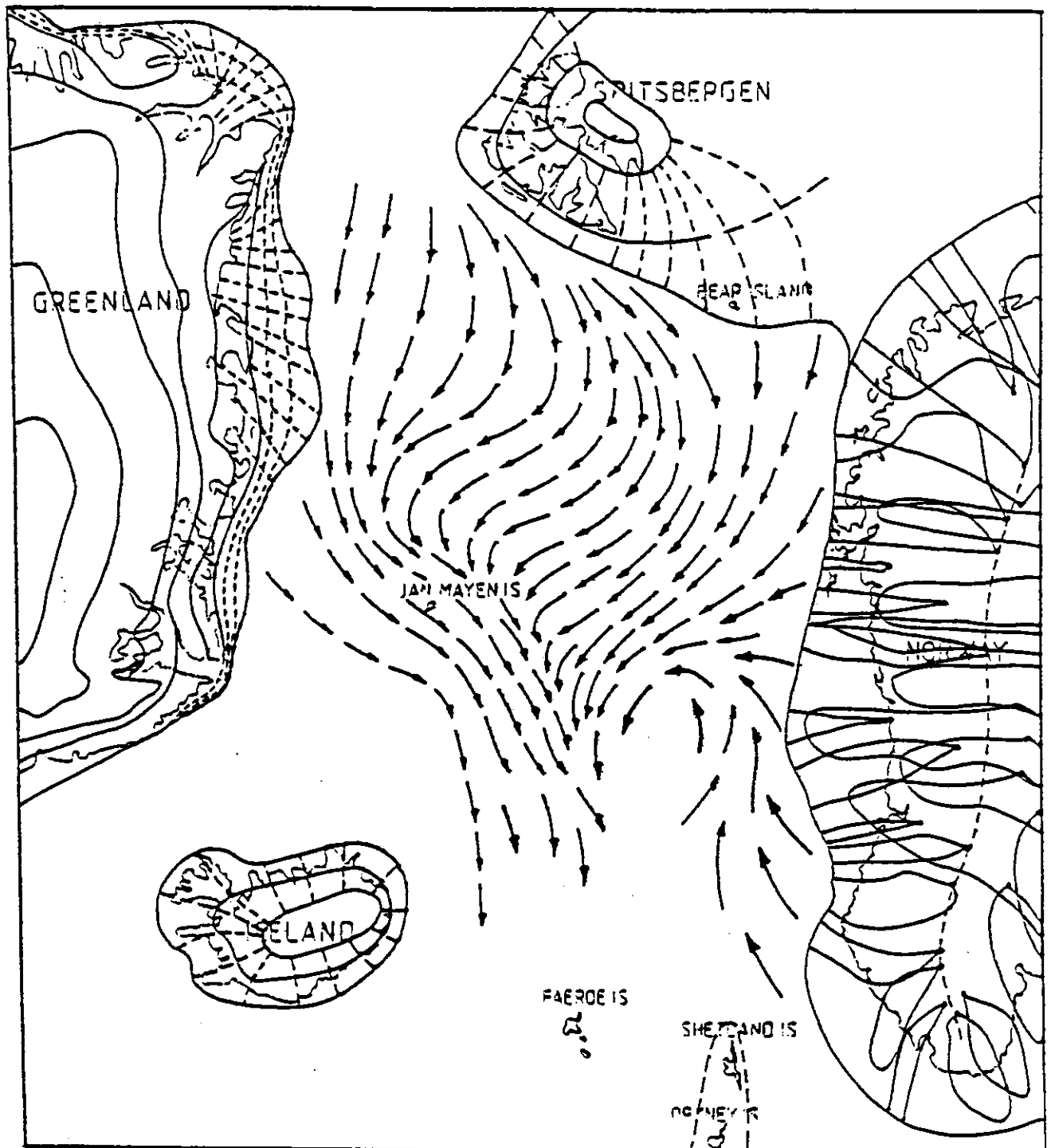


Abb. 25: Die Grafik zeigt den sich aus Abb. 24 ergebenden Strömungsverlauf im Europäischen Nordmeer. Über Norwegen sind die Verbreitungsgebiete erratischer Geschiebe dargestellt (nach Boulton 1985), deren weitere Verbreitung im Europäischen Nordmeer durch die Pfeile angedeutet wird.

Veränderlichkeit spiegelt sich in dem Kalziumkarbonatgehalt wider, der eine komplizierte Wechselwirkung zwischen verschiedenen Wassermassen dokumentiert und Rückschlüsse auf eine erhöhte Produktivität und Erhaltung des Materials erlaubt. Der Kalziumkarbonatgehalt nimmt generell nach Westen hin ab. Anscheinend kommt die volle Beeinflussung der kalten Wassermassen des Ostgrönlandstromes erst im Gebiet westlich des Kolbeinsey-Rückens zur Geltung. Dort sind die Gew.-% des Quarzes generell höher. Quarzfreie Zonen gibt es nur im Stadium 11 in Kern 23243 und in Stadium 5e in den 4 östlichen Kernen. Das vollkommene Fehlen von Karbonat vor 330.000 Jahren fällt mit tonigen grau-/grün-/roten Litho- Faziesabfolgen zusammen. Dies könnte bedeuten, daß während der älteren Kaltzeiten (bis vor ca. 330.000a) das Tiefenwasser besonders korrosiv war, und daß das vorhandene kalkige Skelettmaterial aufgelöst wurde. Möglicherweise war die Islandsee während dieser Zeitabschnitte vollkommen eisbedeckt und somit wurde jegliche Kalkschaler-Produktion "unterbunden". Für die darauf folgenden jüngeren Kaltzeiten (ab 300.000a) ist anzunehmen, daß die Islandsee wenigstens saisonal eisfrei war und eine geringe Produktion ermöglichte.

Ein maximaler Einfluß von nordatlantischen Wassermassen (gemäßigt) ist im Stadium 11 (etwa 423.000-362.000a) durch sehr hohe Kalziumkarbonat- und Foraminiferengehalte sowie durch das Fehlen von eisverfrachtetem Material (Quarz, Gesteinsbruchstücke, Feldspat, Schwerminerale und Glimmer) in den drei östlichen Kernen dokumentiert. Ein ähnliches Bild zeigt sich im Isotopenstadium 5e, etwas weniger ausgeprägt im Holozän. Unterschiedliche Sedimentationsraten spiegeln wahrscheinlich eine komplexe Wechselwirkung zwischen der Bathymetrie (Bodenströmungen, selektive Lösung) und wandernden Frontensystemen hochvariabler Wassermassen dieses Gebietes (nährstoffreicheres wärmeres Wasser, mehr Produktion) wider.

#### Bodenwassermassen und Schichtung der Wassersäule

Das Vorkommen der benthischen Foraminiferen hat bereits wichtige Beiträge zur biostratigraphischen Korrelation der einzelnen Sedimentkerne geleistet (Haake und Pflaumann 1989). Die aktuopaläontologischen Arbeiten im TP A3 haben wichtige Ergebnisse für die bereits durchgeführten und geplanten paleo-ökologische Interpretation an Benthos-Foraminiferen geliefert. Mit der Entschlüsselung der Lebensweise von *C. wuellerstorfi* (Lutze and Thiel 1989) und detaillierten mikropaläontologischen Studien zum Auftreten von *Pullenia bulloides* (Haake und Pflaumann 1989) stehen sehr genaue Informationen über zwei der wichtigsten Arten zur Verfügung, die bei der Bearbeitung von Kernmaterial aus dem Nordmeer überhaupt klimarelevante Wechsel aufzeigen. Als epibenthische Art ist *C. wuellerstorfi* an bestimmte Strömungsverhältnisse und lateralen

Futtertransport adaptiert. Dagegen besteht keinerlei Abhängigkeit von physikalisch/chemischen Rahmenparametern der Bodenwasserphase; *C. wuellerstorfi* tritt in der hohen Arktis, der Grönlandsee und der Norwegischen See auf (Lutze und Salomon 1988). Typisch ist ihr Fehlen nur in Beckenbereichen mit extrem geringen bodennahen Strömungen und mit tonigen Sedimenten, wie z.B. im Nansen-Becken, während sie auch unter ganzjähriger Eisbedeckung nördlich von Spitzbergen und an den Spitzen des Nansen-Gakkel-Ridges auftritt (Altenbach 1988). Gemeinsam mit dem pulsartigen Auftreten von *P. bulloides* im Stadium 5e und im Holozän und parallel mit der Analyse der planktischen Foraminiferen haben Haake und Pflaumann (1989) das Auftreten von *C. wuellerstorfi* in der Klimaentwicklung des Europäischen Nordmeeres dargelegt.

Die strenge Abhängigkeit des Auftretens bestimmter Suspensionsfiltrierer von den bodennahen Strömungen wurde bei *Rupertina stabilis* und *Saccorhiza ramosa* nachgewiesen (Lutze and Altenbach 1988, Altenbach et al. 1988). Weiterführende biologische Untersuchungen haben gezeigt, daß die adaptive Optimierung der Gehäuseformen und der Aufbau der Zellorganellen bei den epibenthischen Foraminiferen so weit auf ihre Ernährungsweise ausgerichtet sind (Altenbach 1990, Altenbach and Sarnthein 1989, Heeger 1990), daß diese Arten in der ökologischen Betrachtung und in ihrer phylogenetischen Stellung praktisch getrennt von den nur wenige Zentimeter entfernt lebenden, endobenthischen Formen zu sehen sind.

Die bisher untersuchten, mit grobem Raster beprobten Kerne von zahlreichen Stationen des Europäische Nordmeers ergaben, daß der  $^{14}\text{C}$ -Gehalt der organischen Fraktion erheblich durch alten, umgelagerten organischen Kohlenstoff geprägt ist (Erlenkeuser, 1990). Dies zeigte der Vergleich der (an der organischen Fraktion bestimmten)  $^{14}\text{C}$ -Alter mit den Datierungen nach der  $^{18}\text{O}$ -Methode, wobei die Alter der - meist sehr detailliert aufgelösten -  $^{18}\text{O}$ -Ereignisse z.T. durch Beschleuniger (AMS)- $^{14}\text{C}$ -Datierungen an Foraminiferen-Karbonaten sehr genau festgelegt werden konnten (Vogelsang, 1990; Rokoengen et al., Manuskript, Mai 1990). Der Eintrag fremden organischen Materials zeigte sich deutlich auch an den stabilen C-Isotopen; sein Zusammenhang mit den klimatischen Rahmenbedingungen läßt sich vom Skagerrak bis in den Arktischen Ozean (86°N) hinein deutlich verfolgen. In einem ersten Schritt zu einem weiterführenden Verständnis wurde gemeinsam mit der BGR Hannover an einem Kern ein Vergleich der Isotopenuntersuchungen am organischen Kohlenstoff mit organisch-petrologischen Befunden und n-Alkan-Mustern für die Termination II und das anschließende Isotopenstadium 5 durchgeführt (Botz et al., Manuskript, Mai 1990).

Für die Ermittlung der Isotopenverhältnisse des gelösten anorganischen Kohlenstoffs in der Wassersäule wurde bereits an zahlreichen Stationen im Europäischen Nordmeer die Wassersäule beprobt. Eine Kleinanlage zur fraktionierungsfreien  $\text{CO}_2$ -Extraktion wurde erstellt und ausgetestet.

Der Eintrag allochthonen und altersfremden organischen Kohlenstoffs ist eine generelle Erscheinung und in vielen marinen Ablagerungsräumen beobachtet worden (Erlenkeuser 1980, Fischer 1989). Die altersfremden Beiträge lassen sich in ihrer Wirkung auf den  $^{14}\text{C}$ -Gehalt erkennen, soweit die Reichweite der  $^{14}\text{C}$ -Methode dies zuläßt und das Ablagerungsalter anderweitig, z.B. über die  $^{18}\text{O}$ -"Datierung" bekannt ist. Die Herkunftsfrage kann über das  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis untersucht und in vielen Fällen auf den Aspekt marin/ terrigen polarisiert werden, wenn auch zusätzliche andere Einflüsse auf die Isotopenzusammensetzung der organischen Fraktion der Sedimente bedacht werden müssen (Fischer 1989). Der terrigene, meist zugleich auch altersfremde Eintrag ist vor allem in hemipelagischen Ablagerungsräumen bedeutend, die am stärksten dem terrestrischen Einfluß unterliegen, nicht zuletzt deswegen eine vergleichsweise hohe Produktivität aufweisen und daher eine besondere Bedeutung für den Kohlenstoffhaushalt besitzen. Daher ist hier eine genaue Kenntnis des terrigenen Einflusses notwendig. - Umlagerungserscheinungen geben aber auch wichtige Einblicke in die physikalisch-ozeanographischen Prozesse, die bei den großen klimatischen Änderungen wirksam gewesen sind, und liefern wichtige Prüfsteine zur Beurteilung paläo-ozeanographischer Modelle.

#### Literatur:

- Altenbach, A.V. (1990): Konstruktive Optimierung und Werkzeuggebrauch bei Einzellern.- Natur und Museum 120: 15-19
- Altenbach, A.V. and M. Sarnthein, (1989): Productivity Record in Benthic Foraminifera. - In: Berger, W.H., Smetacek, V.S. and Wefer, G. (eds.), Productivity of the Ocean: Present and Past. John Wiley and Sons, Ltd; Dahlem Konferenzen 1989, p. 255-269
- Altenbach, A.V., G. Unsöld, and E. Walger, (1988): The hydrodynamic environment of *Saccorhiza ramosa* (Brady). - *Meyniana* 40: 119-132
- Baumann, K.H. (1990): Veränderlichkeit der Coccolithenflora des Europäischen Nordmeeres. - Diss. Math.-Nat. Fak. CAU, Kiel 146 pp.
- Bleil, U. and J. Thiede, (eds.) 1990 in press: The geological history of the polar oceans: Arctic vs. Antarctic. - NATO ASI Series C 308, 823 pp., (Kluwer) Dordrecht
- Botz, R., H. Erlenkeuser, J. Koch and H. Wehner (1990): Analyses of sedimentary organic matter of a Glacial/Interglacial Change (oxygen isotope stage 6/5) in the Norwegian Sea. Manuskript.
- Eldholm, O., J. Thiede, E. Taylor et al. (1989): Norwegian Sea. - Proc. Ocean Drill. Progr., Sci. Res. 104 B, 1141 p.
- Erlenkeuser, H. (1980)  $^{14}\text{C}$  age and vertical mixing of deep-sea sediments. *Earth and Planetary Science Letters* 47: 319-326
- Erlenkeuser, H. (1990): Glacial/Holocene contrasts of organic carbon isotope ratios in Skagerrak, Norwegian Sea, and Arctic Ocean sediments. Third Nordic Conference on Climatic Change and Related Problems, University of Tromsø. Programme and Abstracts, p. 15

- Fischer, G. (1989): Stabile Kohlenstoff-Isotope in partikulärer organischer Substanz aus dem Südpolarmeer (Atlantischer Sektor). Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen 5, 161 S.
- Haake, F.-W. and U. Pflaumann (1969): Late Pleistocene foraminiferal stratigraphy on the Vøring-Plateau.- *Boreas* 18: 343-356
- Hahn, M., H. Erlenkeuser and M. Sarnthein (1990): Early decay of Barents Shelf Ice Sheet - stable isotope records mapped across the Bear Island sediment fan. Third Nordic Conference on Climatic Change and Related Problems, University of Tromsø. Programme and Abstracts, p. 17.
- Heeger, T. (1990): Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Ernährungsbiologie benthischer Foraminiferen. - Ber. Sonderforsch. 313, (im Druck).
- Henrich, R., H. Kassens, E. Vogelsang and J. Thiede (1989): Sedimentary facies of glacial-interglacial cycles in the Norwegian Sea during the last 350 ka. *Mar. Geol.* 86: 283-319
- Kassens, H. (1990): Verfestigte Sedimentlagen und seismische Reflektoren: Frühdiagenese und Paläoozeanographie in der Norwegischen See. - Diss. Math.-Nat. Fak. CAU, Kiel, 120 pp
- Locker, S. (in Vorb.): Zur postglazialen Entwicklung der Radiolarien im Gebiet des Vøring-Plateaus, Norwegische See.
- Lutze, G.F. and A.V. Altenbach (1988): *Rupertina stabilis* (Wallich), a high adapted, suspension feeding foraminifer. - *Meyniana* 40: 55-69
- Lutze, G.F. and H. Thiel (1989): Epibenthic foraminifera from elevated microhabitats: *Cibicidoides wuellerstorfi* and *Planulina ariminensis*. - *J. Foram. Res.* 19(2): 153-158
- Lutze, G.F. and B. Salomon (1987): Foraminiferen-Verbreitung zwischen Norwegen und Grönland: Ein West-Ost Profil. - Ber. Sonderforschungsbereich 313, 6: 69-78
- Molina-Cruz, A. (unpubl.): Holocene paleo-oceanography of the northern Iceland Sea, evidenced by radiolaria and sponge.
- Pedersen, J. and B. Stabell (subm.): Algeoppblomstring - også en "katastrofe" for 10 000 år siden? - Proc. Nord. Diatomemøte
- Rokoengen, K., H. Erlenkeuser, M. Løfaldli and O. Skarabø (1990): A climatic record for the last 12,000 years from a sediment core on the Mid Norwegian Continental Shelf. Manuskript 37 pp
- Spielhagen, R.F. (1990): Die Eisdrift in der Framstraße während der letzten 200.000 Jahre. Diss. Math.-Nat. Fak. CAU, Kiel 127 pp., App.
- Thiede, J., A.V. Altenbach, U. Bleil, R. Botz, P. Mudie, S. Pfirman, E. Sundvor and others (1990): Properties and history of the central eastern Arctic sea floor. - *Polar Record* 26(156): 1-6
- Vogelsang, E. (1990): Paläo-Ozeanographie des Europäischen Nordmeeres anhand stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope. - Diss. Math.-Nat. Fak. CAU, Kiel 137 pp., App.



## 10.5 Ziele, Methoden, Arbeitsprogramm und Zeitplan

Um die Dynamik der Wasserkörper während der einschneidenden Klimaveränderungen in ihrem Ablauf zu rekonstruieren, ist eine räumliche Aufnahme im gesamten Europäischen Nordmeer notwendig, die aus Kerndaten in einzelnen Zeitscheiben mikropaläontologische und sedimentologische Verteilungsmuster auskartiert. Als Grundlage sollen die generellen Unterschiede in den Verteilungen während der klimatischen Extrema genauer ausgearbeitet werden. Darauf aufbauend können die Entwicklungen im Zuge der teilweise drastischen Schübe während der Terminationen möglichst fein aufgelöst werden. Gerade diese Informationen können zur Basis einer neuen Auswertungsmethodik mit bisher unerreichter Qualität werden. Aus einzelnen Kernen lassen sich solche Daten nur schwer ableiten; in kaum einem Falle sind bei isolierten Kernausswertungen alle lokalen, überregionalen und globalen Einflüsse und ihr Zusammenspiel sicher zu extrahieren. Die großräumige Aufnahme der Zeitscheiben-Kartierung kann aber die Ausbreitungsrichtung und Geschwindigkeit wesentlicher Veränderlichkeiten aufzeigen und wird diese angestrebten Ergebnisse in genügendem Maße von lokalen, statischen oder pulsierenden Tendenzen trennen.

Insgesamt basiert dieser Arbeitsansatz auch auf einer möglichst hochauflösenden Isotopen-Datierung der Zeitscheiben; aber keinesfalls ist er prinzipiell von einer, heute gar nicht erreichbaren, minutiösen Datierung der Zeitscheiben abhängig. Wenn sich erste sukzessive Verschiebungen abbilden lassen, kann damit auch in der Verfolgung der individuellen Abweichungen der Fehlereinfluß der Datierung in den einzelnen Schnitten diskutiert werden. Zusätzlich werden die interdisziplinären Arbeitsgruppen versuchen, fachspezifische Methoden für eine vergleichende Stratigraphie einzusetzen oder in Detailstudien die Dispersion durch Bioturbation zu rekonstruieren.

Insgesamt zerfällt das Arbeitsprogramm des Teilprojektes B2 in der kommenden Antragsphase in zwei große Aufgaben, nämlich erstens die Datierung der Zeitreihen und die Definition und Rekonstruktion synoptischer Zeitscheiben (s.u.), und zweitens die quantitative Rekonstruktion paläo-ozeanographischer Eigenschaften der Oberflächenwassermassen und der Bodenwassermassen sowie der Wasserkörperschichtung.

### Datierung von Sedimentkernen

Eines der wichtigsten Ziele des TP B2 ist die Erstellung von Zeitreihen und Zeitscheiben aus isotopenphysikalischen, geologischen, sedimentologischen und mikropaläontologischen Daten, um die paläo-ozeanographische und palöklimatische Entwicklung im nördlichen Nordatlantik quantitativ zu erfassen. Die Studien sollen von 4 Schlüsselgebieten ausgehen, welche die Grundzüge der großräumigen Strömungsmuster und Wassermassen nach heutigem Verständnis in angemessener Weise im Sediment dokumentieren und alternative Denkmodelle zu testen ermöglichen.

Im einzelnen sind dies 1. das Vøring-Plateau unter dem Norwegischen Strom; 2. der aus der Barentssee kommende Sedimentfächer SW der Bären-Insel, um durch den Vergleich zum Vøring-Plateau die ozeanographischen S-N Gradienten in der Norwegischen See zu messen; 3. der Sedimentfächer vor dem Scoresbysund, Ost-Grönland, zur Dokumentaion der Geschichte des Ost-Grönland Stroms und 4. das Rockall-Plateau südlich der Island-Farøer-Schwelle, um den Wassermassenaustausch zwischen dem offenen Atlantik und dem Europäischen Nordmeer an der Oberfläche und im Tiefenwasser zu rekonstruieren. Damit soll die Wechselwirkung zwischen den beiden Ozeanbecken mit ihrer Relevanz für die Geschichte der ozeanischen Tiefenventilation des Ozeans erforscht werden.

Aus jedem Schlüsselgebiet sollen mindestens zwei hochauflösende paläo-ozeanographische Zeitserien gewonnen werden, die etwa 350.000 Jahre umfassen, d.h. drei große Milankovitch-Zyklen à ca. 100.000 Jahre für die Spektralanalyse. Sie soll den Einfluß der Erdbahn-Parameter, als der allgemeinen Basis für die Klimasteuerung, auf die unterschiedlichen Umweltparameter in der Frequenz- und Phasendomäne quantifizieren. Dies erfordert eine zeitliche Auflösung der Umweltsignale von 3000-4000 Jahren, um auch die 19.000-Jahre-Periode der Präzession noch hinreichend abzudecken. Zweites Ziel der Zeitreihen ist das Studium von raschen ozeanischen Umschwüngen mit einer durchgehenden zeitlichen Auflösung von 100 - 500 Jahren. Damit wird die tatsächliche Geschwindigkeit einer Reihe von wesentlichen Umweltprozessen im Europäischen Nordmeer beschrieben, z.B. die Dauer von Schmelzwasser- oder Auftriebsereignissen, Zirkulationsumschlägen antiästuarin-ästuarin und die Geschwindigkeit der Packeisausbreitung. Für die beiden ersten wissenschaftlichen Ziele sind über 15 m lange Kerne aus Sedimenten mit mehr als 5 cm pro 1000 Jahren Sedimentationsrate erforderlich, d.h. dieses Ziel impliziert eine deutliche Verbesserung unserer Kern-Technologie. Die hochauflösenden Zeitreihen haben schließlich eine bestmögliche zeitliche Definition der geplanten "Zeitscheiben" zum Ziel (Tab. 2).

Die Darstellung von Umweltparametern für streng definierte fossile Zeitintervalle, für die "Zeitscheiben", dient zur räumlichen Beurteilung und Differenzierung von paläo-ozeanographisch-paläoklimatischen Proxydaten. Dafür müssen auch die Sedimente außerhalb der genannten 4 Schlüsselregionen einigermaßen flächendeckend und über die bisherigen Kernstationen hinaus beprobt werden. Aufgrund von bisherigen Kenntnissen über die Paläo-Ozeanographie wurden 16 Zeitscheiben für die letzten 200.000 Jahre als besonders aussagekräftig ausgewählt (Tab. 2), die zudem isotopenstratigraphisch relativ klar zu definieren sind. Mit diesen Zeitscheiben werden unterschiedliche Entwicklungsstufen gleichermaßen innerhalb von quartären Warm- und Kaltzeiten studiert, ferner markante stratigraphische Ereignisse während der Klimaumschwünge, z.B. die Jüngere Dryas.

Tab. 2 Definition und Bedeutung von paläo-ozeanographischen Zeitscheiben zur Untersuchung im Rahmen von TP B2

Zeitl. Schwerpunkt (in 1000 Jahren)	Intervalbreite (in Jahren)	AMS- <sup>14</sup> C Alter nötig (erwünscht)	Definition nach <sup>18</sup> O	nach <sup>13</sup> C	Fragestellung
0-3	0-3	X	-	-	rezentes Abbild
6	Doppel- interval bei 5.5 und 7	X	-	Max.u. Min.	Holozänes Klimaoptimum während und nach Atlant.  T.W.-Fluk- tuation
9	8.5-9.1	(X)	Ende Term. IB	-	Holozänes Isolations- Maximum
10.5	10.3-10.8	(?)	kurzes Max.	(benth) Max.	Jüngere Dryas
13.7	13.7-14.5	(X)	kurzes Min. Beginn Term. IA	-	Barents See Schmelzwasser Ereignis
15.0	14.7-15.3		Max. zum Ende St. 2	letzte Probe mit Glazial- Niveau	Ende L.G.M.
18.0	17-19	X	oberes St. 2	-	frühes L.G.M.
26.0	25.5-27.0	(X)	St. 3.1	Min.	Endphase des letzten war- men Inter- stadials
55.0	+ 1		extremes Min.	Min.	Schmelzwas- serereignis
65.0	64-66		Max. St. 4.2	abnehm.	Eiszeit mit noch guter T.W.-Venti-
80	+ 2		Min. St. 5.1	Max.	Ende letzte Zwischeneisz. lation

(Fortsetzung Tab. 2)

Zeitl. Schwerpunkt (in 1000 Jahren)	Intervalbreite (in 1000 Jahren)	AMS- <sup>14</sup> C Alter nötig (erwünscht)	Definition nach <sup>18</sup> O <sup>13</sup> C	Fragestellung
122	+ 2		extrem. Min. St. 5.51	Anstieg im Plankt. Signal Höhepunkt der letzten Zw.-Eiszeit
? 128 ? 131	+ 2		extrem. Min. St. 5.53	Schmelzwasserereignis anal Term.IA
135	+ 2		Max. St. 6.2	niedrig abnehm. Endhöhepunkt vorletzte Eiszeit
193	+ 2		Min. St. 7.1	Max. Endphase vorletzte Zw. Eiszeit

#### Oberflächenwassermassen

Schichtung, Produktivität, Temperatur, Salinität und die Lage der Arktischen Front im Bereich des Europäischen Nordmeeres können durch folgende Proxydaten beschrieben werden: Stabile Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope der Gehäuse planktischer Foraminiferen, die Kohlenstoffisotope der organischen Substanz, die biogeographische Verteilung von planktonischen Foraminiferen, Coccolithophoriden und kieseligen Mikrofossilien (Diatomeen und Radiolarien) sowie der Verteilung von eistransportiertem, groben Material in den Sedimenten. Erfolgreich sind von diesen Proxydaten zur Quantifizierung der Paläo-Ozeanographie bisher nur die stabilen Sauerstoffisotopenverhältnisse (Vogelsang 1990) und die planktische Foraminiferenverteilung (Transferegleichungen) (Kellogg 1976) eingesetzt worden, während die anderen Proxydaten eher qualitative regionale Verteilungsmuster dokumentieren. In der kommenden Antragsphase soll größter Wert auf eine Qualifizierung der verschiedenen Effekte gelegt werden. Wir versuchen zur Zeit zusätzlich, einen Palynologen als Stipendiaten für die Arbeiten im Europäischen Nordmeer zu gewinnen (Antrag Cheddadi an die Alexander von Humboldt-Stiftung). Möglichkeiten der Rekonstruktion der Produktivität der Oberflächenwassermassen können ebenfalls durch organische Biomarker und durch genaue geochemische Untersuchungen an Schalenmaterial planktischer Foraminiferen (z.B. Cadmiumgehalte) vorgenommen werden, jedoch müssen bei beiden Ansätzen erst noch wichtige methodische Entwicklungen vorgenommen werden, bevor ein Erfolg sichergestellt werden kann.

Von besonderer Wichtigkeit erscheinen detaillierte Untersuchungen der kieseligen Mikrofossilien in den Sedimenten des Europäischen Nordmeeres. Diese Untersuchungen sollen durch einen vorhandenen erfahrenen Wissenschaftler betreut werden. Ausgehend von den hochauflösenden Postglazial-Profilen im Bereich des Norwegenstroms sollen die Radiolarien-Untersuchungen regional auf das gesamte Europäische Nordmeer ausgeweitet werden. Hierzu ist die Bearbeitung des Postglazials an 10-11 Stationen geplant, wobei den 4 Schlüsselregionen bei der Korrelierung der Profile eine primäre Rolle zukommt. Nach der taxonomisch-stratigraphischen Bearbeitung der Profile sollen 4 Zeitscheiben (0, 6, 9, 10.5 Ka) festgelegt und die Verbreitungsmuster der relevanten Radiolarien-Faunen analysiert werden. In diesen Themenrahmen gehören insbesondere Analysen zur Verbreitung von kalt- und warmadaptierten Radiolarien-Faunen, zur Lage der Polarfront und zur Ausbreitung der Tiefen- bzw. Zwischenwassermassen. In die Untersuchungen sollen, sofern in den Bibliotheken verfügbar, die Daten zur polaren und subpolaren Verbreitung der Radiolarien aus der russischen Originalliteratur einbezogen werden.

#### Bodenwassermassen und Schichtung der Wassersäule

Proxydaten zur Quantifizierung der Eigenschaften der Bodenwassermassen können vor allem aus benthischen Fossilien (benthische Foraminiferen, Ostracoden), aus Messungen des Cadmium-Calcium-Gehaltes der Foraminiferengehäuse und aus den Verhältnissen der stabilen Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope gewonnen werden. Die Zusammensetzung der Foraminiferenfaunen gibt ebenfalls ein Maß für Strömungsverhältnisse am Meeresboden. Viele von diesen Daten werden jedoch nicht quantitativ erfaßbar sein, sondern nur eine qualitative Aussage über Eigenschaften des Bodenwassers, z.B. seine Durchlüftung, erlauben. Trotzdem sind diese Untersuchungen von zentraler Bedeutung, denn paläo-ozeanographische Modellvorstellungen können nur entwickelt werden, wenn ein gewisses Verständnis für die dreidimensionale Verteilung der Wasserkörper im Europäischen Nordmeer erarbeitet worden ist.

Die bisher vorliegenden Isotopendaten und die Methodik der Analyse der stabilen Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope erfordert ebenfalls Messungen in der Wassersäule. Auf wiederholt anzulau-fenden Stationen über dem Vøring-Plateau, im Norwegen Strom selbst, in der nördlichen Lofoten See, ebenso wie in der westlichen Barents-See sowie in der Grönland-See soll möglichst zu unterschiedlichen Jahreszeiten und über mehrere Jahre hinweg die Wassersäule beprobt und sollen die  $^{13}\text{C}$ -Werte des DIC (nebst dem  $^{18}\text{O}$  des Wassers) bestimmt werden. Die Probenahmen sollen in Abstimmung mit der Planktongruppe (TP A1), der Benthos-Gruppe (TP A3) und dem TP B3 ("Synpal") erfolgen, um die planktischen Signale präziser greifen und ihren Einfluß beurteilen zu können. Dazu wird auch das  $^{13}\text{C}$ -Signal von lebendgefangenen benthischen Foraminiferen in Beziehung zum  $^{13}\text{C}$  des Wassers gesetzt.

Die unmittelbaren Fragen, die durch  $^{14}\text{C}$ -Proben aus den stratigraphisch relevanten Niveaus hochakkumulierender Kerne und durch detaillierte  $^{13}\text{C}$ -Profile (jeweils der organischen Fraktion) untersucht werden sollen, befassen sich damit, wie weit in den verschiedenen Zeitscheiben sich die Fremdeinträge und Wirkungen der Umlagerungsprozesse hangabwärts erstrecken, wie sie sich in den Phasen der Deglaziation verändert haben, und ob und wie schnell im Holozän stationäre Zustände erreicht werden. Mit besonderem Interesse soll der von Sarnthein et al. (in Vorb.; vgl. Hahn et al. 1990; Literaturliste "Eigene Vorarbeiten") diskutierte Phase einer anti-zyklonalen Zirkulation in der Termination IA mit einem N-S-wärts gerichteten Strom vor Norwegen nachgegangen werden, der küstennahen Auftrieb und damit verstärkten autochthonen Eintrag organischen Materials zur Folge gehabt haben müßte.

Ein Teil der zu bearbeitenden Kerne ist bereits vorhanden. Schwerpunkt werden ca. 4 gut bis hoch auflösende Kerne von einem Profil vor Mittelnorwegen über das Vøring-Plateau hinweg sowie etwa 4 Kerne vor der Barents-See sein. Dazu kommen evtl. ergänzende Kerne aus NW-licheren Positionen zur Framstraße hin. Wegen des schwierig zu beurteilenden Ablagerungsmilieus auf der grönländischen Seite sind hier zunächst orientierende Untersuchungen geplant. Anhand der Sedimente vom Rockall-Plateau erhoffen wir uns für die entsprechenden Zeitscheiben Aufschluß über die hochproduktiven Phasen, die wir während der Deglaziation in Relation zu den ozeanographischen Veränderungen (z.B. nach Foraminiferen-Isotopen) in dem Muster der Oberflächenströmungen in diesem wichtigen Seegebiet am Eingang zum Europäischen Nordmeer erwarten.

Die "Mißweisung" des  $^{14}\text{C}$ -Alters (der org. Fraktion) im Vergleich mit dem nach  $^{18}\text{O}$  bestimmten Alter eröffnet die interessante Möglichkeit, die Veränderungen der Relation von fremdem zu autochthonem organischen Kohlenstoff im Verlauf der Klimageschichte - soweit mit der  $^{14}\text{C}$ -Methode erfaßbar, d.h. etwa über die letzten 30.000 Jahre - zu verfolgen und die zugrundeliegenden Veränderungen in dem Ablagerungsraum zu analysieren. Die Bestimmung der  $^{14}\text{C}$ -Defizite zusammen mit den  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnissen stellt einen neuartigen Ansatz dar, um den nicht-autochthonen Anteil des sedimentären organischen Kohlenstoffs zu erkennen und die erhaltenen räumlichen und zeitlichen Muster (unter Berücksichtigung der topographischen Gegebenheiten) paläo-ozeanographisch zu interpretieren. Dies ist mit Blick auf die kontinentnahen Ablagerungsräume und den Zeitabschnitt der Deglaziation von besonderem Interesse. So erwarten wir für die östliche Norwegische See deutliche Unterschiede zwischen dem Glazial (mit starkem Eintrag älteren terrestrischen organischen Materials), dem Deglazial (mit verstärktem Hangabtransport als Folge der neu einsetzenden Meeresströmungen) und einer Phase der Stabilisierung im Holozän.

## 10.6 Stellung innerhalb des Sonderforschungsbereiches

Die Teilprojekte A1, A3 und A4 beschäftigen sich mit den Prozessen, die über die Sedimentverteilungen ein Abbild der "Ozeanographie" am Boden des Europäischen Nordmeeres schaffen. Die Teilprojekte A2 und B1 versuchen aus ihrem eigenen methodischen Arbeitsansatz heraus bereits, wichtige Stadien und Endglieder der Sedimentzusammensetzung als Abbild der Veränderlichkeit dieser Ozeanographie zu definieren. Aufbauend auf diesen methodischen Ansätzen und Ergebnissen ist es die Aufgabe des Teilprojektes B2, eine Synthese der Paläo-Ozeanographie des nördlichen Nordatlantiks zu erarbeiten.

In Zusammenarbeit mit den Kollegen aus den Teilprojekten A2, A3, B1, B3 und B4 soll eine gemeinsame Definition und Bewertung der Unterschiede, Gemeinsamkeiten und Variabilitäten der Faunenschnitte und sedimentologischen Regime für rezente Verteilungen (boreal und arktisch) und ausgewählte fossile Intervalle (interglazial/glazial) erarbeitet werden basierend auf mathematisch/statistischen Methoden. Dieser synoptische, ganzheitliche Ansatz liefert die notwendigen numerischen Gerüste für paläo-ozeanographische und mikropaläontologische Transfer-Gleichungen. Deren Ergebnisse, die Proxydaten, sollen die Randbedingungen für dynamische Zirkulationsmodelle des nördlichen Nordatlantiks (Teilprojekt B4) beibringen.

## 11. TEILPROJEKT B3: Palökologie des Pelagials

11.11 Fachgebiet und Arbeitsrichtung: Geologie (Mikropaläontologie, Palökologie, Sedimentologie, Isotopengeologie, Geochemie, Paläozeanographie) Planktologie

## 11.12 Leiter:

Dr. C. Samtleben  
Geolog.-Paläon. Inst.  
und Museum der Univ.  
Ludewig Meyn Str. 10-12  
Tel.: (0431)880-2687

Prof. Dr. P. Schäfer  
Geolog.-Paläon. Inst.  
und Museum der Univ.  
Ludewig Meyn Str. 10-12  
Tel.: (0431)880-2855

## 11.13 Personal Anfang 1991

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
------------------------------------	-----------------------------	---	-------------------------

Grundausrüstung: Wissenschaftler

1) Baumann, K.-H. Dr., wiss. Ang.	Paläontologie GEOMAR	10	7/86
2) Bodungen, B.v. Dr., Priv. Doz., Oberass.	Planktologie IfM	beratend	7/85
3) Erlenkeuser, H. Dr., wiss. Ang.	Kernphysik IfK	beratend	7/85
4) Pflaumann, U. Dr., wiss. Ang.	Paläontologie GPI	beratend	7/85
5) Samtleben, C. Dr., wiss. Ang.	Paläontologie GPI	10	7/85
6) Sarnthein, M. Dr., Prof.	Paläo-Ozeanogr. GPI	beratend	7/85
7) Schäfer, P. Dr., Prof.	Paläontologie GPI	10	2/89
8) Thiede, J. Dr., Prof.	Paläo-Ozeanolog. GEOMAR	beratend	7/85

Grundausrüstung: nichtwiss. Mitarbeiter

9) Petersen, M. Büroang.	GPI	5	1/91
10) Reimann, W. techn. Ang.	GPI	20	7/85
11) Reimers, W. techn. Ang.	GPI	5	7/85
12) Schuldt, U. techn. Ang.	GPI	20	7/85
13) Stadelbauer, B. techn. Ang.	GPI	5	1/91



Ergänzungsausstattung: Wissenschaftler

14) Baumann, A. Dipl. Biol. Doktorandin	Mikropal. GPI	19,25	1/91
15) Kohly, A. Dipl. Geol. Doktorand	Mikropal. GPI	19,25	1/91
16) Schröder, A. Dipl. Geol. Doktorandin	Mikropal. GPI	19,25	1/91

## 11.2 Zusammenfassung

## Palökologie des Pelagials

Die bisherigen Untersuchungen im SFB 313 haben gezeigt, daß Plankton-Organismen die ozeanographischen Verhältnisse des Europäischen Nordmeeres widerspiegeln, da sie in ihrer Ökologie unmittelbar von der Hydrographie der Wassermassen abhängig sind. Bedingt durch unterschiedliche methodische Ansätze sind bisher jedoch nur einzelne Plankton-Gruppen isoliert untersucht worden. Die verschiedenen Gruppen müssen aber als Bestandteile von regional differenzierten Plankton-Gemeinschaften aufgefaßt werden, die nur in ihrer Gesamtheit die ozeanographischen Verhältnisse adäquat abbilden.

Es ist daher beabsichtigt, in der Antragsphase 1991-1993 die lebenden und fossilen Plankton-Gemeinschaften synoptisch zu untersuchen (synoptische Palökologie). Hierbei müssen wir uns auf die fossil überlieferungsfähigen Plankton-Gruppen (Foraminiferen, Coccolithophoriden, Radiolarien, Diatomeen, Silicoflagellaten, Dinoflagellaten, Chrysophyceen) beschränken. Die synoptischen Untersuchungen sollen an vier ausgewählten Stationen durchgeführt werden, die repräsentativ für die Hauptstromsysteme des nördlichen Nord-Atlantik sind. Als Gebiete sind vorgesehen im Norwegenstrom (1) das Vøring Plateau und (2) die Region westlich von Spitzbergen, im Ost-Grönlandstrom (3) die Region nordwestlich von Jan Mayen und als Vergleich im Nord-Atlantik (4) das Rockall Plateau (Abb.26).

Folgende Themen sollen bearbeitet werden:

- (1) Verbreitung und Synökologie skelett- und hüllenbildender Plankton-Gruppen im Pelagial;
- (2) Partikeltransport durch die Wassersäule und Veränderungen der planktischen Biozöosen;
- (3) Partikelsedimentation und Umstrukturierungen der Thanatozöosen planktischer Mikroorganismen;
- (4) Raum-zeitliche Verteilung von Planktonzöosen im Jungquartär des nördlichen Nord-Atlantik.

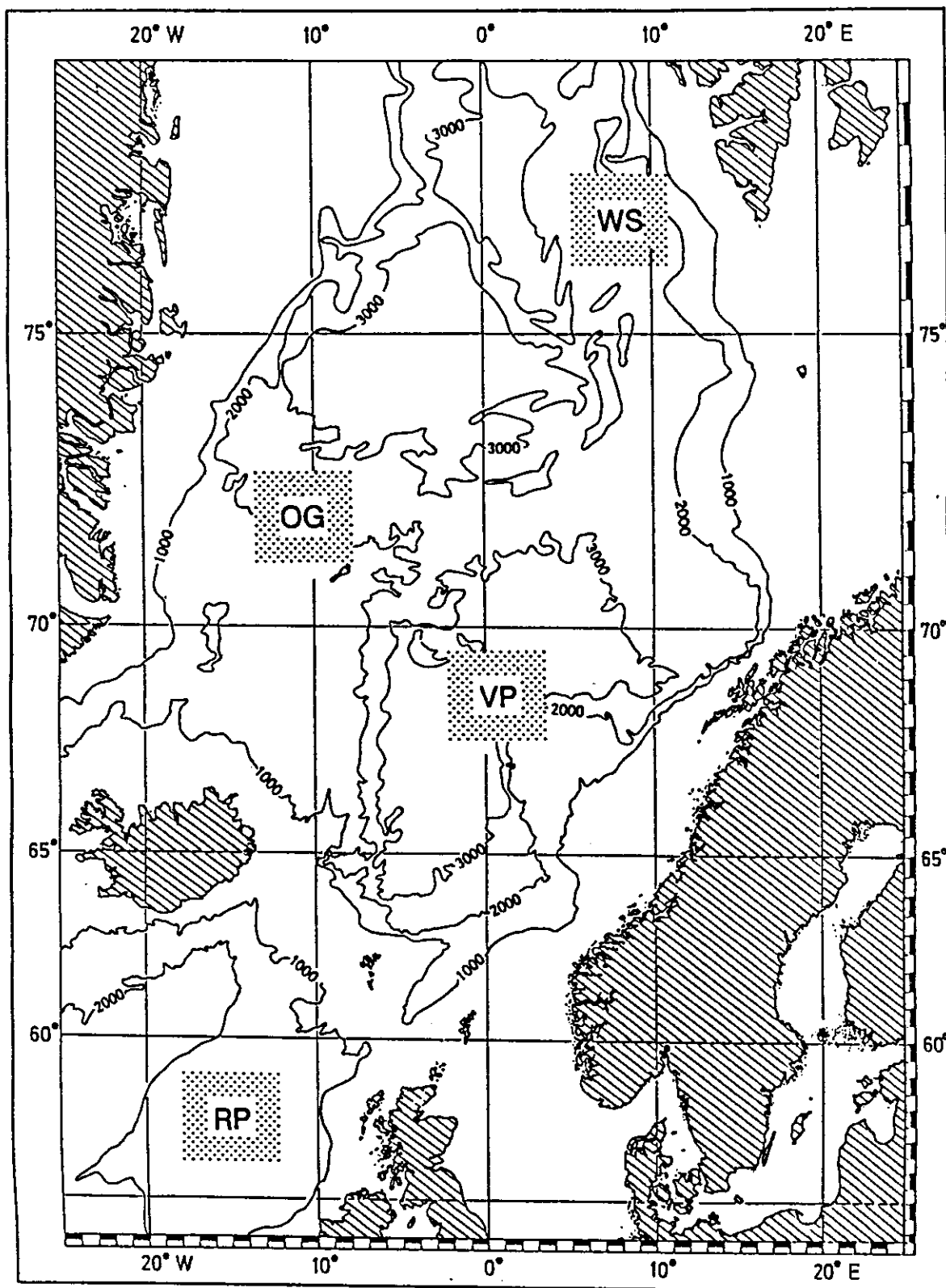


Abb. 26: Bereich der Lokationen für die vier repräsentativen Stationen im Europäischen Nordmeer: Rockall Plateau (RP), Vøring Plateau (VP), Westspitzbergen (WS) und Ostgrönland (OG)

Die Untersuchungen haben zum Ziel, die Herausbildung der Plankton-Gemeinschaften des nördlichen Nord-Atlantik in ihrer ökologischen Bedingtheit während des Jungquartärs zu verfolgen. Da die Sedimentation biogener Partikel durch klimatische, hydrographische und biologische Faktoren gesteuert wird, werden die Untersuchungen bessere Aussagen über das Paläo-Klima und die Paläo-Ozeanographie des Arbeitsgebietes und ihre Veränderungen im Verlauf des Jungquartärs möglich machen.

### 11.3 Stand der Forschung

Planktonorganismen sind die Basis der marinen Ökosysteme. Ihre Bedeutung liegt darin, daß sie (1) den Anfang der marinen Nahrungskette bilden, daß sie (2) über ihren Stoffwechsel Einfluß auf den  $O_2/CO_2$ -Gehalt der Atmosphäre und damit auf das Klima nehmen, und daß (3) ihre fossilen Reste die wichtigsten Indikatoren für die Rekonstruktion früherer Umweltverhältnisse sind.

Planktonzönosen spiegeln die ozeanographischen Verhältnisse, besonders in den Oberflächenwassermassen eines Seegebietes wider, da sie in Vorkommen und Zusammensetzung unmittelbar von der Hydrographie der Wassermassen abhängig sind. Es ist daher grundsätzlich möglich, mit Hilfe fossiler Planktongemeinschaften in marinen Sedimenten paläoozeanographische Verhältnisse vergangener Zeitabschnitte zu rekonstruieren.

Das lebende Plankton des Europäischen Nordmeeres wird seit mehr als 100 Jahren untersucht. Bisher sind jedoch nur einzelne Planktongruppen, bedingt durch unterschiedliche methodische Ansätze, isoliert bearbeitet und beschrieben worden. Das gilt auch für die verschiedenen Gruppen skelett- und hüllentragender Plankter, welche für die Rekonstruktion der paläoozeanographischen Verhältnisse der letzten 300 000 Jahre im Europäischen Nordmeer benutzt werden können. Dies betrifft folgende Phyto- und Zooplanktongruppen: Diatomeen, Coccolithophoriden, Silicoflagellaten, Chrysophyceen, Dinoflagellaten, Foraminiferen und Radiolarien.

Die Diatomeen sind die wichtigste Phytoplanktongruppe im Oberflächenwasser des Europäischen Nordmeeres, die alle anderen Gruppen in Artenzahl und Individuendichte deutlich übertrifft. Nach den Untersuchungen, die seit Ende des 19. Jahrhunderts durchgeführt werden, sind Diversität, Häufigkeit und Verbreitung der Diatomeen stark saisonalitäts- und wassermassengebunden (Paasche 1960, mit gutem Überblick), wobei die Position verschiedener ozeanographischer Fronten und die Eisrandlage eine wesentliche Rolle spielen. Wichtige Faktoren, welche das Wachstum der Diatomeen fördern oder limitieren, sind die Temperatur, die Salinität und die Nährstoffkonzentration.

Die Bereiche maximaler Phytoplankton-Produktion sind im Europäischen Nordmeer an die eindringenden atlantischen Oberflächenwassermassen gebunden. Entsprechend der komplexen Hydrographie können in Anlehnung an Paasche (1960) im Europäischen Nordmeer 4 größere Diatomeen-Provinzen unterschieden werden: (1) die Norwegische Küstenprovinz (Dominanz von *Nitzschia*-Arten), (2) die Atlantisch-Arktische Provinz (Dominanz von *Rhizosolenia styliformis* und *Chaetoceros debilis*), (3) die polar beeinflusste Atlantische-Arktische Provinz (Dominanz von *Rhizosolenia hebatata* f. *semispina* und *Thalassiotrix longissima*) sowie (4) die Polare Provinz (Dominanz von *Thalassiosira gravida*).

In Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres zeigt die Häufigkeit der Diatomeen eine von Ost nach West abnehmende Tendenz (Koc-Karpuz 1989). Die an Oberflächenproben bestimmten Verbreitungsgrenzen der von dieser Autorin unterschiedenen Diatomeen von Taphozöosen korrelieren mit den Oberflächenwassermassen. Die von Koc-Karpuz (1989) definierten Diatomeen sind: (1) die Gesellschaft des Norwegen-Atlantik Stroms mit *Thalassionema nitzschioides*, *Paralia sulcata* und *Rhizosolenia alata*, (2) die Gesellschaft der Arktischen Gruppe in der östlichen Grönland See mit *Thalassiosira gravida* (Sporen und vegetative Zellen) und *Thalassiosira leptopus*, (3) die Gesellschaft im Bereich jenseits der Frühjahrs Meer-Eis Grenze, (4) die westliche Mischgesellschaft aus Arktischem und Norwegische See-Wasser mit *Rhizosolenia hebatata* f. *semispina*, *Rhizosolenia styliformis* und *Thalassiotrix longissima*, und (5) die östliche Mischgesellschaft aus Arktischem und Norwegische See-Wasser mit *Thalassiosira gravida* (vegetative Zellen).

Während auf dem Vøring Plateau Diatomeen in wechselnder Häufigkeit durch das gesamte Holozän vorhanden sind, fehlen sie in den Gebieten weiter nördlich und westlich davon tiefer als 50 cm im Sediment (Pedersen et al., 1988). In Sedimenten vor Grönland fehlen Diatomeen im allgemeinen ganz.

In Kernen vom Skagerrak und vom Vøring Plateau läßt sich ein Diatomeenmaximum über der Vedde-Asche (10.6 Ka) erkennen. Dieses Maximum erscheint auch in Kernen weiter westlich und in Kernen aus der Framstraße, hier allerdings nur als isolierter Diatomeen-Peak (Stabell 1986). In älteren pleistozänen Sedimenten sind nur isolierte Vorkommen von Diatomeen bekannt (Schrader und Fenner 1976).

Die Coccolithophoriden sind eine weitere dominante Gruppe des Phytoplanktons und bilden eine hauptsächliche Nahrungsquelle für das Zooplankton. Das Vorkommen der Arten ist nach Geitzenauer et al. (1976) zwar mit der Temperatur des Oberflächenwassers korreliert, vor allem aber von der Lichtintensität und dem Nährsalzangebot abhängig. Im Europäischen Nordmeer ist das Auftreten der Coccolithophoriden mit der Nordatlantikdrift verbunden, welche Nannoplankton-Populationen aus dem Atlantik in dieses Gebiet transportiert (Ramsfjell 1960; Rey 1981; Sakshaug et al. 1981). Dementsprechend nehmen die Artenzahlen von mehr als 20 in der südlichen Norwegischen See nach Norden und Westen hin ab. In der

Framstraße und im Bereich des Ostgrönlandstromes finden sich nur noch zwei Arten: die Kaltwasserform *Coccolithus pelagicus* und die extrem eurytherme Art *Emiliana huxleyi*.

In der Norwegischen See zeigt sich im Jahresverlauf eine deutliche Saisonalität mit hohen Arten- und Individuenzahlen in den Monaten Juli/August und niedrigen Werten von Januar bis März (Halldal 1953); Regelmäßigkeiten im Jahresgang der Nannoplankton-Produktion ergeben sich jedoch erst im mehrjährigen Mittel (Okada und McIntyre 1979). Im allgemeinen kann nach Norden und Westen eine Verschiebung des Produktionsmaximums in den Herbst hinein beobachtet werden.

Für den Vertikalfluß von Coccolithophoriden spielen die Aktivitäten herbivorer Planktonorganismen eine entscheidende Rolle, da ihre Kotballen das hauptsächliche Transportmittel für Nannoplankton-Partikel zum Meeresboden sind (Honjo 1976). Die Mehrzahl der Coccolithophoriden-Arten wird bei der Beweidung und der Kotballenbildung durch das Zooplankton mechanisch zerkleinert, wodurch eine spätere Karbonatlösung erheblich verstärkt wird. Hierdurch ergibt sich am Meeresboden eine relative Anreicherung von großen und stabilen Formen.

Ähnlich verzerrte Coccolithen-Gemeinschaften sind auch für die quartären Ablagerungen des Europäischen Nordmeeres anzunehmen. Coccolithen in Quartär-Sedimenten dieses Gebietes sind bisher vorwiegend für stratigraphische Aussagen herangezogen worden (Gard 1988). Hiernach kommen sie nur in Sedimenten aus Warmzeiten vor und zeigen in den verschiedenen Stadien unterschiedliche Artenzusammensetzungen. Für den Bereich nördlich des Island-Färöer-Rückens wurde für die letzten 500 000 Jahre eine Zonierung mit Coccolithen aufgestellt, die vor allem das Vorkommen von systematisch nicht gegliederten Gattungen und Artengruppen benutzt. Auffällig ist, daß besonders in den "warmen" Interglazialzeiten (Stadien 5 und 11) eine deutliche Diskrepanz zwischen der Sauerstoffisotopen-Kurve und dem Auftreten von Coccolithen besteht (Gard 1988; Baumann 1990).

Silicoflagellaten sind in den rezenten Meeren nur mit wenigen Arten vertreten; so finden sich im Plankton des Europäischen Nordmeeres nur die beiden Arten *Distephanus speculum* und *Dictyocha messamensis*, während *Distephanus speculum* als Kaltwasser-Art mit hohen Individuendichten in arktischen und antarktischen Gebieten vorkommt, ist *Dictyocha messamensis* eine Warmwasser-Art mit höchsten Individuendichten in den niederen Breiten. In Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres und in Sedimentkernen (Locker und Martini 1989) sind beide Arten nur sporadisch gefunden worden.

Chrysophyceen sind ein häufiger Bestandteil der Plankton-Gemeinschaften des Europäischen Nordmeeres und nur durch ihre Zysten fossil überlieferungsfähig. Spezielle Untersuchungen zur Ökologie und Verbreitung der rezenten Chrysophyceen gibt es weder für das Nordmeer noch für andere Meeresteile.

In quartären Sedimenten kommen Chrysophyceen-Zysten nur sporadisch vor (Schrader und Fenner 1976, Locker und Martini 1989). Bemerkenswert ist jedoch, daß sie anscheinend auch während kühlerer Klimaperioden auftreten.

Dinoflagellaten sind Plankter, die sowohl autotroph als auch heterotroph leben und fossil nur durch ihre Zysten nachweisbar sind. Untersuchungen an Plankton-Gemeinschaften aus verschiedenen Meeresgebieten haben ergeben, daß die Dinoflagellaten mit ihren Individuendichten an die Diatomeen und Coccolithophoriden heranreichen können (Tappan 1980). Über die Biogeographie der lebenden Dinoflagellaten des Europäischen Nordmeeres gibt es nur wenige detaillierte Untersuchungen. Die Planktonzönosen werden im allgemeinen von Arten dominiert, die keine Zysten ausbilden (Halldal 1953, Paasche 1960). Die Verbreitung von Dinoflagellaten mit einem Zystenstadium ist im Untersuchungsgebiet, mit Ausnahme einzelner Arten (z.B. *Gonyaulax spinifera*, Taylor 1987), weitgehend unbekannt.

Da ungefähr die Hälfte aller bisher beschriebenen Taxa heterotroph vorkommt (Taylor 1987), ist zu vermuten, daß ihre Ökologie nicht nur von den Faktoren Temperatur, Salinität und Licht bestimmt wird, sondern auch vom Nahrungsangebot und den Freßverhältnissen in den pelagischen Biozönosen. Es konnte nachgewiesen werden, daß zahlreiche Arten der heterotrophen Gattung *Protoperidinium* phagotroph leben und sich von Diatomeen ernähren (Jacobsen und Anderson 1986).

Dinoflagellaten-Zysten werden im Gegensatz zu den Skeletten anderer Planktergruppen beim Absinken durch Lösungsvorgänge in der Wassersäule nicht verändert. Von den lebenden Dinoflagellaten-Gemeinschaften bleibt dennoch nur ein geringer Teil fossil erhalten, weil viele Arten keine Zysten erzeugen (Dale 1983). Untersuchungen an Sinkstofffallen aus dem Europäischen Nordmeer haben jedoch ergeben, daß sich charakteristische Zysten-Assoziationen definieren lassen, die durch die Hydrographie der Oberflächenwassermassen bestimmt sind (Dale und Dale 1990).

Die Verbreitung der Dinoflagellaten-Zysten in den Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres ist bisher nur in den Grundzügen bekannt. Das großräumige Verteilungsmuster einzelner Gattungen und Arten im Nordatlantik und in der angrenzenden südlichen Norwegischen See legt jedoch die Vermutung nahe, daß sich die Hydrographie der Oberflächenwassermassen auch in den Taphozönosen widerspiegelt (Harland 1983).

Die Diversität der Dinoflagellaten-Zysten in den Oberflächensedimenten ist nach Harland (1983) gering. *O. perculodinium centrocarpum* dominiert die Gemeinschaften im östlichen Teil des Europäischen Nordmeeres; diese Art ist zusammen mit *Nematosphaeropsis labyrinthea* an den Einfluß von warmem nordatlantischem Wasser gebunden. Arten der Gattung *Impagidinium* dokumentieren einen Transport über größere räumliche Distanzen, da sie überwiegend in warm gemäßigten Gebieten vorkommen. *Spiniferites elongatus* ist dagegen eine an kühl gemäßigte Verhältnisse adaptierte Art.

Zahlreiche weitere Zysten-Arten lassen sich, bedingt durch taxonomische Probleme und geringe Häufigkeit in den Sedimenten, nicht eindeutig ökologisch interpretieren.

Untersuchungen an Sedimentkernen aus dem Nordatlantik und dem östlichen Teil des Europäischen Nordmeeres haben gezeigt, daß Dinoflagellaten-Zysten überwiegend in den Interglazialen vorkommen und daß die Diversität der Gemeinschaften niedrig ist (Harland 1984, Aksu et al. 1989). Geringe Häufigkeiten und das Aussetzen über längere Zeiträume in den kälteren Isotopenstadien weisen darauf hin, daß auch diese Planktongruppe stark vom Einfluß des warmen Nordatlantik-Wassers abhängig ist.

Planktische Foraminiferen sind in allen Klimabereichen der Ozeane vertreten. Im Plankton des Europäischen Nordmeeres kommen hauptsächlich sechs Arten in unterschiedlicher Häufigkeit vor. Während *Neogloboquadrina pachyderma* sin. polare bis subpolare Wassermassen kennzeichnet, sind *N. pachyderma* dex., *Globigerina bulloides*, *G. quinqueloba*, *Globigerinita glutinata*, *G. uvula* und *Orbulina universa* Arten des subpolaren bis gemäßigten Bereichs (Kennett und Srinivasan 1983). Im allgemeinen werden die Foraminiferen-Gemeinschaften von *N. pachyderma* dominiert. Die relative Häufigkeit dieser Art nimmt nach Norden und nach Westen hin zu und scheint demnach mit niedrigen Temperaturen gekoppelt zu sein; im arktischen Ozean kommt nur noch *N. pachyderma* vor (Kipp 1976).

Ökologische Untersuchungen über die genannten Arten stammen vorwiegend aus dem subarktischen Pazifik (Sautter und Thunell 1989), dessen hydrographisches Regime jedoch nicht direkt mit dem des Europäischen Nordmeeres vergleichbar ist. Besonderes Interesse verdient *N. pachyderma*, da sie in zwei temperaturabhängigen Morphotypen - einer links- und einer rechtsgewundenen Form - vorkommt (Ericson 1959).

Neben dem Windungsverhalten zeigt diese Art auch eine beträchtliche Variation in der Struktur der Schalenoberfläche, der Anzahl der Kammern und der Ausbildung der Mündung. Nach Sautter und Thunell (1989) wird die Gehäuseform stark von saisonalen Veränderungen des hydrographischen Regimes beeinflusst, insbesondere von der Schichtung und dem Nährstoffgehalt der Wassermassen. So kommen linksgewundene Formen mit krustiger Schale vorwiegend in den oberen 100 m vor, die eine Temperatur von weniger als 8°C aufweisen. Rechtsgewundene Formen sind dagegen bei Temperaturen über 8°C und einer gut ausgebildeten Thermokline in den obersten 5-20 m häufig. Untersuchungen an lebenden Populationen von *N. pachyderma* haben ergeben, daß die Hauptverbreitung der juvenilen und subadulten Formen in den oberen 200 m liegt; unterhalb von 200 m steigt die Häufigkeit der älteren Formen mit sekundärer Kalzitkruste (Spindler 1988). Verkrustungen der Schale sind ein Zeichen von Maturität; sie bewirken ein Absinken der reproduktionsreifen Individuen in größere Tiefen. Niedrige Wassertemperaturen können jedoch auch zur Bildung von sekundären Kalzitkrusten führen (Hemleben et al. 1989).

Nach Hemleben et al. (1989) korreliert das bevorzugte Tiefenhabitat von planktischen Foraminiferen mit ihrer Gehäusemorphologie und der Oberflächenornamentation und hängt stark vom Reproduktionszyklus ab. Es zeigt sich z.B., daß spinose und nicht-spinose Arten unterschiedliche Tiefen besiedeln. Diese vertikale Trennung ist auf unterschiedliche Temperaturen und andere physikalische sowie biologische Faktoren zurückzuführen; sie ist stärker in tropischen und subtropischen Regionen als in höheren Breiten ausgeprägt.

Das Ernährungsverhalten der planktischen Foraminiferen wird ausführlich in Hemleben et al. (1989) diskutiert. Nicht-spinose Arten ernähren sich hauptsächlich von Diatomeen, aber auch von Dinoflagellaten, und in Laborexperimenten werden auch Coccolithophoriden akzeptiert. Daraus ergibt sich, daß nicht-spinose Formen häufiger in eutrophen Gewässern mit hoher Phytoplanktonproduktion (z.B. in Auftriebsgebieten und diatomeenreichen antarktischen Gewässern) vorkommen, während spinose Formen mit Zooplankton als Hauptnahrungsquelle häufiger in oligotrophen Gewässern sind. Die zeitliche und räumliche Verteilung einzelner Arten ist daher wahrscheinlich an Häufigkeit und Variabilität der Nahrung gebunden (Hemleben et al. 1989).

Vergleiche zeigen, daß auch bei den Foraminiferen starke Unterschiede zwischen den Gemeinschaften in der Wassersäule und im Oberflächensediment bestehen. Nach Sautter und Thunell (1989) ist das darauf zurückzuführen, daß die Schalen der Arten unterschiedlich gelöst werden. Die Taphozönose auf dem Vøring Plateau unterhalb des relativ warmen Norwegenstromes ist durch die hohe Anreicherung von *G. bulloides* und *G. quinqueloba* gekennzeichnet (Kipp 1976). Dieses Vorkommen von *G. quinqueloba* ist besonders auffällig, da diese Art wegen ihrer starken Anfälligkeit gegenüber Lösung anormalerweise im Sediment in den Hintergrund tritt.

In Sedimentkernen charakterisieren die subpolaren bis gemäßigten Foraminiferen-Arten eindeutig interglaziale Phasen. Aufgrund ihrer weiten geographischen und stratigraphischen Verbreitung und ihrer Häufigkeit wird besonders *N. pachyderma* sin. für Isotopenuntersuchungen herangezogen (vergl. TP B2).

Radiolarien, die ein Opalskelett ausbilden, sind mit ca. 90 Arten im Plankton des gesamten Europäischen Nordmeeres vertreten (ältere Autoren in Braudt 1901-1929, Björklund und Co-Autoren, siehe Text). Generell kann festgestellt werden, daß die Artenzahlen im Verlauf des Norwegenstroms vom Färøer Kanal (ca. 45) über Spitzbergen (ca. 30) bis in den zentralen Arktischen Ozean (< 10) stark abnehmen. Das Gebiet, das ausschließlich durch den Ost-Grönlandstrom beeinflusst wird, ist durch relativ niedrige Artenzahlen (< 20) gekennzeichnet. Nach Kruglikova (1989) weisen im arktischen Plankton die Arten *Amphimelissa setosa*, *Echinomma leptodermum* und *Spongotrochus glacialis* die weiteste Verbreitung und größten Häufigkeiten auf.



Die Temperatur- und Salinitätsabhängigkeit der Radiolarien-Arten ist vermutlich auch in erheblichem Maße für das Muster ihrer Vertikalverteilung in bestimmten Regionen verantwortlich. Im Gegensatz zu den bisher betrachteten Planktergruppen treten bei den Radiolarien neben den Oberflächen-Gemeinschaften deutlich unterschiedene Tiefenwasser-Gemeinschaften auf, die durch einen abweichenden Artenbestand und den Habitus einzelner Arten charakterisiert sind (Hülsemann 1963, Kruglikova 1989).

Als primäre Konsumenten weisen die Radiolarien im allgemeinen maximale Populationsstärken zur Zeit von Phytoplankton-Blüten oder kurz danach auf (Bathmann et al., in press, Noji 1989). Nach Björklund (1974) stellen wahrscheinlich auch Ciliaten einen wesentlichen Anteil der Radiolarien-Nahrung.

Viele Radiolarien-Skelette erreichen den Meeresboden ohne größere Veränderung. Lösung der Opalsubstanz tritt weniger in der Wassersäule als am Meeresboden auf. In den höheren Breiten ist der Kieselsäureverlust deutlich größer als in den niederen Breiten (Takahashi und Honjo 1981).

Nach Petrushevskaya und Björklund (1974) und Goll und Björklund (1985) zeichnen die Radiolarien der Oberflächensedimente den Einflußbereich wärmerer Wassermassen im Europäischen Nordmeer nach. So finden sich Radiolarien-Skelette im wesentlichen nur in Sedimenten der Island-See und unterhalb des Norwegen-Stroms bis zur Höhe von Spitzbergen; in den Sedimenten der Grönland-See fehlen sie dagegen weitgehend. Die höchsten Radiolarien-Dichten wurden mit 50 000 Individuen/g Sediment auf dem Island-Plateau und im Norwegen-Becken nachgewiesen.

In postglazialen Sedimenten begleiten die Radiolarien im allgemeinen die Diatomeen mit geringen Individuenzahlen von ihrem ersten Auftreten bei ca. 12000 Jahren bis zur Gegenwart (Jansen und Björklund 1985). In älteren Sedimenten des Quartärs treten Radiolarien nur sporadisch auf (Björklund 1976).

Kommentar: Die Planktonbearbeitungen im Europäischen Nordmeer sind bisher isoliert an einzelnen Gruppen mit verschiedenen, gruppenabhängigen Methoden durchgeführt worden. Daher sind die Interpretationen, welche die steuernden ökologischen Faktoren nennen, unterschiedlich und zum Teil widersprüchlich. Dies betrifft insbesondere den Temperaturverlauf im Jungquartär, der von vielen Bearbeitern als Hauptfaktor quasi monokausal für das Vorkommen und die Häufigkeit von Planktongruppen und -arten verantwortlich gemacht wird. Die Berücksichtigung weiterer ökologischer Faktoren, die für die verschiedenen Planktongruppen von unterschiedlicher Bedeutung sind, kann ein mehrdimensionales Bild der palökologischen Verhältnisse liefern und damit den Gesamtzustand des Ökosystems besser wiedergeben.

## Literatur

- Aksu, A.E., de Vernal, A. und P.J. Mudie (1989): High resolution foraminifer, palynologic and stable isotope records of upper Pleistocene sediments from the Labrador Sea: Paleoclimatic and paleoceanographic trends. - In: Srivastava, S.P., Arthur, M., Clement, B. et al.; Proc. ODP, Scien. Res., 106: 617-652.
- Bathmann, U.V., Noji, P.T. und Bodungen, B.v. (1990): Copepode grazing potential in late winter in the Norwegian Sea- A factor in the control of spring phytoplankton growth?- Mar. Ecol. Prog. Ser., 60: 225-233.
- Bathmann, U.V., Peinert, R., Noji, T. und B. von Bodungen (im Druck): Pelagic origin and fate of sedimenting particles in the Norwegian Sea. - Progr. Oceanogr.
- Bauch, H. (1990): Vertikale Verteilung planktischer Foraminiferen als Anzeiger für spätglaziale Klimawechsel im Europäischen Nordmeer.- Geotagung 1990, Abstract, Bremen.
- Baumann, K.-H. (1990): Veränderlichkeit der Coccolithophoridenflora des Europäischen Nordmeeres im Jungquartär. - Diss., Ber. SFB 313, Univ. Kiel.
- Björklund, K.R. (1974): The seasonal occurrence and depth zonation of radiolarians in Korsfjorden, western Norway. - Sarsia, 56: 13-42.
- Björklund, K.R. (1976): Radiolaria from the Norwegian Sea, Leg 38 of the Deep Sea Drilling Project. - Init. Repts. DSDP, 38: 1101-1168.
- Brandt, K. (1901-1929): Nordisches Plankton, Bd. 7, Protozoa.
- Dale, B. (1983): Dinoflagellate resting cysts: "benthic plankton". - in: G.A. Fryxell (Hrsg.); Survival strategies of the algae, S. 69-144.
- Dale, B. und Dale, A. (1990): Dinoflagellate cysts as paleoclimatic indicators in the Nordic Seas.- Geonytt, 1: 39 pp.
- Ericson, D.B. (1959): Coiling direction of *Globigerina pachyderma* as a climatic index. - Science, 170: 219-220.
- Gard, G. (1988): Late Quaternary calcareous nannofossil biochronology and paleo-oceanography of Arctic and subarctic seas. - Medd. Stockholms Univ. Geol. Inst., 275: 45 pp.
- Geitzenauer, K.R., Roche, M.B. und A. McIntyre (1976): Modern Pacific coccolith assemblages: derivation and application to Late Pleistocene paleotemperature analysis.- In: Cline, R.M. und J.D. Hays (Hrsg.); Investigations of Late Quaternary Paleooceanography and Paleoclimatology; Geol. Soc. Am. Mem., 145: 423-448.
- Goll, R.M. und Björklund, K.R. (1985): *Nephrospyris knutheieri* sp.n., an extant trissocyclid radiolarian (Polycystinea: Nassel larida) from the Norwegian-Greenland Sea. - Sarsia, 70: 103-118.
- Halldal, P. (1953): Phytoplankton investigations from weather ship M in the Norwegian Sea, 1948-49. - Norske Vid. Akad. Hvalrad. Skr., 38: 1-91.
- Harland, R. (1983): Distribution maps of recent dinoflagellate cysts in bottom sediments from the North Atlantic Ocean and adjacent seas. - Paleontology, 26: 321-387.

- Harland, R. (1984): Recent and late Quaternary dinoflagellate cysts from the area of the Greenland-Iceland-Faeroe-Scotland Ridge. - *J. micropal.*, 3 (2): 95-108.
- Hemleben, C., M. Spindler und O.R. Anderson (1989): Modern planktonic foraminifera, 363 pp.
- Honjo, S. (1976): Coccoliths: Production, transportation and sedimentation. - *Mar. Micropal.*, 1: 65-79.
- Hülsemann, K. (1963): Radiolaria in plankton from the Arctic Drifting Station T-3, including the description of three new species. - *Techn. Pap. N. Am. Arct. Inst.*, 13: 1-52.
- Jacobsen und Anderson (1986): Thecate heterotrophic dinoflagellates: Feeding behaviours and mechanisms. - *J. Phycol.*, 22: 249-258.
- Jansen, E. und K.R. Björklund (1985): Surface ocean circulation in the Norwegian Sea 15 000 B.P. to present. - *Boreas*, 14: 243-257.
- Kassens, H. (1990): Verfestigte Sedimentlagen und seismische Reflektoren: Frühdiagenese und Paläo-Ozeanographie in der Norwegischen See. - *Diss.*, Ber. SFB 313, Univ. Kiel.
- Kennett, J.P. und M.S. Srinivasan (1983): Neogene planktonic foraminifera. A phylogenetic atlas: 265 pp.
- Kipp, N.G. (1976): New transfer function of estimating past seasurface conditions from sea-bed distribution of planktonic foraminiferal assemblages in the North Atlantic. - *Geol. Soc. Am. Mem.*, 145: 3-41.
- Koç Karpuz, N. (1989): Surface sediment diatom distribution and Holocene paleotemperature variations in the GIN Sea. - *POC-NAVF-Contr.* 5, Univ. Bergen, 128 pp.
- Kruglikova, S.B. (1989): Arctic Ocean Radiolarians. - In Herman, Y. (Hrsg.); *The Arctic Seas*, 461-480.
- Locker, S. und Martini, E. (1989): Cenozoic silicoflagellates, ebridians, and actiniscidians from the Voering Plateau (ODP Leg 104). - *Proc. ODP, Sci. Res.*, 104: 543-585.
- Noji, T. (1989): The influence of zooplankton on sedimentation in the Norwegian Sea. - *Diss.*, Ber. SFB 313, 17: 1-183.
- Okada, H. und A. McIntyre (1979): Seasonal distribution of modern coccolithophores in the western North Atlantic Ocean. - *Mar. Biol.*, 54: 319-328.
- Paasche, E. (1960): Phytoplankton distribution in the Norwegian Sea in June, 1954, related to hydrography and compared with primary production data. - *Rep. Norweg. Fish. Invest.*, 12 (11): 1-77.
- Pedersen, J., Stabell, B. und K.R. Björklund (1988): Sediment cores from the Norway Basin and the Jan Mayen Ridge: preliminary litho- and biostratigraphy. - *Inst. for Geol., Univ. i Oslo, Int. Skr.*, 53: 1-40.
- Petrushevskaya, M.G. und Björklund, K.R. (1974): Radiolarians in Holocene sediments of the Norwegian-Greenland Seas. - *Sarsia*, 57: 33-46.
- Ramsfjell, E. (1960): Phytoplankton distribution in the Norwegian Sea in June, 1952 and 1953. - *Rep. Norweg. Fish. Invest.*, 12 (10): 1-113.
- Rey, F. (1981): The development of the spring phytoplankton outburst at selected sites off the Norwegian Coast. - in: Saetre R. und M. Mork (eds.); *The Norwegian Coastal Current*, 2, Univ. Bergen: 649-680.

- Sakshaug, E., S. Myklestad, K. Andersen, E.N. Hegseth und L. Jørgensen (1981): Phytoplankton of the Møre Coast in 1975-1976: distribution, species composition, chemical composition and conditions for growth. - in: Saetre, R. und M. Mork (Hrsg.); The Norwegian Coastal Current, Univ. Bergen: 681-711.
- Sautter, L. und R.C. Thunell (1989): Seasonal succession of planktonic foraminifera. Results from a four year time-series sediment trap experiment in the Northeast Pacific. - J. foram. Res., 19 (4): 253-267.
- Schrader, H.J. und Fenner, J. (1976): Norwegian Sea Cenozoic diatom biostratigraphy and taxonomy. Part 1: Norwegian Sea diatom biostratigraphy. Part 2: Diatoms at Leg 38, taxonomic references. - Init. Repts. DSDP, 38: 921-1099.
- Smetacek, V.S. (1985): Role of sinking in diatom life-history cycles: ecological, evolutionary and geological significance. - Mar. Biol., 84: 239-251.
- Spindler, M. (1988): Zur Ökologie der planktonischen Foraminifere *Neoglobobulimina papyrifera*. - Alfred-Wegener-Inst., Zweijahresber. 1986/87: 115-117.
- Stabell, B. (1986): A diatom maximum horizon in upper quaternary deposits. - Geol. Rdsch., 75 (1): 175-184.
- Takahashi, K. und Honjo, S. (1981): Vertical flux of Radiolaria: A taxon-quantitative sediment trap study from the western tropical Atlantic. - Micropal., 27: 140-190.
- Tappan, H. (1980): The paleobiology of Plant Protists; Freeman and Comp., 1028 pp.
- Taylor, F.J.R. (1987): The biology of dinoflagellates, Blackwell Sci. Publ., 785 pp.

#### 11.4 Eigene Vorarbeiten

Das Teilprojekt B3 soll im SFB 313 Untersuchungen zur synoptischen Ökologie und Palökologie des Planktons im Europäischen Nordmeer durchführen. Dazu haben sich Mitarbeiter aus verschiedenen Teilprojekten und Spezialisten, die bisher außerhalb des SFB 313 gearbeitet haben, zusammengeschlossen. Die bisherigen Arbeiten beschränkten sich auf Teilaspekte einzelner Planktongruppen und erfolgten zu einem erheblichen Teil außerhalb des SFB 313.

Die Diatomeen aus dem Quartär des Europäischen Nordmeeres wurden in zwei Diplomarbeiten untersucht (Rump-Schenk 1988, Ruff 1988). Es wurde gezeigt, daß die Häufigkeit der Diatomeen in holozänen Sedimenten der Norwegischen See vom Vøring Plateau nach Westen hin abnimmt. Während auf dem Vøring Plateau Diatomeen durchgehend, aber zum Teil selten im Holozän und Spätpleistozän vorkommen, sind sie weiter westlich auf die Oberflächensedimente und einzelne Diatomeenmaxima beschränkt: 10.6 Ka, Isotopenstadien 3, 6 (Stabell 1986, 1987; Rump-Schenk 1988; Kassens 1990; Vogelsang 1990).

Arbeiten über Diatomeen im Pleistozän/Holozän des Chatham Rückens vor Neuseeland behandeln ähnliche Fragen der Fossilisation von Diatomeen, der ökologischen Limitierung der Arten und ihrer paläoozeanischen Aussagekraft, wie sie für das Teilprojekt B3 im Europäischen Nordmeer vorgesehen sind (Fenner et al., Manuskript.).

Die Sedimentation von Coccolithen wurde an Material aus drei zeitgesteuerten Sinkstofffallen untersucht, die im Verlauf des Norwegenstromes im Lofotenbecken (1983/84), bei der Bäreninsel und in der Framstraße (1984/85) verankert waren (Samtleben und Bickert 1990). Die Coccolithenansammlungen wurden fast ausschließlich von den zwei Arten *Emiliania huxleyi* und *Coccolithus pelagicus* gebildet. Die Sedimentation in den tiefhängenden Fallen zeigte im Jahresverlauf eine Saisonalität, die mit ein- bis zweimonatiger Verspätung der Nannoplanktonproduktion in der photischen Zone nachfolgte.

Auf einem Transekt von Norwegen über Jan Mayen nach Grönland (August-September 1988) wurden die lebenden Coccolithophoriden-Gemeinschaften in der Wassersäule mit den Coccolithenansammlungen im Oberflächen-Sediment verglichen (Samtleben und Schröder 1990). Relativ artenreiche Gemeinschaften im Osten des Gebietes zeigen nach Westen eine kontinuierliche Verarmung, wobei sich eine zunehmende Dominanz von *C. pelagicus* herausbildet. Im Oberflächensediment finden sich Coccolithenansammlungen, die aus maximal 5 Arten bestehen und stark verzerrte Artenanteile aufweisen. Den weitaus größten Teil der Sedimentgemeinschaften bilden wieder *E. huxleyi* und *C. pelagicus*, doch reichen Vorkommen und Zahlenverhältnisse dieser beiden Arten aus, um die Oberflächenströme in diesem Seegebiet abzubilden. Unter dem warmen atlantischen Wasser des Norwegenstromes bilden Coccolithen bis zu 20% des Oberflächensediments.

An Kernen aus dem Europäischen Nordmeer hat Baumann (1990) ökostratigraphische Untersuchungen von jungquartären Coccolithen-Gemeinschaften durchgeführt. Coccolithen-Ansammlungen finden sich nur in Sedimenten aus Interglazial-Zeiten und stehen im Zusammenhang mit dem Einstrom von warmem atlantischen Oberflächenwasser. Aufgrund der hochauflösenden Sauerstoffisotopen-Stratigraphie (Vogelsang 1990) konnten zeitliche Veränderungen der Gemeinschaften detailliert nachgewiesen werden. Innerhalb der Interglaziale wird ein gleichartiges Einsetzen und Ausscheiden verschiedener Arten festgestellt; so dominiert *C. pelagicus* in den Übergangsphasen, während die klimatischen Optima durch artenreichere Gemeinschaften mit einem geringen Anteil sogar subtropischer Formen (*Helicosphaera carteri*, *Syracosphaera pulchra*) gekennzeichnet sind. Allerdings zeigen sich in den verschiedenen Interglazialen große Unterschiede in den Artenhäufigkeiten, die sowohl auf unterschiedliche ökologische Bedingungen als auch auf die biologische Evolution der Gephyrocapsaceae (Samtleben 1980) zurückzuführen sind. In der Abfolge der dominanten Arten zeigt sich vom Stadium 9 zu 5 ein Wechsel von *Gephyrocapsa margereli* zu *G. muelleriae*, von Stadium 5 zu 1 ein Wechsel von *G. muelleriae* zu *E. huxleyi* (Baumann 1990). Diese Art bildet heute im Europäischen Nordmeer die stärksten Blütenphasen.

Silicoflagellaten sind im Rahmen des ODP-Leg 104 aus quartären Sedimenten vom Vøring Plateau stratigraphisch bearbeitet worden (Locker und Martini 1989). Sie treten im Quartär nur sporadisch auf und sind hier anscheinend an besonders warme Interglaziale gebunden.

Dinoflagellaten-Zysten aus Oberflächensedimenten des Europäischen Nordmeeres dokumentieren, daß ihre Verbreitung von der Hydrographie der Oberflächenwassermassen abhängt (Matthiessen 1989). Gemeinschaften mit Arten der Gattung *Protoperidinium* kennzeichnen den Ostgrönlandstrom, Gesellschaften mit *Operculodinium centrocarpum* den Norwegenstrom. Bemerkenswert ist, daß die Dinoflagellaten-Gemeinschaft des Norwegenstromes in ihrer Artenzusammensetzung bis zum Yermak Plateau bei 83° N zu verfolgen ist. Für die Verbreitung einzelner Arten scheinen demnach die ozeanographischen Fronten entscheidende biogeographische Grenzen zu sein.

Ein erster Ansatz zu synoptischen Arbeiten wurde mit Coccolithen und Dinoflagellaten durchgeführt: Holozäne und spätweichselzeitliche Abfolgen, die im Verlauf des Norwegenstromes untersucht wurden, zeigen, daß Veränderungen in der Zusammensetzung der Coccolithen- und Dinoflagellaten-Gemeinschaften zeitgleich erfolgen und sich mit einschneidenden klimatischen Veränderungen korrelieren lassen (Baumann et al. 1989, Baumann und Matthiessen, 1990). Ein erster Anstieg zu höheren Zahlen von Coccolithen und Dinoflagellatenzysten kann mit Beginn des Holozäns beobachtet werden. Eine Veränderung in den Arten-Gemeinschaften vor 7000-8000 Jahren zeigt den Übergang von kühleren Bedingungen im frühen Holozän zu den wärmeren des Atlantikums an.

Aus dem Gebiet des Vøring Plateaus wurden zwei Kastenlotkerne (KAK) auf planktische Foraminiferen untersucht. Während die Faunen im Präholozän von *Neogloboquadrina pachyderma* dominiert werden, zeigen holozäne Sedimente Anreicherungen von subpolaren bis gemäßigten Arten bis zu 65 %.

Aufgrund der starken morphologischen Variabilität werden bei *N. pachyderma* etwa 20 intraspezifische Varianten ausgeschieden, die zum Teil stratigraphische, paläoozeanographische oder paläoklimatische Bedeutung haben (Bauch, unpubl.).

Aus Hochsedimentationsgebieten am Kontinentalhang des Vøring Plateaus und am Barentssee-Schelf wurden Radiolarien aus postglazialen Sedimenten bearbeitet (Locker 1990). Der KAL-Kern 23312 vom Kontinentalhang des Vøring Plateaus lieferte ein umfangreiches Postglazial-Profil, das wahrscheinlich im Alleröd beginnt und von der Basis an Radiolarien und Diatomeen führt. Die Radiolarien-Faunen des Holozäns sind mit 30 Spumellarien-, 39 Nassellarien- und 6 Phaeodarien-Arten hochdivers. Die Artenzahlen liegen weit über denen, die bisher für Sedimente des Europäischen Nordmeeres angegeben wurden. Bemerkenswert ist insbesondere die hohe Zahl von Phaeodarien-Arten und deren gute Erhaltung, weil Phaeodarien nur vereinzelt registriert worden sind.

In zwei GKG-Profilen vom Island-Plateau wurden neben einem relativ hohen Prozentsatz an nicht identifizierten Arten 4 Spumellarien- und 9 Nassellarien-Arten nachgewiesen (Molina-Cruz, Manusk.). Die Radiolarien setzen in der Jüngerer Dryas vor 10.6 Ka ein und zeigen danach kräftige Varianten in der Häufigkeit einzelner Arten. Bemerkenswert ist, daß maximale Phasen der Radiolarien-Entwicklung mit Peaks von Kieselschwamm-Nadeln korrelieren.

Bei der Diskussion der Beziehungen zwischen Planktonzönosen und Fossilgemeinschaften sind zwei Aspekte zu berücksichtigen. Die Zelldichte und Populationsstruktur in lebenden Phytoplanktongemeinschaften werden nicht nur durch die Produktion allein bestimmt, sondern auch durch die Beweidung durch herbivore Plankton. In der Norwegischen See sind es vor allem die Copepoden, welche durch ihren Freßdruck Blütenphasen des Phytoplanktons beeinflussen und den Vertikalfluß aus dem Pelagial steuern (Bathmann et al., in press.). Ein anderer Mechanismus für die Sedimentation wird für Diatomeen beschrieben. Nach Smetacek (1985) kommt im Anschluß an Blüten ein massenhaftes Absinken von Diatomeen in Form von Ruhestadien vor, welches als Teil der Überlebensstrategie in Meeresgebieten mit langen Dunkel- und Kältephasen angesehen wird.

#### Literatur

- Baumann, K.-H. (1990): Veränderlichkeit der Coccolithophoridenflora des Europäischen Nordmeeres im Jungquartär. - Diss., Ber. SFB 313, Univ. Kiel.
- Baumann, K.-H., Matthiessen, J. und P.J. Mudie (1989): Holocene calcareous nannofossil and dinoflagellate cyst assemblages from Late Quaternary high latitude sediments. - Terra abstr. 1: 25 pp.
- Baumann, K.-H. und J. Matthiessen (1990): Calcareous nannofossil and dinoflagellate cyst assemblages of Holocene and late Pleistocene deep-sea sediments from the Norwegian Sea. Berichtsband SFB 313 (1988-1990).
- Fenner, J., Carter, L., Stewart, R. (Manusk.): Late Quaternary paleoclimatic and paleoceanographic change recorded in northern Chatham Rise slope sediments.
- Kassens, H. (1990): Verfestigte Sedimentlagen und seismische Reflektoren: Frühdiagenese und Paläo-Ozeanographie in der Norwegischen See. - Diss., Ber. SFB 313, Univ. Kiel.
- Locker, S. (1990): Zur postglazialen Entwicklung der Radiolarien im Gebiet des Vøring Plateaus, Norwegische See. - Berichtsband SFB 313 (1988-1990).
- Locker, S. und Martini, E. (1989): Cenozoic silicoflagellates, ebridians, and aciniscidians from the Voering Plateau (ODP Leg 104). - Proc. OPD, Sci. Res., 104: 543-585.
- Matthiessen, J. (1989): Recent dinoflagellate cysts from the Norwegian-Greenland Sea: Preliminary results. - 4th Int. Conf. on Modern and Fossil Dinoflagellates, Prog. and Abstr.: 78 pp.

- Molina-Cruz, A. (Manusk.): Holocene paleo-oceanography of the northern Iceland Sea, evidenced by radiolaria and sponge spicules.
- Ruff, M. (1988): Untersuchungen an Sedimenten aus Großkastengreifern zwischen Jan Mayen und dem Vøring-Plateau. - Unveröff. Dipl.-Arb., Univ. Kiel, 68 pp.
- Rump-Schenk, B. (1988): Diatomeenuntersuchungen an quartären Sedimenten des Europäischen Nordmeeres. - Unveröff. Dipl.-Arb., Univ. Kiel, 81 pp.
- Samtleben, C. (1980): Die Evolution der Coccolithophoriden-Gattung *Gephyrocapsa* nach Befunden im Atlantik. - *Paläont. Z.*, 54: 91-127.
- Samtleben, C. und Schröder (1990): Coccolithophoriden-Gemeinschaften und Coccolithensedimentation im Europäischen Nordmeer: Zur Abbildung planktischer Zönosen im Sediment. - *Berichtsband SFB 313 (1988-1990)*.
- Samtleben, C. und T. Bickert (1990): Coccoliths in sediment traps from the Norwegian Sea. - *Mar. Micropal.*, (in press).
- Schrader, H.J. und Fenner, J. (1976): Norwegian Sea Cenozoic diatom biostratigraphy and taxonomy. Part 1: Norwegian Sea diatom biostratigraphy. Part 2: Diatoms at Leg 38, taxonomic references. - *Init. Repts. DSDP*, 38: 921-1099.
- Smetacek, V.von, (1985): Role of sinking in diatom life history cycles: ecological, evolutionary and geological significance. - *Mar. Biol.*, 84: 239-251.
- Stabell, B. (1986): A diatom maximum horizon in upper quaternary deposits. - *Geol. Rdsch.*, 75 (1): 175-184.
- Stabell, B. (1987): Diatom flora in the Fram Strait, a comparison with the Pleistocene-Holocene boundary flora in the Norwegian Sea. - *Polar Res.*, 5: 321-322.
- Vogelsang, E. (1990): Paläozeanographie des Europäischen Nordmeeres anhand von stabilen Kohlenstoff- und Sauerstoffisotopen. - *Diss.*, Ber. SFB 313, Univ. Kiel.

### 11.5 Ziele, Methoden, Arbeitsprogramm und Zeitplan

Dieses Projekt hat zum Ziel, die Herausbildung der Planktongemeinschaften des Europäischen Nordmeeres während des Jungquartärs in ihrer ökologisch-klimatischen Bedingtheit zu verfolgen.

Die Akkumulation biogener Partikel im Sediment wird durch klimatische, hydrographische und biologische Faktoren gesteuert. Die Untersuchungen werden daher detailliertere Aussagen über das Paläoklima und die Paläo-Ozeanographie des Arbeitsgebietes und ihre Veränderungen im Verlauf des Jungquartärs möglich machen.

Der Schwerpunkt dieses Projektes liegt in der synoptischen Darstellung der Entwicklung erhaltungsfähiger Planktongruppen im Jungquartär des Europäischen Nordmeeres. Die vorgestellten Gruppen umfassen sowohl autotroph produzierende Pflanzen als auch heterotroph lebende Tiere. Sie haben Skelette und Hüllen aus verschiedenen Materialien und besitzen daher unterschiedliche Erhaltungspotentiale. Die unterschiedliche Biologie der einzelnen Gruppen bedingt unterschiedliche Lebensweisen und -strategien und



damit auch differierende Abhängigkeiten von verschiedenen ökologischen Faktoren. Die gemeinsame Bearbeitung aller Planktongruppen ermöglicht es, ein relativ vollständiges mehrdimensionales Abbild der jungquartären Planktongemeinschaften und der sie steuernden Umweltfaktoren im Europäischen Nordmeer zu erstellen.

Folgende Themen sollen behandelt werden:

(1) Verbreitung und Synökologie von skelett- und hüllenbildenden Planktongruppen im Pelagial: Diatomeen, Coccolithophoriden, Siliocoflagellaten, Chrysophyceen, Dinoflagellaten, Foraminiferen und Radiolarien.

Es sollen sowohl das Vorkommen der Planktonzönosen im Jahresgang, vor allem im Hinblick auf Sukzessionen, als auch ihre horizontale und vertikale Verteilung in den Wassermassen ermittelt werden.

Dabei sollen die Koppelung der einzelnen Gruppen an unterschiedliche ökologische Faktoren und hydrographische Parameter sowie die Beziehungen dieser Gruppen in Nahrungsketten berücksichtigt werden. Um die Hauptwassermassen des Europäischen Nordmeeres durch ihre Planktongemeinschaften charakterisieren zu können, sollen die Untersuchungen an 4 Hauptstationen durchgeführt werden: im Verlauf des Norwegenstromes auf dem Vøring Plateau und südwestlich von Spitzbergen, im Ost-Grönlandstrom nordwestlich von Jan Mayen sowie zum Vergleich im Nordatlantikstrom im Gebiet des Rockall Plateaus.

(2) Partikeltransport durch die Wassersäule und Veränderungen der planktischen Biozönosen.

Es sollen die verschiedenen Transportmechanismen untersucht werden, die für die Sedimentation biogener Partikel Bedeutung haben. Hierbei soll ihre Bindung an die Saisonalität der Phytoplanktonproduktion und die entsprechenden Nahrungsketten geklärt werden. Besondere Aufmerksamkeit soll dem unterschiedlichen Erhaltungspotential von Hartteilen und Hüllen der verschiedenen Planktongruppen gewidmet werden. So soll aus Fallenmaterial (in Zusammenarbeit mit TP A1) der Vertikalfluß der hartschaligen Planktongruppen ermittelt werden, um Aussagen zu Exportproduktion und Sedimentationsraten machen zu können. Dies soll verglichen werden mit den Gehalten an spezifischen Pigmenten, die für einen Teil der Phytoplanktongruppen charakteristisch sind und sowohl im Fallenmaterial als auch in Oberflächensedimenten vorkommen. Hieraus sollen Informationen über die Lösung von Schalen- und Skelettmaterial in der Wassersäule und am Boden gewonnen werden.

(3) Partikelsedimentation und Umstrukturierungen der Thanatozönosen planktischer Mikroorganismen.

Es sollen die Prozesse untersucht werden, die an der Sedimentoberfläche die Struktur der Taphozönosen beeinflussen. Hierzu gehören insbesondere die Aktivität benthischer Organismen auf und im Sediment, Horizontaltransport- und Umlagerungsprozesse sowie

die selektive Lösung durch Bodenwässer. Diese Untersuchungen sollen klären, inwieweit die Taphozönosen die ehemaligen Biozönosen widerspiegeln und dadurch Rückschlüsse auf den Lebensraum und die ökologischen Faktoren, die ihn kennzeichnen, erlauben.

(4) Raum-zeitliche Verteilung der Planktonzönosen im Jungquartär des Europäischen Nordmeeres.

Ausgehend von den 4 Hauptstationen soll das Vorkommen der verschiedenen Planktongruppen im Jungquartär analysiert werden. Mit Hilfe quantitativer Analysen soll versucht werden, die diagenetischen von den biologischen Aspekten bei der Überlieferung von Planktonzönosen zu trennen, um Aussagen über ihre ökologische und phylogenetische Entwicklung zu treffen. Es ist beabsichtigt, in einer Synthese die qualitativen und quantitativen Beziehungen in den jungquartären Planktonzönosen des Europäischen Nordmeeres, auch im Hinblick auf die ozeanographische Entwicklung dieses Gebietes, zu modellieren.

Voraussetzung für die Durchführung des Projektes ist, daß dieselben Probensätze gleichzeitig und quantitativ auf alle Planktongruppen bearbeitet werden. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, die vollständige Wissenschaftlergruppe (Doktoranden) von Anfang an zusammen an der Thematik arbeiten zu lassen.

Die Planktongemeinschaften aus der Wassersäule sollen mit Planktonnetzen, Kranzwasserschöpfern und zeitgesteuerten Sinkstoffallen beprobt werden. Langzeitverankerungen sind im Norwegenstrom, auf dem Vøring Plateau und im Gebiet westlich von Spitzbergen und im Ost-Grönlandstrom nordwestlich von Jan Mayen vorgesehen (in Zusammenarbeit mit TP A1).

Die Planktongemeinschaften des Jungquartärs sollen an den 4 Hauptstationen mit Hilfe von Kastenlotkernen erfaßt werden. Die Lage der Kernstationen innerhalb der Stromsysteme soll durch ein Netz von Oberflächenproben, die die Stationsgebiete flächendeckend erfassen, und durch GKG-Profile über das jeweilige Stationsgebiet bestimmt werden.

Die Probenserien aus den Kernen werden in enger Anlehnung an die Isotopenstratigraphie, die vom TP B2 erstellt wird, bearbeitet, um Zeitreihenanalysen für die Planktongemeinschaften durchführen zu können. Im Bereich von Zeitscheiben, die wichtige ozeanographische Zustände darstellen (vgl. TP B2), sollen die vertikalen Probenabstände verringert werden.

Die Aufbereitung und Präparation der verschiedenen Planktongruppen hat aufgrund der unterschiedlichen Materialien (kieselig, kalkig, organisch) gruppenspezifisch zu erfolgen, wobei homogenisierte Einheitsproben die Ausgangsbasis bilden. Da die quantitativen Analysen zeitaufwendige Aufbereitungs- und Präparationsmethoden (Atterberg-Analyse für kalkiges Nanoplankton, Batterbee-Sedimentation für Diatomeen, HF-Aufbereitung für Dinoflagellaten) erfordern, muß die Anzahl der gemeinsam zu untersuchenden Proben begrenzt werden.

Die speziellen Analysen, die von der Arbeitsgruppe dieses Projektes durchgeführt werden, basieren vorwiegend auf mikroskopischen und sedimentologischen Verfahren. Die Zusammensetzung der Planktonzönosen und der einzelnen Gruppen soll mit dem Licht- und Elektronenmikroskop (REM) bestimmt werden. Partikelzählungen sollen zu den sedimentologischen Parametern Individuendichte und Akkumulationsrate führen. Die ermittelten Akkumulationsraten sollen zu Karbonatgehalt, Opalgehalt und dem Gehalt an organischem Kohlenstoff in Beziehung gesetzt werden, um den biogenen Anteil der Planktongruppen an diesen für ozeanographische Interpretationen wichtigen Parametern zu ermitteln. Zusätzliche Analysenergebnisse, die für die Interpretation unserer Daten wichtig sind, werden von anderen Teilprojekten erwartet. Dies betrifft vor allem isotopenphysikalische ( $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ ) und radiometrische ( $^{14}\text{C}$ ) Daten, die für paläoklimatische und stratigraphische Aussagen wichtig sind. Ergebnisse geochemischer Analysen tragen dazu bei, die Veränderungen der Planktonzönosen in der Wassersäule und im Sediment zu interpretieren.

In Zusammenarbeit mit dem TP B2 soll versucht werden, unsere Ergebnisse in Zeitreihenanalysen einzubringen, die als Grundlage für ein Entwicklungsmodell des Europäischen Nordmeeres dienen können. Der Zeitplan dieses Projektes ergibt sich aus der Folge der geplanten Expeditionen des SFB 313 in den Jahren 1991/92:

(1) Auf der Meteorfahrt M17 (1991) sollen die Hauptstationen im Verlauf des Norwegenstromes - auf dem Vøring Plateau und südwestlich von Spitzbergen - bearbeitet werden.

(2) Bis zum Beginn der Expedition soll Material von früheren Expeditionen untersucht werden, um die Methode der gruppenübergreifenden Analysen zu entwickeln.

(3) Im Jahr 1992 sollen die Stationen im Ost-Grönlandstrom und im Nord-Atlantik - nordwestlich von Jan Mayen und auf dem Rockall Plateau - auf entsprechenden Expeditionen angefahren werden.

Die gleichzeitige Durchführung paralleler Untersuchungen an verschiedenen Planktongruppen erfordert eine bestimmte personelle Struktur des Teilprojektes. Die Planktongruppen sollen von 5 Doktoranden bearbeitet werden. Sie werden von einer Gruppe von Wissenschaftlern mit speziellen Erfahrungen betreut.

#### Geplante Zusammenarbeit mit anderen Institutionen

- (1) Universität Bergen, Geolog. Inst., Prof. Dr. H.J. Schrader (Diatomeen)
- (2) Alfred-Wegener Institut, Bremerhaven, Dr. A. Abelmann (Radiolarien), Dr. R. Gersonde (Diatomeen), Dr. M. Spindler (Planktologie)
- (3) Universität Oslo, Geolog. Inst., Dr. B. Dale (Dinoflagellaten und -zysten)

- (4) Universität Tübingen, Geolog.-Paläontolog. Inst., Prof. Dr. C. Hemleben (planktische Foraminiferen)
- (5) Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften, Prof. Dr. G. Wefer (Sedimentologie, Isotope)

#### 11.6 Stellung innerhalb des Sonderforschungsbereiches

Bei den bisherigen Arbeiten im SFB 313 ist von Mitarbeitern der Teilprojekte A1, A3 und B2 die Notwendigkeit erkannt worden, die rezenten und fossilen Gemeinschaften des hartschaligen Planktons synoptisch zu bearbeiten, um die raum-zeitliche Entwicklung des Planktons im Europäischen Nordmeer zu verfolgen. Der Partikelfluß wird in enger Zusammenarbeit mit TP A1 untersucht. Die Gebiete vor dem Vøring Plateau (1) und nordwestlich von Jan Mayen (3) werden gemeinsam durch den Einsatz und die Auswertung von stationären und treibenden Sinkstofffallen bearbeitet. Hierbei sollen die aktuopaläontologischen Daten mit den biochemischen Parametern (Pigmente, Lipide) verglichen werden. Außerdem werden aus dem TP A1 Informationen über Rolle und Aktivitäten der Konsumenten erwartet, die überwiegend zum Zooplankton gehören und einen großen Teil des Partikelflusses aus den Produktionsbereichen zum Boden steuern.

Umlagerungsprozesse, Transporte in Hochakkumulationsgebiete und die Bildung von Restsedimenten verändern Menge und Zusammensetzung von Fossilgemeinschaften. Die Untersuchungen im TP A2 zu diesem Problemkreis sollen helfen, die entsprechenden Prozesse zu quantifizieren und in unsere Ergebnisse einzubinden.

Die Arbeiten des TP B3 haben zum Ziel, palökologische Informationen zu gewinnen, die im TP B2 für paläoklimatische und paläozeanographische Rekonstruktionen (z.B. über Lage und Verlauf von Wassermassen) sowie für ökostratigraphische Einstufungen und Parallelisierungen nötig sind. Andererseits werden die Ergebnisse aus Zeitscheibenuntersuchungen und Zeitreihenanalysen des TP B2 für die Darstellung der Planktonentwicklung im Europäischen Nordmeer herangezogen.

## 12. TEILPROJEKT B4: Numerische Modelle von Paläoklima, Paläo-Ozeanographie und Sedimentation

### 12.11 Fachgebiete und Arbeitsrichtungen:

- Marine Geowissenschaften mit Sedimentologie und Paläoklimatologie, Paläo-Ozeanographie, Isotopenphysik, Mikropaläontologie
- Statistische Modellierung von Ozean, Eis und Atmosphäre
- Ozeanographie (IfM Hamburg)
- Planktologie
- Meereschemie

### 12.12 Leiter:

Dr. R. Keir  
GEOMAR  
Forschungszentrum  
der Universität Kiel  
Wischhofstr. 1-3  
Tel. (0431)7202 282

Prof. Dr. K. Stattegger  
Geol.-Paläont. Institut  
und Museum  
der Universität Kiel  
Olshausenstr. 40  
Tel. (0431)880 2881

### 12.13 Personal Anfang 1991

Name, akad.Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
-----------------------------------	-----------------------------	---	-------------------------

#### Grundausrüstung: Wissenschaftler

1) Keir, R. Dr., wiss. Ang.	Paläo-Ozeanolog. GEOMAR	15	1/91
2) Pflaumann, U. Dr., wiss. Ang.	Paläontologie GPI	beratend	7/85
3) Sarnthein, M. Dr., Prof.	Paläo-Ozeanogr. GPI	10	7/85
4) Stattegger, K. Dr., Prof.	Math. Geologie GPI	15	1/91
5) Sündermann, J. Dr., Prof.	Ozeanographie IfM, Hamburg	beratend	1/91

### 12.2 Zusammenfassung

Mit bereits entwickelten, einfachen und gekoppelten numerischen (3-d und box-) Modellen soll eine quantitative Simulation der eiszeitlichen und zwischeneiszeitlichen Klimaschwankungen sowie der Sedimentation im groß- und mesoskaligen Bereich des nördlichen Nordatlantiks durchgeführt werden. Als fossile Randbedingungen dienen die Proxydaten ("Näherungswerte") für Meeresoberflächentemperatur, Meereisverbreitung etc., die aus Analysen von Tiefseesedimenten hervorgehen (vor allem Teilprojekte A2, A4, B1, B2).

- Mit den Modellen soll im Detail getestet werden, inwieweit Klimazustände zu beschreiben sind, die vom heutigen Zustand deutlich verschieden sind und u.U. auch prognostischen Wert besitzen. Von besonderem Interesse ist die Frage des Übergangs des Europäischen Nordmeers von einem antiästuarinen (wie heute) zu einem ästuarinen Zirkulationsmodell (wie z.T. in Eiszeiten und während Terminationen).
- Umgekehrt sollen die modellierbaren Klimazustände fortlaufend an getrennten Proxydatensätzen aus dem Fossilen auf die Qualität ihrer Aussagekraft hin überprüft werden.
- Im Rahmen von Sensitivitätstests sollen die empirisch abgeleiteten Skalen und Wechselwirkungen der Klimawechsel in Raum und Zeit durch die Modelle überprüft werden, inwieweit sie in einem realistischen Rahmen liegen.
- Boxmodelle sollen helfen, empirisch eingegrenzte Stoffflüsse in ihrer Auswirkung auf Stoffbilanzen zu quantifizieren.
- Modelle zur Sedimentbeckenanalyse sollen die Entstehung von Sedimentkörpern am Kontinentalrand simulieren.

Die Arbeiten sind in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Klima- und Meeresforschung der Universität Hamburg und mit dem MPI Hamburg (Klimarechenzentrum) vorgesehen.

### 12.3 Stand der Forschung

Mit die wesentlichsten Fortschritte der physikalischen, chemischen, biologischen und geologischen (Paläo-)Ozeanographie vollzogen sich während der letzten 10-15 Jahre im Zusammenhang mit dem neuen Fachgebiet der numerischen Simulation. Auf diese Weise wurde es erstmals möglich, die äußerst komplexen Vorgänge der Natur - ähnlich wie in der noch "relativ einfachen" theoretischen Physik - theoretisch in ihrer Bandbreite und Variabilität genauer einzugrenzen und eventuell vorherzusagen. Ein wesentlicher Grund für die Neuentwicklung war wohl die rasche Entwicklung von Super-Computern und von höchst effizienten Personalcomputern / bzw. Workstations.

Eine große Gruppe von Modellen stammt aus der Problematik des globalen CO<sub>2</sub>-Kreislaufes, vor allem seit der Entdeckung der Tatsache, daß der atmosphärische CO<sub>2</sub>-Gehalt während der letzten Eiszeit um ca. 30% niedriger lag als heute. Hauptfragen sind dabei die möglichen Steuerungsprozesse, die zu diesem Wandel führten. Eine große Gruppe dieser Modelle unterteilt den Ozean in ungleich große vertikale und horizontale Teilräume oder "Boxen" und schließt die Atmosphäre als weitere Box mit ein. Im allgemeinen nahmen diese Modelle mit der Zeit an Komplexität zu, nachdem sie ursprünglich mit nur zwei Boxen begonnen hatten. Neuere Arbeiten von Boxmodellen versuchen den Ozean mit 11-13 verschiedenen Teilräumen zu erklären. Diese Entwicklung rührt z.T. aus der Entdeckung, daß die Quellen und Senken der Geochemie des

Ozeans in der letzten Eiszeit markant umverteilt waren, was möglicherweise irgendwie bereits zum beobachteten Wechsel des atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Druckes geführt haben mag.

Zur Zeit gibt es etwa drei wichtige Box-Modelle mit mehr als 10 Boxen (Bolin et al. 1983; Broecker and Peng 1986; Keir 1988). Obwohl jedes dieser Modelle den Ozean etwas anders unterteilt, kommen sie zu einer ziemlich ähnlichen Konfiguration. Der auffälligste Unterschied ist wohl die wesentlich stärkere vertikale Vermischung des oberen Ozeans im Modell von Bolin et al. (1983) im Vergleich zu den anderen beiden Modellen. Das Modell von Keir (1988) schließt als Besonderheit die  $\text{CaCO}_3$ -Lösung am Tiefseeboden als Reaktion auf die Chemie des Tiefenwassers mit ein. Im allgemeinen werden die Box-Modelle dafür entworfen, nur ganz großskalige Änderungen der Ozean-Chemie zu simulieren. Randliche Meere wie das Mittelmeer und, im Falle des SFB 313 von besonderem Interesse, das Europäische Nordmeer und die Arktis wurden bisher in die globalen Modelle noch nicht eingebaut und bieten daher ein interessantes neues Zielgebiet.

Dynamische und allgemeine Zirkulationsmodelle des Ozeans (OGCM) führen noch einen deutlichen Schritt über die Boxmodelle hinaus. Im Gegensatz zu diesen bieten die OGCMs eine grundsätzlich höhere Auflösung des Ozeans in horizontaler und vertikaler Richtung und beziehen vor allem ein detailliertes Geschwindigkeitsfeld über die Gesetze der Strömungsdynamik in die Modellsimulation mit ein. Zu unserer Verfügung werden vor allem verschiedene Versionen des (MPI) Hamburger Kohlenstoff-Zyklus-Modelles stehen (Bastacow und Maier-Reimer 1989; Maier-Reimer und Hasselmann 1987). Obwohl auch dieses Modell noch eine starke Vereinfachung der natürlichen Prozesse mit sich bringt, überwindet es doch ganz wesentliche Unzulänglichkeiten der rein kinematischen Boxmodelle. Es erlaubt nämlich die Simulation von recht komplexen drei-dimensionalen Strukturen der Wassermasseneigenschaften i. Vgl. zu den stark vereinfachenden beckenweiten und/oder tiefenweiten Mittelwerten der Boxmodelle. Das wirklichkeitsnahe Strömungsfeld im OGCM liefert erst die Grundlage zur eigentlichen Simulation jener chemischen Wechselwirkungen und Leitstoff-Verteilungsmuster, die ganz wesentlich von der ozeanischen Zirkulation abhängen. Diese Vorteile der OGCM-Technik gelten genauso für Fragestellungen an den Paläo-Ozean. Schließlich eröffnet das Geschwindigkeitsfeld des OGCM die Möglichkeit, verschiedene Arten von Anfachung der Ozeanoberfläche durchzuspielen und damit unterschiedliche meteorologische und hydrologische Grenzbedingungen durchzutesten (Heinze et al. 1990; Maier-Reimer und Mikolajewicz 1989).

Legutke (1989) hat bereits im Rahmen ihrer Dissertation eine besondere Anpassung eines OGCMs für das Europäische Nordmeer durchgeführt. Dieses Modell erlaubt mit seinem Gitterabstand von nur 20 km sogar die Auflösung mesoskaliger Strukturen dieses Beckens und kommt daher den Fragen des SFB 313 bzgl. der Paläo-Ozeanographie, Sedimentologie etc. bereits sehr nahe. Die simulierten Strukturen des Legutke-Modelles spiegeln mit großer Genauigkeit die vorhandenen Beobachtungen, z.B. über Wärme und Salzgehalt wider. Besonders interessant sind die Ergebnisse über

den möglichen Einfluß realistisch fluktuierender Windfelder. Crowley und Häkkinen (1988) kamen aufgrund ihrer Modell-Simulationen dazu, für die letzte Eiszeit wesentlich stärkere Winde aus dem Westsektor im nördlichen Nordatlantik anzunehmen, mit wichtigen Implikationen für die ozeanische Zirkulation.

Nachdem es erstmals von Bryan (1986), und mehr theoretisch von Manabe und Stouffer (1988) durchsimuliert wurde, rechneten Maier-Reimer und Mikolajewicz (1989) dann zum ersten Mal direkt ein OGCM des Atlantiks unter Annahme eines kurzzeitigen Schmelzwasserdeckels als Randbedingung. Sie erhielten damit eine erste Simulation des auch für unsere Fragestellungen so wichtigen Jüngerer-Dryas-Ereignisses. Darauf aufbauend müßten im künftigen SFB 313 weitere Sensivitätstests angestellt werden.

Unter der Bezeichnung Beckenanalyse entwickelte sich um 1980 der integrative Ansatz, verschiedene Aspekte der Stratigraphie, Faziesanalyse und Geodynamik zur Rekonstruktion von Sedimentbecken und deren Füllungsgeschichte zu verbinden (vgl. Miall, 1984; Klein, 1987; Kleinspehn and Paola, 1988). Darauf aufbauend wurden in den letzten Jahren zahlreiche Versuche zur quantitativen Erfassung der damit verbundenen geologischen Prozesse unternommen und eine neue Teildisziplin "Quantitative Dynamic Stratigraphy" definiert (Harbaugh, 1989; Klein, 1989). Danach wird die stratigraphische Überlieferung als unvollständige, durch Störfaktoren beeinträchtigte Dokumentation geologischer Prozesse an der Schnittstelle Sediment-Transport-Medium betrachtet. Diese Prozesse sind exogen (solar driven) und/oder endogen (mantle driven). Ihre Nachzeichnung erfordert eine umfangreiche EdV-gestützte Datenauswertung, damit die Sedimentationsdynamik im Verlauf der Füllungsgeschichte eines Beckens quantitativ rekonstruiert werden kann.

Die daraus resultierenden quantitativen Modelle und Simulationen werden mit 3-D-Graphik dargestellt (Fried und Leonard, 1990; Lee et al., 1990). Die Modelle folgen teilweise deterministischen Ansätzen mit der Vorgabe physikalisch-chemischer Randbedingungen (Bitzer and Harbaugh, 1987; Kendall et al., 1989; Tetzlaff and Harbaugh, 1989). Stochastische Ansätze mit der Modellierung geologischer Körper aus der Analyse räumlich verteilter ortsabhängiger Variablen erfolgen häufig mit geostatistischen Methoden (Akin und Siemens, 1989; Jones, 1988; Journel and Huijbregts, 1978; Verly et al., 1984).

Eine Verbindung und Erweiterung der verschiedenen quantitativen Modelle im Bereich der Beckenanalyse unter Einbeziehung ozeanographischer Daten steht noch aus. Die mathematisch-statistische Modellierung bedarf der empirischen Überprüfung mit den großen Datenmengen aus einem rezenten Sedimentationsraum. Im Raum des Europäischen Nordmeeres scheinen aufgrund der bisher gewonnenen Daten des SFB 313 die ungewöhnlich hohen Sedimentationsraten von besonderem Interesse, speziell im Hinblick auf eine Untersuchung des vertikalen und horizontal-lateralen Stofftransportes. Für die Modellierung ist die große Probendichte als besonders günstige Voraussetzung hervorzuheben (s. TP B2, Abb.22).



## Literatur

- Akin, H. und Siemens, H. (1989): Praktische Geostatistik.- 304 S., Springer.
- Bacastow, R. und Maier-Reimer (1989): Circulation model of the oceanic carbon cycle.- Climate dynamics, (in press).
- Bitzer, K. und Harbaugh, J.W. (1987): DEOPOSIM: A MacIntosh computer model for two-dimensional simulation of transport, deposition, erosion, and compaction of clastic sediments.- Computers and Geosciences, 13: 611-637.
- Bolin, B.A., Björkström, A., Holmen und Moore, B. (1983): The simultaneous use of tracers for ocean circulation studies.- Tellus, 35B: 206-236.
- Broecker, W.S. und Peng, T.H. (1986): Carbon cycle: 1985 Glacial to Interglacial changes in the operation of the global carbon cycle.- Radiocarbon, 28: 309-327.
- Bryan, F. (1986): High latitude salinity effects and interhemispheric thermohaline circulations.- Nature, 335: 301-304.
- Crowley, T.J. und Häkkinen, S. (1988): A new mechanism for decreasing North Atlantic Deep Water production rates during the Pleistocene.- Paleoceanography, 3; 4: 249-258.
- Fried, Ch.C. und Leonard, J.E. (1990): Petroleum 3-D models come in many flavors.- Geobyte, 5; 1: 27-30.
- Harbaugh, J.W. (1989): Role of supercomputers in geologic process simulation.- 28th Int. Geol. Congress, Abstracts, vol.2, 30.
- Heinze, C., Maier-Reimer, E. und Winn, K. (1990): Glacial pCO<sub>2</sub> reduction by the world ocean - experiments with the Hamburg carbon cycle model.- MPI-Bericht.
- Jones, T.A. (1988): Geostatistical models with stratigraphic control.- computers and Geosciences, vol.14, 135-138.
- Journel, A.G. und Huijbregts, C.J. (1978): Mining Geostatistics.- Academic Press: 600 pp.
- Keir, R.S. (1988): On the Pleistocene Ocean Geochemistry and Circulation.- Paleoceanography, 3; 4: 413-445.
- Kendall, C.G., Strobel, J., Harris, P.M., Moore, P., Cannon, R., Bezdek, J. und Biswas, G. (1989): Simulation of the Capitan shelf margin (Late Perm, Guadalupian) of West Texas/New Mexico, a response to eustatic change and an example of the use of SEDPAK.- 28th Int. Geol. Congress, Abstracts, 2; 174.
- Klein, G. de V. (1979): Current aspects of basin analysis.- Sedim. Geology, 50: 95-118.
- Klein, G. de V. (1989): Quantitative dynamic stratigraphy: Introduction to theme session.- 28th Int. Geol. Congress, Abstracts, 2: 197 pp.
- Kleinspehn, K.L. und Paola, Ch. (eds.) (1988): New perspectives in basin analysis.- Springer: 453.
- Lee, Y.-H., Martinez, P.A. und Harbaugh, J.W. (1990): Dynamic 3-D graphics critical element in Stanford's SEDSIM project.- Geobyte, 5: 37-38.
- Legutke, S. (1989): Modell-Untersuchungen zur Variabilität im Strömungssystem des Europäischen Nordmeeres.- Dissertation, Universität Hamburg.
- Manabe, S. und Stouffer, R.J. (1988): Two stable equilibria of a coupled ocean-atmosphere model.- J. Climate, 1: 841-866.

- Maier-Reimer, E. und Hasselmann, K. (1987): Transport and storage of CO<sub>2</sub> in the ocean - an inorganic ocean-circulation carbon cycle<sup>2</sup> model.- *Climate dynamics*, 2: 63-90.
- Miall, A.D. (1984): Basin analysis.- Springer: 490 pp.
- Tetzlaff, D.M. und Harbaugh, J.W. (1989): Simulating clastic sedimentation.- Van Nostrand Reinhold: 202 pp.
- Verly, G., David, M., Journel, A.G. Marechal, A. (eds.) (1984): Geostatistics for natural resources characterization.- (2 Bde.), NATO ASI series, Series C, 122; Reidel: 1092 pp.

#### 12.4 Eigene Vorarbeiten

Das neue Teilprojekt B4 kann auf einschlägige eigene Erfahrungen mit numerischer Modellierung aus verschiedenen Quellen zurückgreifen.

R. Keir sammelte umfangreiche eigene Erfahrungen mit der Entwicklung geochemischer (Box-)Modelle für den Stoffhaushalt von Ozean und ozeanischen Sedimenten. Diese Modelle simulieren den chemischen Stoffaustausch, der aus einer Kombination verschiedenartigster Prozesse resultiert. Darunter fallen z.B. die Strömung, Vermischung und chemische Reaktionen im Ozean, außerdem die Grenzsicht-Fluxe und der Transfer gelöster Gase zwischen Meer und Luft. Die selbstentwickelten Modell-Typen umfassen zum einen ein "Boxmodell" Ozean - Atmosphäre, in dem der Ozean sich auf regionale Wassermassen aufteilt (Keir 1983; Keir und Berger 1985), zum anderen "Kontinuierliche Modelle", die kurzzeitige Profile von Radiocarbon-Altern und CaCO<sub>3</sub>-Gehalten der Tiefsee-Sedimente erfassen, die von unterschiedlicher Karbonatlösung herrühren (Keir 1988; Keir in Vorb.) Diese Modelle wurden vor allem zur Lösung der Frage eingesetzt, inwieweit die Hauptprozesse, die den globalen Kohlenstoffkreislauf steuern, sich in der Vergangenheit verändert haben mögen.

M. Sarnthein und U. Pflaumann haben als empirische "Rekonstrukteure" der Paläo-Ozeanographie im Rahmen des BMFT-Klimaprojektes in den letzten sechs Jahren fortlaufend intensive Diskussionen u.a. mit Doz. Maier-Reimer und seinen Mitarbeitern am MPI Hamburg geführt, besonders auch mit Prof. Sündermann, IfM Hamburg, der sich als Folge daraus bereit erklärte, beratend im SFB 313 mitzuhelfen, u.a. mit dem Programm der Dissertation von Frau Legutke. Damit wollen wir die Ursachen von ozeanischer Tiefen- und Oberflächenzirkulation, Salz- und polarisierter Nährstoff-Verteilung sowie der Planktonproduktion durch numerische 3d-Simulation der Verhältnisse der letzten Eiszeit besser verstehen lernen (u.a. Sarnthein und Winn, 1990). Hinzu kam im Wintersemester 1989/90 noch ein gemeinsames Seminar mit Prof. Willebrand (IfM Kiel) über Rekonstruktion und numerische Simulation der Paläo-Ozeanographie. Wenngleich diese Arbeiten bislang nur zu wenig gemeinsamen Publikationen geführt haben, so brachten sie doch große Verständnisfortschritte und die "sprachliche Annäherung" zu diesem wichtigen neuen Sachgebiet der (Paläo-)Ozeanographie der letzten 10-15 Jahre. Als besonders wichtiges Teilproblem schälte sich dabei die Möglichkeit eines alternativen Flip-Flop-Mechanismus der Atlantischen Tiefenzirkulation heraus (Maier-Reimer und Mikolajewicz, 1989), mit zwei konträren, jeweils in

sich relativ stabilen Zirkulationszuständen, deren Umschlagsphasen eine Erklärung wohl am ehesten in den klimatischen und ozeanographischen Verhältnissen des Europäischen Nordmeeres finden könnten und nach ersten Rekonstruktionsansätzen (Hahn et al. 1990; Kassens 1990, Sarnthein und Tiedemann 1990, Vogelsang 1990) wohl auch finden werden.

Auf dem Gebiet der stochastischen Modellierung von Sedimentationsvorgängen im Bezug zur Geodynamik erfolgten durch K. Stattegger Vorarbeiten mit verschiedenen mathematisch-statistischen Ansätzen, um die Wechselwirkung zwischen Sedimentation, Sedimentausbreitung und Hinterland zu beschreiben (Stattegger, 1986; 1987; 1988; 1989; Pawlowsky und Stattegger, 1988). Mit diesem methodischen Inventar läßt sich eine gute Verbindung zur Modellierung des Sedimentationsgeschehens im Europäischen Nordmeer herstellen, wobei die im SFB bereits erarbeiteten Erkenntnisse über Sedimentationsraten, Sedimentmächtigkeiten und Sedimentoberflächen in Verbindung mit ozeanographischen und hydrodynamischen Parametern günstige Voraussetzungen für die Erstellung von Sediment-Ausbreitungsmodellen bieten. Weiter sind für diesen Problembereich die methodischen Ansätze über die geostatistische Modellierung stratigraphischer Oberflächen (Scheidfinger und Stattegger, in Vorbr.) von Bedeutung.

Aus dem SFB 313 steht eine große Zahl von Datenpunkten verteilt über den gesamten Bereich des Europäischen Nordmeeres zur Verfügung, die in den nächsten Jahren noch erheblich verdichtet wird und damit optimale Voraussetzungen sowohl für die quantitative Erfassung der Randbedingungen der Sedimentation als auch für die Modellierung der Sedimentkörper selbst bietet.

#### Literatur

- Hahn, M., Sarnthein, M., Vogelsang, E. und Erlenkeuser, H. (1990): Early decay of Barents Shelf Ice Sheet - Southward spread of stable isotope signals across the Eastern Norwegian Sea.- eingereicht bei Norsk Geologisk Tidsskrift, special issue.
- Kassens, H. (1990): Verfestigte Sedimente und seismische Reflektoren: Frühdiagnose und Paläo-Ozeanographie in der Norwegischen See.- Dissertation, Universität Kiel.
- Keir, R.S.(1983): Reduction of thermohaline during deglaciation: the effect on atmospheric radiocarbon and CO<sub>2</sub>.-Earth Planet. Sci. Lett., 64: 445-456.
- Keir, R.S.(1988): On the late Pleistocene ocean geochemistry and circulation.- Paleoceanography, 3: 413-445.
- Keir, R.S. und Berger, W.H. (1983): Atmospheric CO<sub>2</sub> in the last 120,000 years: the phosphate extraction models.- Jour.Geophys.Res., 88: 6027-6038.
- Keir, R.S. und Berger, W.H. (1985): Late Holocene Carbonate dissolution in the equatorial Pacific: reef growth or neoglaciation? In: The Carbon Cycle and Atmospheric CO<sub>2</sub>: Natural Variations Archean to Present, eds. E.T. Sundquist und W.S. Broecker.- Geophys. Monogr. Ser., 32: 208-219.

- Keir, R.S. (in press): Reconstructing the ocean circulation during the last 150,000 years according to the Antarctic nutrient hypothesis.- *Paleoceanography*.
- Maier-Reimer, E. und Mikolajewicz, U. (1989): Experiments with an OGCM on the cause of the Younger Dryas.- Report No.39, MPI für Meteorologie, Hamburg.
- Pawlowsky, V. und Stattegger, K. (1988): Cokriging of compositional data: A case study from modern stream sands.- *Sciences de la Terre, Ser. Inform. Geol.*, 28: 267-280.
- Sarnthein, M. und Tiedemann, R. (1990): Younger Dryas-style cooling events at glacial Terminations I - IV over the last 650,000 years.- eingereicht bei *Paleoceanography*.
- Sarnthein, M., Winn, K. (1990): Reconstruction of Low and Middle Export Productivity 30,000 years B.P. to present: Implications for global carbon reservoir.- In: *Climate - Ocean Interaction*. Ed. M. Schlesinger: 319-342.
- Scheifinger, M. und Stattegger, K. (in prep.): Stratigraphic surface modelling from drill-hole and seismic data: A geostatistical approach.
- Stattegger, K. (1986): Die Beziehungen zwischen Sediment und Hinterland: Mathematisch-statistische Modelle aus Schwermineraldaten rezenter fluviatiler und fossiler Sedimente.- *Jb. Geol. B-A*, 128: 449-512.
- Stattegger, K. (1987): Stochastic modeling of clastic dedimentation in relation to tectonic setting: AR(1) and AR(2).- *Terra Cognita*, 7: 281-282.
- Stattegger, K. (1988): Stream sands - Modeling of deposition using multivariate statistics and ARMA-processes.- *Sciences de la Terre, Ser. Inform. Geol.*, 27/2: 439-453.
- Stattegger, K. (1989): Heavy mineral events - a valuable tool in tectonostratigraphy.- 28th Int. Geol. Congress, Abstracts, 3: 172-173.
- Vogelsang, E. (1990): Paläo-Ozeanographie des Europäischen Nordmeeres an Hand stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope.- Dissertation, Universität Kiel.

## 12.5 Ziele, Methoden, Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die umfangreiche Ansammlung von (paläo-)ozeanographischen, chemischen, sedimentologischen und biologischen Daten und Proxydaten im Rahmen des SFB 313 enthält bereits zahlreiche Hinweise auf bedeutende Änderungen in der Zirkulation und im Chemismus der Norwegisch-Grönländischen See während des Quartärs. Der Einsatz von Box- und 3-D-Modellen soll nunmehr helfen:

- einige der rekonstruierten Wechsel durch Sensitivitätstests in ihren Ursachen näher einzugrenzen;
- einfache Änderungen von Temperaturen, Planktonflux und geochemischen Kenngrößen im Europäischen Nordmeer durch Box-Modelle zu quantifizieren;
- Lücken für die künftige Proxydaten-Ermittlung schärfer zu definieren;
- über 3-d-Modelle (einfache und gekoppelte OGCMs) die Rolle unterschiedlicher Windfelder auf die Verteilung von Temperaturen, Meereis, die Position der Polarfront und die Bildung von

ozeanischem Tiefenwasser und ihre geochemischen Implikationen (CO<sub>2</sub>-Kreislauf) genauer abzuschätzen. Von besonderem Interesse ist<sup>2</sup> dabei die kritische Anfachung für einen Umschlag von anti-ästuariner zu ästuariner Zirkulation (Bodenwasserausstrom bzw. -einstrom im Europäischen Nordmeer); prognostische Modelle sollen evtl. einen Blick in die Zukunft ermöglichen.

- über statistische Modelle der Beckenanalyse die Fluxe von klastischen und pelagischen Sedimenten für einzelne Zeitscheiben zu simulieren, insbesondere für Gebiete mit hohen Sedimentationsraten am Kontinentalrand. Der Sedimenttransport durch kalte Winterwässer könnte dafür ein besonderes Studienobjekt darstellen.

Die Modellierung soll insgesamt auf bereits etablierten numerischen Programm-Paketen aufbauen: 1. die Box-Modelle auf Modellen, die Dr. Keir und Evans einbringen, 2. die 3-d-Modelle auf die Arbeit von Legutke (1989; vgl. Stand der Forschung), und 3. die Beckenmodelle auf Programme, die K. Stattegger zur Verfügung stehen. Bei dem Einarbeiten der kritischen Randbedingungen vor allem zu den Modelltypen 2 und 3, den Proxydaten aus TP A1-A4 und TP B1-B3, ist dabei der Einsatz einer zusätzlichen Wissenschaftlerstelle unbedingt erforderlich. Insgesamt sollen damit die Arbeiten im TP B4 schon innerhalb kurzer Zeit helfen, die Rückkopplung zwischen Fragestellungen, möglichen Leistungsansätzen und fortlaufender Proxydatensammlung zu intensivieren.

Eine wichtige Voraussetzung ist die Bereitstellung der einschlägig nötigen Rechnerkapazitäten, auf denen die vorhandenen Programmpakete bereits laufen. Dies betrifft zum einen ein eigenes Terminal zum Klimarechenzentrum am MPI in Hamburg (Betreuung von seiten des MPI ist zugesagt), zum anderen eine SUN-Workstation am Geologisch-Paläontologischen Institut, die zusammen mit dem TP B2 beantragt wird.

## 12.6 Stellung innerhalb des Sonderforschungsbereiches

Dem TP B4 kommt eine besondere, längst schon benötigte Rolle für die Integration von empirischen Befunden und theoretischen Lösungsansätzen aus allen anderen Teilprojekten zu. Das gilt sowohl für die Modelle über die Abbildung der rezenten Umwelt im Sediment wie für die Geschichte der Umwelt. Im idealen Falle sollte TP B4 helfen, laufend Fragestellungen des SFB weiterzuentwickeln und damit auch das Gewinnen neuer empirischer Daten effektiver zu gestalten. Was die Zeitserienanalyse betrifft, ist eine enge Verklammerung mit TP B2 vorgesehen, wo die Programme der US-Specmap-Gruppe eingesetzt werden.

Zusammenarbeit mit anderen Instituten:

MPI Hamburg  
Institut für Meereskunde der Universität Hamburg

## 13. TEILPROJEKT V: Verwaltung und zentrale Dienste

13.11 Leiter: Prof. Dr. Jörn Thiede  
(Sprecher SFB 313)  
Dienstanschrift: GEOMAR  
Forschungszentrum für marine Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Wischhofstr. 1-3  
2300 Kiel  
Telefon: (0431)7202-115

## 13.12 Personal Anfang 1991

Name, akad. Grad Dienststellung	Fachrichtung Institution	Arbeitszeit für das TP in Stunden/Woche	im SFB tätig seit
<b>Grundausstattung: Wissenschaftler</b>			
1) Thiede, J. Dr., Prof.	Sprecher GEOMAR	10	7/85
2) Zeitzschel, B. Dr., Prof.	stellv. Sprecher IfM		7/85
3) Meyer-Reil, L.-A. Dr., Priv. Doz., Oberass.	wiss. Sekretär IfM	10	1/88
4) Schulz, D. Dr., Hochschul- ass.	stellv. wiss. Sekretär IfM		1/91
<b>Ergänzungsausstattung: nichtwiss. Mitarbeiter</b>			
5) Beese, H. Elektroniker	SFB 313	38,5	12/85
6) Kohnke, H. Büroang.	SFB 313	19,25	3/88
7) Steen, E. techn. Ang.	SFB 313	38,5	7/85
8) Thiel, G. Büroang.	SFB 313	38,5	9/85

## 13.2 Zusammenfassung

Die Aufgaben der Leitung, Koordination und Verwaltung sind in der Ordnung dieses Sonderforschungsbereichs (s.a. Punkt 14.) festgelegt und organisatorisch in Teilprojekt V zusammengefaßt. Hierzu gehört vor allem die Verwaltung der dem gesamten SFB zur Verfügung stehenden Mittel für die Durchführung von Expeditionen sowie Personalmittel für 1 Gastforscher, 1.5 Büroangestellte, 1 Elektroniker und 1 Gerätetechniker.

## 14. ORDNUNG DES SFB 313

§ 1 - Allgemeines

Der Sonderforschungsbereich 313, "Veränderungen der Umwelt: der nördliche Nordatlantik" ist ein Zusammenschluß von Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und deren angegliederten Einrichtungen sowie anderer, entsprechender Institutionen im norddeutschen Küstenraum.

Sitz des SFB 313 ist Kiel. Die Universität Kiel ist Sprecher-Hochschule.

§ 2 - Aufgaben

Der SFB 313 hat insbesondere folgende Aufgaben:

1. Forschung zu betreiben, die auf die Veränderungen der Umwelt und der ozeanischen Zirkulation im nördlichen Nordatlantik gerichtet ist, unter besonderer Berücksichtigung interdisziplinärer Integration biologischer, chemischer, geologischer, ozeanographischer und physikalischer Forschungen;
2. Anregung und Koordinierung von gemeinsamen Forschungsprojekten einzelner Mitglieder, die Zusammenarbeit mit anderen in- und ausländischen Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen der genannten Forschungsrichtungen sowie die Beschaffung und Verteilung von Mitteln, die diesen Aufgaben dienen;
3. Jährliche Berichterstattung in öffentlichen Kolloquien über die Tätigkeit und die Forschungsergebnisse des SFB 313.

§ 3 - Projektbereiche und Teilprojekte

- (1) Das Gesamtvorhaben des SFB 313 wird in Projektbereiche und Teilprojekte gegliedert. In diesen ist eine mehrfache Mitgliedschaft möglich.
- (2) Leiter oder Leiterinnen von Teilprojekten (zwei gleichberechtigte Leiter/Leiterinnen) und für dessen Durchführung verantwortlich sind in der Regel diejenigen Mitglieder, die das Forschungsvorhaben maßgeblich konzipiert haben.

§ 4 - Mitgliedschaft

- (1) Stimmberechtigte Mitglieder des SFB 313 sind:
  - die Hochschullehrer und Hochschullehrerinnen, die in Teilprojekten aktiv mitarbeiten,
  - die Teilprojektleiter oder Teilprojektleiterinnen,

- die promovierten Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen mit erfolgreicher wissenschaftlicher Tätigkeit, die im Rahmen des SFB 313 eine übergreifende Funktion für die Teilprojekte ausüben.
- Nicht stimmberechtigte Mitglieder sind
- Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, die ausschließlich beratende Funktionen ausüben.
- (2) Ferner kann die Mitgliedschaft erwerben, wer als selbständig arbeitender Wissenschaftler oder Wissenschaftlerin mit abgeschlossenem Hochschulstudium eine wissenschaftliche Aufgabenstellung bearbeitet, die den interdisziplinären Zielen des SFB 313 förderlich ist und dessen Arbeitsmöglichkeiten einen Erfolg des Vorhabens erwarten lassen.
  - (3) Ein Antrag auf Mitgliedschaft nach 4, Absatz 2 ist in schriftlicher Form an den Sprecher bzw. die Sprecherin des SFB 313 zu richten; er wird durch die Mitgliederversammlung in geheimer Abstimmung mit den Stimmen der Mehrheit der stimmberechtigten Mitglieder entschieden. Der Antragsteller bzw. die Antragstellerin ist vor der Entscheidung von der Mitgliederversammlung anzuhören.
  - (4) Die Mitgliedschaft wird für einen Zeitraum von 3 Jahren festgestellt. Eine Verlängerung der Mitgliedschaft ist unbeschränkt zulässig; die Entscheidung hierüber trifft die Mitgliederversammlung. Wird ein Aufnahme- oder Wiederaufnahmeantrag von der Mitgliederversammlung abgelehnt, so kann dieser frühestens nach einem Jahr wiederholt werden.
  - (5) Die Mitgliedschaft erlischt
    - durch Ausscheiden eines Mitgliedes auf eigenen Wunsch; es verzichtet dabei auf die weitere Nutzung der im SFB 313 zur Verfügung gestellten Forschungsmittel. Die Mitgliederversammlung entscheidet in diesem Falle mit einer Stimmenmehrheit von 2/3 der anwesenden stimmberechtigten Mitglieder darüber, ob das Ausscheiden an die Erfüllung von Auflagen für den Abschluß der vom Antragsteller bzw. der Antragstellerin übernommenen Arbeiten gebunden werden muß;
    - durch Ausschluß aufgrund eines Beschlusses der Mitgliederversammlung, der einer Stimmenmehrheit von 2/3 der stimmberechtigten Mitglieder bedarf. Die vom SFB 313 zur Verfügung gestellten restlichen Forschungsmittel gehen in diesem Falle an den SFB 313 zurück; die Mitgliederversammlung kann mit einer Stimmenmehrheit von 2/3 der anwesenden stimmberechtigten Mitglieder Ausnahmen beschließen.
  - (6) Die Mitglieder des SFB 313 sind verpflichtet, einmal jährlich der Mitgliederversammlung über ihre Arbeiten im SFB 313 zu berichten. Diese Berichte sind wesentliche Grundlage sowohl für die weitere Planung des SFB als auch für die Verlängerung der Mitgliedschaft. Auf Beschluß des Vorstandes kann dieser Bericht in schriftlicher Form angefordert werden.



## § 5 - Mitgliederversammlung

- (1) Die Mitgliederversammlung des SFB 313 entscheidet über die Fragen der Organisation und der Aufgabenstellung des SFB 313, insbesondere über
  - die Genehmigung des Gesamtantrages und des Berichtes an die DFG;
  - die Genehmigung neuer Teilprojekte,
  - die Genehmigung des Jahresberichtes des Sprechers bzw. der Sprecherin,
  - die Einsetzung und Besetzung von Ausschüssen,
  - die Ordnung des SFB und ihre Änderung.
- (2) Die Mitgliederversammlung wird vom Sprecher bzw. der Sprecherin mindestens einmal im Jahr schriftlich einberufen. Auf Antrag von mindestens 5 Mitgliedern muß der Sprecher bzw. die Sprecherin binnen 4 Wochen die Mitgliederversammlung einberufen.
- (3) Die vorläufige Tagesordnung wird vom Sprecher bzw. der Sprecherin des SFB 313 bestimmt; sie muß spätestens am 7. Tage vor dem Sitzungstermin versandt werden. Anträge auf Aufnahme weiterer Tagesordnungspunkte müssen dem Sprecher bzw. der Sprecherin spätestens am 2. Tage vor dem Sitzungstermin vorliegen.
- (4) Die Mitgliederversammlung ist beschlußfähig, wenn alle Mitglieder ordnungsgemäß geladen sind und mehr als die Hälfte der stimmberechtigten Mitglieder anwesend ist.
- (5) Beschlüsse der Mitgliederversammlung bedürfen der einfachen Mehrheit der anwesenden stimmberechtigten Mitglieder, es sei denn, daß in dieser Ordnung im Einzelfall etwas anderes bestimmt ist. Auf Verlangen von mindestens 3 Mitgliedern ist geheim abzustimmen.
- (6) Über jede Mitgliederversammlung ist ein Protokoll anzufertigen, das den Mitgliedern binnen 4 Wochen zuzuleiten ist.
- (7) Für die stimmberechtigten Mitglieder des SFB 313 besteht die Verpflichtung zur Teilnahme an der Mitgliederversammlung.

## § 6 - Vorstand

- (1) Der Vorstand setzt sich zusammen aus dem Sprecher bzw. der Sprecherin als Vorsitzendem bzw. Vorsitzende, dem Stellvertretenden Sprecher bzw. Stellv. Sprecherin, dem Wissenschaftlichen Sekretär bzw. der Wiss. Sekretärin und je einem Vertreter bzw. einer Vertreterin der Teilprojekte.
- (2) Der Vorstand hat insbesondere folgende Aufgaben:
  - er bereitet die Beratung der Mitgliederversammlung vor und führt deren Beschlüsse aus
  - er legt den Rahmen für das Forschungsprogramm im zu planenden Antragszeitraum fest;

- er koordiniert die SFB-Aktivitäten im Rahmen der nationalen und internationalen Zusammenarbeit einschließlich des Genehmigungsverfahrens für Arbeiten außerhalb der Hoheitsgewässer der Bundesrepublik Deutschland;
  - er nimmt Vorschläge für neue Teilprojekte von Mitgliedern des SFB 313 entgegen und stellt sie im Planungsausschuß zur Diskussion;
  - er plant die Beteiligung des SFB 313 an internationalen Symposien sowie die Durchführung regelmäßiger SFB-Kolloquien.
  - Verteilung nichtzweckgebundener Restmittel bei Einzelzuwendungen.
- (3) Der Sprecher bzw. die Sprecherin soll den Vorstand mindestens einmal pro Semester einberufen. Bei unaufschiebbaren Angelegenheiten entscheidet der Sprecher bzw. die Sprecherin anstelle des Vorstandes. In diesen Fällen sind die übrigen Mitglieder des Vorstandes unverzüglich zu unterrichten. Der Vorstand kann die Entscheidung aufheben, soweit durch ihre Ausführung nicht Rechte Dritter entstanden sind.
- (4) Der Vorstand ist beschlußfähig, wenn mindestens 4 Vorstandsmitglieder anwesend sind.
- (5) Der Vorstand faßt seine Beschlüsse mit einfacher Stimmenmehrheit der anwesenden Mitglieder. Er soll alle Möglichkeiten ausschöpfen, Entscheidungen einvernehmlich zu treffen. Im Falle von Stimmgleichheit gibt die Stimme des Vorsitzenden den Ausschlag. Über die erfolgte Beschlußfassung ist ein Protokoll anzufertigen.

#### § 7 - Sprecher / Sprecherin

- (1) Der Sprecher bzw. die Sprecherin vertritt die Belange des SFB 313 nach außen, leitet die Mitgliederversammlung und ist berechtigt, an allen Sitzungen der Ausschüsse und Teilprojekte des SFB 313 teilzunehmen.
- (2) Der Sprecher bzw. die Sprecherin ist an die Beschlüsse der Mitgliederversammlung gebunden und für die den SFB 313 betreffenden Entscheidungen der Mitgliederversammlung rechenschaftspflichtig. Er bzw. sie berichtet der Mitgliederversammlung über die Arbeit des Vorstandes.
- (3) Der Sprecher bzw. die Sprecherin ist den im SFB 313 angestellten Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen (Ergänzungsausschüttung) gegenüber weisungsbefugt. Er bzw. sie kann diese Befugnis an andere SFB-Mitglieder delegieren. Mindestens einmal pro Jahr beruft er bzw. sie eine Versammlung der SFB - Mitglieder ein.

- (4) Der Sprecher bzw. die Sprecherin hat den Vorsitz des Vorstandes inne. Er bzw. sie wird im Verhinderungsfall durch ein von ihm bzw. ihr benanntes Vorstandsmitglied (in der Regel der Stellvertretende Sprecher bzw. die Stellv. Sprecherin) vertreten.
- (5) Die Amtszeit des Sprechers bzw. der Sprecherin entspricht dem Antragszeitraum. Wiederwahl ist zulässig; näheres über den Wahlmodus wird in der Wahlordnung geregelt.
- (6) Der Sprecher bzw. die Sprecherin kann nach dreimonatiger Vorankündigung vorzeitig zurücktreten. Er bzw. sie kann nach Anhörung auf einer Mitgliederversammlung durch Votum von mindestens 3/4 der Mitglieder vorzeitig abberufen werden.

#### § 8 - Wissenschaftlicher Sekretär bzw. Wissensch. Sekretärin

- (1) Der Wissenschaftliche Sekretär bzw. die Wissenschaftliche Sekretärin fördert in enger Zusammenarbeit mit dem Vorstand des SFB 313 die Zusammenarbeit unter den einzelnen Arbeitsgruppen und deren Zusammenarbeit mit der Verwaltung. Er bzw. sie ist Mitglied des Vorstandes.
- (2) Der Wissenschaftliche Sekretär bzw. die Wissenschaftliche Sekretärin hat insbesondere folgende Aufgaben:
  - Vorbereitung von Anträgen und Berichten an die DFG,
  - Öffentlichkeitsarbeit,
  - Verteilung der nichtzweckgebundenen Restmittel bei Einzelzuwendungen unter 3000 DM im Einvernehmen mit dem Sprecher bzw. der Sprecherin,
  - Organisation von Begutachtungen, Ausstellungen und SFB - Veranstaltungen.
- (3) Der Wissenschaftliche Sekretär kann auf Weisung des Sprechers bzw. der Sprecherin oder auf Beschluß des Vorstandes Verwaltungsaufgaben veranlassen oder gegenzeichnen.
- (4) Der stellvertretende Wissenschaftliche Sekretär bzw. die stellvertretende Wissenschaftliche Sekretärin wird jährlich von der Mitgliederversammlung gewählt und übernimmt nach Ende der Amtszeit des Wissenschaftlichen Sekretärs bzw. der Wissenschaftlichen Sekretärin diesen Aufgabenbereich.

#### § 9 - Ausschüsse

Die Mitgliederversammlung kann zur Vorbereitung ihrer Beschlüsse Ausschüsse einsetzen. Die Ausschüsse sind beschlußfähig, wenn alle Mitglieder ordnungsgemäß geladen sind. Die Beschlußfassung erfolgt mit einfacher Stimmenmehrheit der Anwesenden, soweit in dieser Ordnung für den Einzelfall nichts anderes bestimmt ist.

### § 10 - Schlichtungsausschuß

Erhebt ein Mitglied Einspruch gegen einen Beschluß der Mitgliederversammlung oder des Vorstandes, welcher dieses Mitglied unmittelbar betrifft, wird von der Mitgliederversammlung ein Schlichtungsausschuß eingesetzt. Der Schlichtungsausschuß unterbreitet der Mitgliederversammlung innerhalb eines Monats erneut einen Vorschlag zur Beschlußfassung.

### § 11 - Publikationstätigkeit

Die durch die wissenschaftliche Forschung von SFB-Angehörigen gewonnenen Erkenntnisse werden in geeigneter Form veröffentlicht. Solche Veröffentlichungen müssen einen den Bewilligungsrichtlinien der DFG entsprechenden Vermerk tragen, daß die zugrundeliegenden Arbeiten im Rahmen des SFB 313 durchgeführt und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert wurden. Eine regelmäßige Berichterstattung über die wissenschaftliche Arbeit des SFB 313 erfolgt außerdem gemäß den Bestimmungen des Hochschulgesetzes in der Christiana Albertina.

### § 12 - Schlußbestimmungen

- (1) Änderungen dieser Ordnung bedürfen einer Stimmenmehrheit von 2/3 der stimmberechtigten Mitglieder der Mitgliederversammlung. Änderungsanträge sind der Mitgliederversammlung schriftlich vorzulegen.
- (2) Diese Ordnung tritt am Tage nach ihrer Annahme durch die Mitgliederversammlung in Kraft.

## Anhang

Wahlordnung für die Wahl von Sprecher bzw. Sprecherin, Stellvertretendem Sprecher bzw. Stellvertretender Sprecherin und stellvertretendem Wissenschaftlichen Sekretär bzw. stellvertretender Wissenschaftlicher Sekretärin durch die Mitgliederversammlung.

### § 1 - Allgemeines

- (1) Sprecher bzw. Sprecherin, Stellvertretender Sprecher bzw. stellvertretende Sprecherin und stellvertretender Wissenschaftlicher Sekretär bzw. stellvertretende Wissenschaftliche Sekretärin werden in getrennten Wahlgängen in geheimer Wahl gewählt.
- (2) Es wird zunächst der Sprecher bzw. die Sprecherin des SFB, danach der Stellvertretende Sprecher bzw. die Stellvertretende Sprecherin und der stellvertretende Wissenschaftliche Sekretär bzw. die stellvertretende Wissenschaftliche Sekretärin gewählt.

## § 2 - Wahlrecht

Das Wahlrecht steht allen stimmberechtigten Mitgliedern des SFB 313 zu.

## § 3 - Wahlvorstand

Für die Durchführung der Wahl wird ein Wahlvorstand gebildet. Er besteht aus drei von der Mitgliederversammlung gewählten Mitgliedern.

## § 4 - Wahl des Sprechers bzw. der Sprecherin, des Stellvertretenden Sprechers bzw. der Stellvertretenden Sprecherin und des stellvertretenden Wissenschaftlichen Sekretärs bzw. der stellvertretenden Wissenschaftlichen Sekretärin

- (1) Zunächst wird eine Kandidatenliste erstellt. Jedes Mitglied kann hierzu in geheimer Abstimmung einen Kandidaten bzw. eine Kandidatin aus dem Kreise der Mitglieder des SFB vorschlagen. Die vier meistgenannten Namen werden der Mitgliederversammlung ohne Nennung der Stimmenzahl als Kandidaten benannt. Enthält eine Kandidatenliste weniger als vier Namen, so können zusätzlich Kandidaten durch Zuruf nominiert werden.
- (2) Die Kandidaten sind vor der Wahl zu befragen, ob sie die Kandidatur annehmen.
- (3) Jedes Mitglied hat in einem Wahlgang nur eine Stimme.
- (4) Gewählt ist der Kandidat oder die Kandidatin, der bzw. die die Stimme der Mehrheit der anwesenden Stimmberechtigten erhält. Wird diese Mehrheit im 1. Wahlgang nicht erreicht, so ist die Wahl zu wiederholen. Wird auch im 2. Wahlgang die erforderliche Mehrheit nicht erzielt, so wird in einem 3. Wahlgang mit einfacher Stimmenmehrheit zwischen den beiden Kandidaten entschieden, die im 2. Wahlgang die meisten Stimmen erhielten. Bei Stimmengleichheit entscheidet das Los.

Verzeichnis der SFB-Publikationen

- 1) Thiede, J.,  
Gerlach, S.A. &  
Wefer, G.                      \*Sedimentation im Europäischen Nordmeer,  
Organisation und Forschungsprogramm  
des Sonderforschungsbereichs 313  
für den Zeitraum 1985-1987.  
Ber. Sonderforschungsbereich 313,  
Univ. Kiel, 1, 1-110, 1985
  - 2) Peinert, R.                      \*Saisonale und regionale Aspekte der  
Produktion und Sedimentation von  
Partikeln im Meer.  
Ber. Sonderforschungsbereich 313,  
Univ. Kiel, 2, 1-108, 1985
  - 3) Bathmann, U.V.                      \*Zooplanktonpopulationen dreier nord-  
atlantischer Schelfe: Auswirkungen  
abiotischer und biotischer Faktoren.  
Ber. Sonderforschungsbereich 313,  
Univ. Kiel, 3, 1-93, 1986
  - 4) Thiede, J.,  
Diesen, G.W.,  
Knudsen, B.-E. &  
Snare, T.                      \*Patterns of cenozoic sedimentation in  
the Norwegian-Greenland Sea.  
Mar. Geol. 69, 323-352, 1986
  - 5) Peinert, R.                      \*Production, grazing and sedimentation  
in the Norwegian Coastal Current.  
NATO ASI Series, G 7. The role of  
freshwater outflow in coastal marine  
ecosystems. Ed. by S. Skreslet.  
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg,  
361-374, 1986
  - 6) Smetacek, V.                      \*Impact of freshwater discharge on  
production and transfer of materials  
in the marine environment.  
NATO ASI Series, G 7. The role of  
freshwater outflow in coastal marine  
ecosystems. Ed. by S. Skreslet.  
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg,  
85-106, 1986
  - 7) Henrich, R.                      \*A calcite dissolution pulse in the  
Norwegian-Greenland Sea during the  
last deglaciation.  
Geol. Rundschau 75/3, 805-827, 1986
  - 8) Noji, T.,  
Passow, U. &  
Smetacek, V.                      \*Interaction between pelagial and  
benthic during autumn in Kiel Bight.  
I. Development and sedimentation of  
phytoplankton blooms.  
Ophelia 26, 333-349, 1986
-

- 9) Czytrich, H.,  
Eversberg, U. &  
Graf, G. \*Interaction between pelagial and  
benthic during autumn in Kiel Bight.  
II. Benthic activity and chemical  
composition of organic matter.  
*Ophelia* 26, 123-133, 1986
- 10) Altenbach, A.V. \*The measurement of organic carbon in  
foraminifera.  
*Journ. of Foraminifera Res.* 17/2  
106-109, 1987
- 11) Peinert, R.,  
Bathmann, U.,  
Bodungen, B. v. &  
Noji, T. \*The impact of grazing on spring  
phytoplankton growth and sedimentation  
in the Norwegian Current.  
*Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ.  
Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderbd.*, 62,  
149-164, 1987
- 12) Smetacek, V. &  
Pollehne, F. \*Nutrient cycling in pelagic systems:  
A reappraisal of the conceptual  
framework.  
*Ophelia* 26, 401-428, 1986
- 13) Bodungen, B. v. \*Phytoplankton growth and krill grazing  
during spring in the Bransfield Strait,  
Antarctica - Implications from sediment  
trap collections.  
*Polar Biol.* 6, 153-160, 1986
- 14) Stegmann, P.,  
Peinert, R.,  
Bathmann, U. &  
Bodungen, B. v. Pelagic system structure in early  
summer in the central Baltic Sea.
- 15) Mahaut, M.-L. &  
Graf, G. \*A luminophore tracer technique for  
bioturbation studies.  
*Oceanologica Acta* 10/3, 323-328, 1987
- 16) Bathmann, U.V.,  
Noji, T.T.,  
Voß, M. &  
Peinert, R. \*Copepod fecal pellets. Abundance,  
sedimentation and content at a  
permanent station in the Norwegian Sea  
in May/June 1986.  
*Mar. Ecol. - Progress Series* 38,  
45-51, 1987
- 17) Bathmann, U.V. \*Mass occurrence of *Salpa fusiformis* in  
the spring of 1984 off Ireland:  
implications for sedimentation  
processes.  
*Mar. Biol.* 97, 127-135, 1988
- 18) Altenbach, A.V. \*Deep-Sea benthic foraminifera and  
flux rate of organic carbon.  
*Rev. Paleobiol.* 2 (spec.);  
719-720, 1988

- 19) Bodungen, B. v.,  
Nöthig, E.-M. &  
Sui, Q. \*New production of phytoplankton and  
sedimentation during summer 1985 in the  
South Eastern Weddell Sea.  
Comp. Biochem. Physiol., 90B/3,  
475-487, 1988
- 20) Bodungen, B. v.,  
Fischer, G.  
Nöthig, E.-M. &  
Wefer, G. \*Sedimentation of krill faeces during  
spring development of phytoplankton  
in Bransfield Strait, Antarctica.  
Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ.  
Hamburg. SCOPE/UNEP Sonderbd., 62,  
243-257, 1987
- 21) Gerlach, S.-A. \*Plastic and seaweeds in the offshore  
Norwegian Sea.  
Mar. Pollution Bull. 18/5, 246, 1987
- 22) Gerlach, S.-A.,  
Thiede, J.,  
Graf, G. &  
Werner, F. \*Forschungsschiff Meteor, Reise 2 vom  
19. Juni bis 16. Juli 1986.  
Forschungsschiff Poseidon, Reise 128  
vom 7. Mai bis 8. Juni 1986.  
Ber. Sonderforschungsbereich 313,  
Univ. Kiel, 4, 1-140, 1986
- 23) Jansen, E.,  
Bleil, U.,  
Henrich, R.,  
Kringstad, L. &  
Slettemark, B. \*Paleoenvironmental changes in the  
Norwegian Sea and the North-East  
Atlantik during the last 2.8 m.y.:  
Deep Sea Drilling Project/Ocean  
Drilling Program Sites 610, 642,  
643 and 644.  
Paleoceanography, 3/5, 563-581, 1988
- 24) Jensen, P. \*Four new nematode species, abundant  
in the deep-sea benthos of the  
Norwegian Sea.  
Sarsia 73, 149-155, 1988
- 25) Jensen, P. \*Nematode assemblages in the deep-sea  
benthos of the Norwegian Sea.  
Deep-Sea Res. 3/7, 1173-1184, 1988
- 26) Erlenkeuser, H. &  
Balzer, W. \*Rapid appearance of Chernobyl radiocesium  
in the deep Norwegian Sea sediments.  
Oceanologica Acta 11/1, 101-106, 1988
- 27) Gerlach, S.A.,  
Theilen, F. &  
Werner, F. \*Forschungsschiff Poseidon, Reise 119  
vom 16. Juli bis 1. August 1985  
Forschungsschiff Poseidon, Reise 120  
vom 4. August bis 20. August 1985  
Forschungsschiff Valdivia, Reise 201-48A  
vom 17. Juli bis 31. Juli 1986  
Forschungsschiff Poseidon, Reise 137  
vom 3. Februar bis 20. Februar 1987.  
Berichte der Fahrtleiter.  
Ber. Sonderforschungsbereich 313,  
Univ. Kiel, 5, 1-94, 1987



- 28) Henrich, R. \*Glacial/interglacial cycles in the Norwegian Sea: sedimentology, paleoceanography, and evolution of Late Pliocene Quaternary northern hemisphere climate.  
In: Eldholm, O., Thiede, J., Taylor, E. et al., Proc. ODP Sci. Results, 104: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 189-232, 1989
- 29) Henrich, R. \*Diagenetic environments of authigenic carbonates and OPAL-CT crystallization in lower miocene to upper oligocene deposits of the Norwegian Sea (ODP Site 643, LEG 104).  
In: Eldholm, O., Thiede, J., Taylor, E. et al., Proc. ODP Sci. Results, 104: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 233-247, 1989
- 30) Henrich, R., Kassens, H., Vogelsang, E. & Thiede, J. \*Sedimentary facies of glacial-interglacial cycles in the Norwegian Sea during the last 350 ka.  
Mar. Geol., 86, 283-319, 1989
- 31) Romero-Wetzel, M.B. \*Sipunculans as inhabitants of very deep, narrow burrows in deep-sea sediments.  
Mar. Biol. 96, 87-91, 1987
- 32) Romero-Wetzel, M.B. \*Branched burrow-systems of the enteropneust Stereobalanus canadensis (Spengel) in deep-sea sediments of the Vöring-Plateau, Norwegian Sea.  
Sarsia 74, 85-89, 1989
- 33) Altenbach, A. & Weinholz, P. \*GEM im Labor.  
ST Computer-Zeitschrift 5, 75-78, 1987
- 34) Thiede, J., Gerlach, S.A. & Peinert, R. \*SFB 313 "Sedimentation im europäischen Nordmeer: Abbildung und Geschichte der ozeanischen Zirkulation".  
Christiana Albertina 26, 121-159, 1988
- 35) Haake, F.W. & Pflaumann, U. \*Late Pleistocene foraminiferal stratigraphy on the Vöring Plateau, Norwegian Sea.  
Boreas 18, 343-356, 1989
- 36) Balzer, W. Particle mixing processes in deep Norwegian Sea sediments: evidence for seasonal effects.
- 37) Meissner, R. & Köpnick, M. \*Structure and evolution of passive margins: the plume model again.  
Journ. Geodynamics 9, 1-13, 1988

- 38) Theilen, F.,  
Uenzelmann, G. &  
Gimpel, P.                      Sediment distribution at the outer  
Vöring Plateau from reflection  
seismic investigations. Marine  
Geophysical Research.
- 39) Henrich, R.,  
Wolf, T.,  
Bohrmann, G. &  
Thiede, J.                      \*Cenocoic paleoclimatic and paleoceanographic changes in the northern hemisphere revealed by variability of coarse-fraction composition in sediments from the Vöring Plateau.- LEG 104 drill sites.  
In: Eldholm, O., Thiede, J., Taylor, E. et al., Proc. ODP Sci. Results, 104: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 75-188, 1989
- 40) Kassens, H. &  
Sarnthein, M.                      \*A link between paleoceanography, early diagenetic cementation, and shear strength maxima in late quaternary deep-sea sediments? Paleoceanography 4/3, 253-269, 1989
- 41) Eldholm, O.,  
Thiede, J.,  
Taylor, E. et al.                      \*Proceedings, Initial Reports (Part A), of the Ocean Drilling Program. 104, 53-771, 1987
- 42) Kachholz, K.-D. &  
Henrich, R.                      \*Verschiedene Experimente mit der Sedimentationswaage. Broschüre des SFB 313, 1987
- 43) Thiede, J.                      \*The seas around Norway and their geological history.  
In: Varjo & Tietze (eds.) "Norden - Man and Environment. Gebr. Borntraeger, Stuttgart, 32-42, 1987
- 44) Kögler, F.                      \*Fahrtbericht Poseidon-Fahrt 139/1 vom 3.8.-9.8.87. Broschüre des SFB 313
- 45) Altenbach, A.V.,  
Lutze, G.F. &  
Weinholz, P.                      \*Beobachtungen an Benthos-Foraminiferen (Teilprojekt A3). Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 6, 1-86, 1987
- 46) Jansen, E.,  
Slettemark, B.,  
Bleil, U.,  
Henrich, R.,  
Kringstad, L. &  
Rolfsen, S.                      \*Oxygen and carbon isotop stratigraphy and magnetostratigraphy of the last 2.8 Ma: Paleoclimatic comparisons between the Norwegian Sea and the North Atlantic.  
In: Eldholm, O., Thiede, J., Taylor, E. et al., Proc. ODP Sci. Results, 104: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 255-272, 1989



- 57) Lutze, G.F. & Salomon, B. \*Foraminiferen-Verbreitung zwischen Norwegen und Grönland: ein West-Ost Profil. s.o., 69-78
- 58) Lutze, G.F. \*Benthische Foraminiferen: Vertikale Verteilung in den obersten Sedimentlagen und Probleme bei der Entnahme von Standard-Proben. s.o., 79-87
- 59) Meissner, R., Sarnthein, M., Thiede, J., Walger, E. & Werner, F. \*Zur Sedimentation in borealen Meeren: Sedimentverteilungen am äußeren Kontinentalrand vor Nord-Norwegen (Pilotstudie Teil B). Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 7, 1-144, 1988
- 60) Thiede, J., Gerlach, S.A., Altenbach, A. & Henrich, R. \*Sedimentation im Europäischen Nordmeer. Organisation und Forschungsprogramm des Sonderforschungsbereiches 313 für den Zeitraum 1988-1990. Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 8, 1-211, 1988
- 61) Bohrmann, G. \*Zur Sedimentationsgeschichte von biogenem Opal im nördlichen Nordatlantik und dem Europäischen Nordmeer (DSDP/ODP-Bohrungen 408, 642, 643, 644, 646 und 647). Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 9, 1-221, 1988
- 62) Bathmann, U.V., Noji, T.T. & Bodungen, B. v. \*Copepod grazing potential in late winter in the Norwegian Sea - A factor in the control of spring phytoplankton growth? Mar. Ecol. Prog. Ser. 60, 225-233, 1990
- 63) Lampitt, R.L., Noji, T. & Bodungen, B. v. \*What happens to zooplankton faecal pellets? Implications for material flux. Marine Biology 104, 15-23, 1990
- 64) Holler, P. \*Sedimentäre Rutschmassen in der Tiefsee. Submarine landslides in the deep-sea. Berichte - Reports, Geol.-Paläont. Inst. Univ. Kiel, 23, 1-141, 1988
- 65) Bathmann, U.V., Peinert, R., Noji, T. & Bodungen, B. v. \*Pelagic Origin and Fate of sedimenting Particles in the Norwegian Sea. Prog.Oceanog. 24, 117-125, 1990

- 66) Noji, T.T.,  
Estep, K.,  
MacIntyre, F. &  
Norrbin, F.                      Image analysis of fecal material grazed upon by three species of copepods. Evidence for coprorhexa, coprophagy and coprochaly. J.Mar.Biol.Assoc. U.K.
- 67) Schrader, H. &  
Karpuz, N.  
(Univ. Bergen)                      \*Norwegian-Iceland seas: Transfer Functions Between Marine Planktic Diatoms and Surface Water Temperature. In: Bleil, U. & Thiede, J. (eds.): Geological History of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic. NATO ASI Series C, Kluver Acad. Publ., 337-361
- 68) Hirschleber, H.,  
Theilen, F.,  
Balzer, W.,  
Bodungen, B. v. &  
Thiede, J.                      \*Forschungsschiff Meteor, Reise 7, vom 1. Juni bis 28. September 1988. Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 10, 1-358, 1988
- 69) Bodungen, B. v.,  
Theilen, Fr. &  
Werner, F.                      \*Poseidon-Reise 141-2/142 vom 17.10.-18.11.87, Poseidon-Reise 146/1 vom 25.4.-11.5.88, Poseidon-Reise 146/3 vom 29.5.-19.6.88. Berichte der Fahrtleiter. Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 11, 1-66, 1988
- 70) Uenzelmann, G.                      \*Sedimente des südlichen Äußeren Vöring-Plateaus - Eine hochauflösende reflexionsseismische Untersuchung. Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 12, 1-142, 1988
- 71) Samtleben, C. &  
Bickert, T.                      \*Coccoliths in sediment traps from the Norwegian Sea. Marine Micropaleontology, 16, 39-64
- 72) Bohrmann, G.,  
Henrich, R. &  
Thiede, J.                      \*Miocene to Quaternary Paleoceanography in the northern North Atlantic: Variability in carbonate and biogenic opal accumulation. In: Bleil, U. & Thiede, J. (eds.): Geologic History of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic. NATO ASI Series C, Kluver Acad. Publ., 647-675
- 73) Henrich, R.                      \*Cycles, rhythms and events in quaternary arctic and antarctic glaciomarine deposits (a review). In: Bleil, U. & Thiede, J. (eds.): Geologic History of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic. NATO ASI Series C, Kluver Acad. Publ., 213-244

- 74) Henrich, R. Cycles and rhythms and events on high input and low input classiated continental margin (over view).  
In: Einsele, Riecken, Seilacher (Eds.): (Springer-Verlag) Cycles and Events in Stratigraphy
- 75) Romero-Wetzel, M. \*Struktur und Bioturbation des Makrobenthos auf dem Vöring-Plateau (Norwegische See).  
Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 13, 1-204, 1989
- 76) Hempel, P. \*Der Einfluß von biogenem Opal auf die Bildung seismischer Reflektoren und die Verbreitung opalreicher Sedimente auf dem Vöring Plateau.  
Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, 14, 1-131, 1989
- 77) Williams, P.J.leB., \*Group Report  
Bodungen, B. v., Export Productivity from the Photic Zone.  
(Rapporteurs) In: W.H. Berger, V.S. Smetacek &  
Bathmann, U.V., G. Wefer (eds.): Productivity of the  
Berger, W.H., Ocean: Present and Past, Report of  
Eppley, R.W., the Dahlem Workshop, Berlin 1988,  
Feldman, G.C., John Wiley & Sons, 99-115, 1989  
Fischer, G.,  
Legendre, L.,  
Minster, J.-F.,  
Reynolds, C.S.,  
Smetacek, V.S. &  
Toggweiler, J.R.
- 78) Bruland, K.W., \*Group Report  
(Rapportuer) Flux to the Seafloor.  
Bienfang, P.K., In: W.H. Berger, V.S. Smetacek &  
Bishop, J.K.B., G. Wefer (eds.): Productivity of the  
Eglinton, G., Ocean: Present and Past, Report of  
Ittekkot, V.A.W., the Dahlem Workshop, Berlin 1988  
Lampitt, R., John Wiley & Sons, 193-215, 1989  
Sarnthein, M.,  
Thiede, J.,  
Walsh, J.J. &  
G. Wefer
- 79) Altenbach, A.V. & \*Productivity Record in Benthic Foraminifera.  
Sarnthein, M. In: W.H. Berger, V.S. Smetacek &  
G. Wefer (eds.): Productivity of the  
Ocean: Present and Past, Report of  
the Dahlem Workshop, Berlin 1988,  
John Wiley & Sons, 255-269, 1989

- 80) Jumars, P.A.,  
(Rapporteur)  
Altenbach, A.V.,  
De Lange, G.J.,  
Emerson, S.R.,  
Hargrave, B.T.,  
Müller, P.J.,  
Prahl, F.G.,  
Reimers, C.E.,  
Steiger, T. &  
Süß, E.
- \*Group Report  
Transformation of Seafloor-arriving  
Fluxes into the Sedimentary Record.  
In: W.H. Berger, V.S. Smetacek &  
G. Wefer (eds.): Productivity of the  
Ocean: Present and Past, Report of  
the Dahlem Workshop, Berlin 1988,  
John Wiley & Sons, 291-311, 1989
- 81) Holler, P. &  
Kassens, H.
- \*Sedimentphysikalische Eigenschaften aus  
dem Europäischen Nordmeer (Datenreport  
F.S. METEOR, Reise 7).  
Ber. Sonderforschungsbereich 313,  
Univ. Kiel, 15, 1-61, 1989
- 82) Philipp, J.
- \*Bestimmung der Kompressions- und Scher-  
wellengeschwindigkeit mariner Sedimente  
an Kastenlotkernen: Entwicklung einer  
Meßapparatur und Vergleich mit sedi-  
mentologischen Parametern.  
Ber. Sonderforschungsbereich 313,  
Univ. Kiel, 16, 1-95, 1989
- 83) Noji, T.
- \*The influence of zooplankton on  
sedimentation in the Norwegian Sea.  
Ber. Sonderforschungsbereich 313,  
Univ. Kiel, 17, 1-183, 1989
- 84) Linke, P.
- \*Lebendbeobachtungen und Untersuchun-  
gen des Energiestoffwechsels benthic-  
scher Foraminiferen aus dem Euro-  
päischen Nordmeer.  
Ber. Sonderforschungsbereich 313,  
Univ. Kiel, 18, 1-123, 1989
- 85) Meyer-Reil, L.-A.
- \*Microorganisms in Marine Sediments:  
Considerations Concerning Activity  
Measurements.  
Ergeb. Limnol. 34, 1-6, 1990
- 86) Meyer-Reil, L.-A.
- Ecological Aspects of Enzymatic  
Activity in Marine Sediments. In:  
Proceedings of the First Workshop on  
Exoenzymes in Aquatic Environments.  
Reitrain/München, in press, 1990

- 87) Köster, M.,  
Jensen, P. &  
Meyer-Reil, L.-A. Hydrolytic Activity Associated with  
Biogenic Structures in Deep-Sea  
Sediments of the Norwegian-Greenland  
Sea. In: Proceedings of the First  
Workshop on Exoenzymes in Aquatic  
Environments. Reitrain/München,  
in press, 1990
- 88) Meyer-Reil, L.-A. &  
Köster, M. Fine-scale distribution of hydrolytic  
activity associated with foraminiferans  
and bacteria in deep-sea sediments.
- 89) Altenbach, A.V. \*Konstruktive Optimierung und Werkzeug-  
gebrauch bei Einzellern.  
Natur und Museum 120/1, 15-18, 1990
- 90) Romero-Wetzel, M. &  
Gerlach, S.-A. Deep-Sea Macro-Zoobenthos of Vöring-  
Plateau (Norwegian Sea)  
Sarsia
- 91) Wassmann, P.,  
Peinert, R. &  
Smetacek, V. Patterns of production and sedimentation  
in the boreal and polar north east  
Atlantik. 1990
- 92) Linke, P. Response of benthic foraminifera to  
seasonally varying food input in the  
Norwegian-Greenland Sea
- 93) Ramm, M. \*Late Quaternary carbonate sedimentation  
and paleo-oceanography in the eastern  
Norwegian Sea.  
Boreas, 18, 255-272, 1989
- 94) Rumohr, J. A high accumulation area on the conti-  
nental slope off northern Norway and  
the conception of winter water cas-  
cades.  
sub. Deep Sea Res.
- 95) Eldholm, O.,  
Thiede, J. &  
Taylor, E. \*Evolution of the Voering volcanic  
margin.  
In: Eldholm, O., Thiede, J., Taylor, E.  
et al., Proc. ODP Sci. Results, 104:  
College Station, TX (Ocean Drilling  
Program), 1033-1067, 1989
- 96) Thiede, J.,  
Eldholm, O. &  
Taylor, E. \*Variability of cenozoic Norwegian-  
Greenland Sea, paleoceanography and  
northern hemisphere paleoclimate.  
In: Eldholm, O., Thiede, J., Taylor, E.  
et al., Proc. ODP Sci. Results, 104:  
College Station, TX (Ocean Drilling  
Program), 1067-1120, 1989



- 97) Scholten, J.C.,  
Botz, R.,  
Mangini, A.,  
Paetsch, H.,  
Stoffers, P. &  
Vogelsang, E.      \*High resolution  $^{230}\text{Th}^{\text{ex}}$  stratigraphy  
of sediments from high latitude areas  
(Norwegian Sea, Fram Strait)  
Earth Planet. Sci. Lett., 101, 54-62,  
1990
- 98) Bischof, J.      \*Dropstones in the Norwegian-Greenland  
Sea - Indications of Late Quaternary  
Circulation Patterns? In: Bleil, U. &  
Thiede, J. (eds.): Geologic History of  
the Polar Oceans: Arctic versus Ant-  
arctic. NATO ASI Series C, Kluver Acad.  
Publ., 499-518
- 99) Graf, G.      \*Benthic-pelagic coupling in a deep-sea  
benthic community.  
Nature, 341/6241, 437-439, 1989
- 100) Pilnay, C.,  
Thomsen, L. &  
Altenbach, A.V.      \*Methodische Ansätze zur Biomassebe-  
stimmung mittels biochemischer Para-  
meter und der computergestützten Bild-  
analyse.  
Ber. Sonderforschungsbereich 313,  
Univ. Kiel, 19, 1-155, 1989
- 101) Mintrop, L.J.      \*Aminosäuren im Sediment - Analytische  
Methodik und Ergebnisse aus der  
Norwegischen See.  
Ber. Sonderforschungsbereich 313,  
Univ. Kiel, 20, 1-217, 1990
- 102) Thiede, J.,  
Gerlach, S.,  
Altenbach, A.,  
Bodungen, B. v.,  
Samtleben, C.,  
Walger, E.,  
Werner, F.,  
Lutze, G.,  
Balzer, W.,  
Botz, R.,  
Meißner, R.,  
Theilen, F. &  
Sarnthein, M.      \*Sedimentation im Europäischen Nordmeer:  
Abbildung und Geschichte der ozeanischen  
Zirkulation. Bericht über den Sonder-  
forschungsbereich 313 der Universität  
Kiel in den Jahren 1985 bis 1989.  
Mitteilung XVIII der Senatskommission für  
Geowissenschaftliche Gemeinschaftsfor-  
schung, 101-131, 1990
- 103) Rokoengen, K.,  
Erlenkeuser, H.,  
Løfaldi, M. &  
Skarbø, O.      A climatic record for the last 12.000  
years from a sediment core on the Mid  
Norwegian Continental Shelf. Norsk.  
Geologisk Tidsskrift, in prep.
- 104) Andrews, J.T.,  
Erlenkeuser, H.,  
Briggs, W.M.,  
Evans, L.W.,  
Williams, K.M. &  
Jull, A.J.T.      Termination I, SE Baffin Shelf, N.W.T.:  
Stable Isotopes, and Paleoceanography,  
Margin of the Hudson Strait Ice Stream.

- 105) Andrews, J.T.,  
Evans, L.W.,  
Williams, K.M.,  
Briggs, W.M.,  
Jull, A.J. T.,  
Erlenkeuser, H. &  
Hardy, I. Cryosphere/Ocean Interactions at the  
Margin of the Laurentide Ice Sheet  
during the Younger Dryas Chron: SE Baffin  
Shelf, N.W.T.
- 106) Bathmann, U.,  
Noji, T. &  
Bodungen, B. v. Sedimentation of Pteropods in the  
Norwegian Sea in Autumn. Deep Sea Res.
- 107) Altenbach, A.V.,  
Heeger, T.,  
Linke, P.,  
Spindler, M. &  
Thies, A. *Millionella subrotunda* a milliolith  
foraminifera building large agglutinated  
tubes for a temporary epibenthic life-  
style.
- 108) Botz, R.,  
Erlenkeuser, H.,  
Koch, J. &  
Wehner, H. Analyses of sedimentary organic matter of  
a glacial/interglacial change (oxygen  
isotope stage 6/5) in the Norwegian Sea.  
Marine Geology
- 109) Jensen, P.,  
Rumohr, J.,  
Graf, G.  
Köster, M. &  
Meyer-Reil, L.-A. Biological activity across a deep-sea  
ridge exposed to advection and  
accumulation of pelagic material.  
Deep-sea Research
- 110) Jensen, P., An enteropneust's nest: results of bio-  
turbation and microbial gardening by  
the deep-sea acorn worm Stereobalanus  
canadensis. Deep-Sea Research
- 111) Jensen, P. Nine new nematode species and a new genus  
Nojinema gen. n. from the deep-sea  
benthos of the Norwegian Sea. Hydrobio-  
logia
- 112) Jensen, P. Re-discovery of Cerianthus Vogti,  
Danielssen, 1890. A small anthozoan  
living in an extended tube-system deeply  
buried in the deep-sea sediments of the  
Norwegian Sea. Sarsia
- 113) Jensen, P. Predatory nematodes from the deep-sea  
benthos of the Norwegian Sea. Sarsia
- 114) Jensen, P. Bodonematidae Fam. N. (nematoda, chroma-  
dorida) with description of Bodonema  
Vossi gen. n. et sp. n. from the deep-sea  
benthos of the Norwegian Sea. Sarsia

- 115) Meyer-Reil, L.A.,  
Köster, M. &  
Charfreitag, O. Availability of nutrients to a deep-sea  
community: results from a ship board  
experiment. II. Induction of microbial  
activities. in prep.
- 116) Karpuz, N.K. &  
Schrader, H. Surface sediment diatom distribution and  
Holocene paleotemperature variations in  
the Greenland, Iceland and Norwegian Sea.  
Paleoceanography Vol. 5, No. 4 (1990)  
557-580
- 117) Heeger, T. \*Elektronenmikroskopische Untersuchungen  
zur Ernährungsbiologie benthischer  
Foraminiferen. Ber. Sonderforschungs-  
bereich 313, Univ. Kiel, 21, 1-146, 1990
- 118) Hahn, M.,  
Sarnthein, M.,  
Vogelsang, E. &  
Erlenkeuser, H. Early decay of Barents Shelf ice sheet -  
southward spread of stable isotope  
signals across the eastern Norwegian Sea.  
Norsk Geologisk Tidsskrift, submitted
- 119) Baumann, K.-H. \*Veränderlichkeit der Coccolithophoriden-  
flora des Europäischen Nordmeeres im  
Jungquartär. Ber. Sonderforschungsbe-  
reich 313, Univ. Kiel, 22, 1-146, 1990
- 120) Vogelsang, E. \*Paläo-Ozeanographie des Europäischen  
Nordmeeres an Hand stabiler Kohlenstoff-  
und Sauerstoffisotope. Ber. Sonderfor-  
schungsbereich 313, Univ. Kiel, 23,  
1-136, 1990
- 121) Kassens, H. \*Verfestigte Sedimentlagen und seismische  
Reflektoren: Frühdiagenese und Paläo-  
Ozeanographie in der Norwegischen See.  
Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ.  
Kiel, 24, 1-117, 1990
- 122) Locker, S. \*30. Cenozoic Silicoflagellates,  
Ebridians, and Actiniscidians from the  
Vöring Plateau (ODP LEG 104). In:  
Eldholm, O., Thiede, J., Taylor, E. et  
al., Proc. ODP Sci. Results, 104: College  
Station, TX (Ocean Drilling Program),  
543-585, 1989

\* bereits erschienen