

GLOBAL CHANGE

DAS ARKTISCHE MEEREIS: GEOLOGISCHE UND KLIMATISCHE BEDEUTUNG HEUTE UND IN DER VERGANGENHEIT

BMFT-VORHABEN 03G0507A

(1.6.1990 BIS 31.12.1993)



ABSCHLUßBERICHT

VERFAßT VON

DR. H. KASSENS, PROF. DR. J. THIEDE

UND DEN MITARBEITERN DES PROJEKTES

**GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN
DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL**

KIEL, FEBRUAR 1995

DANK

Dieses Vorhaben hätte nicht ohne die großzügige Förderung durch das BMBF durchgeführt werden können. Es bedeutet einen schrittweisen Aufbau der engen, vertrauensvollen Kooperation einer Reihe deutscher und russischer Forschungseinrichtungen mit dem Ziel, eine Aussage zu den natürlichen Eigenschaften der Umwelt und ihrer zeitlichen Veränderlichkeit in einem der wichtigsten eurasiatischen arktischen Randmeere zu versuchen. Mit der Organisation der Expeditionen in dieses Gebiet und der von vielen, sehr verschiedenen Partnern auszuführenden anschließenden Analysenarbeit des gewonnenen Daten- und Probenmaterials sind in einigen Bereichen neue Wege beschritten worden und beträchtliche Fortschritte erzielt worden. Neben den Persönlichkeiten, die die Durchführung der Expeditionen unterstützt haben, mußte aber besonderer Wert auf die enge und gute Zusammenarbeit mit den in der eurasiatischen Arktis tätigen russischen Forschungsorganisationen gelegt werden; von schwierigen, zögernden anfänglichen Schritten mit Untersuchungen sehr begrenzten regionalen Umfanges haben sich hier im Laufe weniger Jahre umfassende interdisziplinäre und international besetzte Forschungsexpeditionen entwickelt. Dieses wäre nicht geschehen ohne die wohlwollende Unterstützung vieler russischer und deutscher Dienststellen, für die es auch hier galt, neue Wege des gegenseitigen Verständnisses und der Zusammenarbeit zu suchen. Für die bisher geleistete Förderung sind alle Teilnehmer dieser Projektarbeiten zu großem Dank verpflichtet.

Das mit diesem Bericht abgeschlossene Vorhaben hat die Basis für eine wesentlich umfassendere Forschungstätigkeit im Bereich der Laptev-See gelegt, in dem im Rahmen eines durch das BMBF geförderten Verbundvorhabens über 15 deutsche und russische Forschungseinrichtungen zusammenwirken, um den wichtigsten Zügen der Eigenschaften der Umwelt in der Laptev-See auf die Spur zu kommen, die in den Ablagerungen des Meeresbodens eine Spur hinterlassen, so daß wir aus ihnen die geschichtliche Veränderlichkeit der Umwelt in diesem Gebiet untersuchen können. Die eurasiatischen Randmeere üben entscheidende Einflüsse auf Klima und Ozeanographie der nördlichen Hemisphäre aus und es liegt daher im Interesse östlicher und westlicher Nationen, dem Mechanismus der Wechselwirkung der einzelnen Kompartimente der Umwelt auf die Spur zu kommen. Hier können durch die Untersuchungen der Eigenschaften des arktischen Meereises wichtige Beiträge geleistet werden.

INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG	1
AUFGABENSTELLUNG	1
VORAUSSETZUNGEN UND ABLAUF DES VORHABENS	6
• Expeditionen	7
WISSENSCHAFTLICHER STAND BEI PROJEKTBEGINN	13
ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN	14
ERZIELTE ERGEBNISSE	15
• Die rezente lithogene Materialfracht des arktischen Meereises	15
• Über den Fremdstoffeintrag in das arktische Meereis in der Laptev-See	18
• Meereistransportiertes lithogenes Feinmaterial in spätquartären Sedimenten des zentralen östlichen Arktischen Ozeans	20
• Sonographische und sedimentologische Untersuchungen in der Laptev-See, sibirische Arktis	22
• Echographiekartierung und physikalische Eigenschaften der oberflächennahen Sedimente in der Laptev-See	23
• Polychlorierte Biphenyle (PCB) im arktischen Regime der Laptev-See	23
• Identifikation der Liefergebiete von Meereissedimenten anhand von Spurenmetallen	37
• ARCTIC '93: Sediment Transport by Laptev Sea Ice	41
• Kennzeichnung der Sedimentationsräume fluviatiler Materialfrachten anhand akustischer und granulometrischer Untersuchungen	48
ZITIERTE LITERATUR	51
RELEVANTE VERÖFFENTLICHUNGEN DER PROJEKTMITARBEITER UND MITARBEITERINNEN	54
• Bücher	54
• Publikationen	54
• Tagungsbeiträge	57
ANHANG	65
• Kurzfassungen von relevanten Veröffentlichungen	

EINLEITUNG

Die arktische Meereisdecke gehört mit zu den wichtigsten Klimamotoren auf der Nordhalbkugel (Clark, 1990; Untersteiner, 1990). Aufgrund der exponierten Stellung und des Mißverhältnisses zwischen der Fläche und der durchschnittlichen Eisdicke (ca. 3 m) wird angenommen, daß die Meereisdecke bereits auf kleinste Umweltveränderungen reagieren kann (Gierloff-Emden, 1982). Die Ausdehnung, Zusammensetzung und Mächtigkeit der Eisdecke, der Anteil von offenem Wasser und die Eisdrift beeinflussen den Gas- und Wärmeaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre, wirken durch die Albedo auf den Wärmehaushalt und die atmosphärische Zirkulation ein und beeinflussen die Ökologie der marinen Biota (Aagaard et al., 1985; Clark, 1990). Die Meereisdecke des Arktischen Ozeans und seiner Randmeere steht also in sensibler Wechselwirkung mit dem Wassermassen- und Wärmeaustausch der Ozeane, der wiederum von klimatischen und ozeanographischen Vorgängen gesteuert wird. Die Atmosphäre und die ozeanische Zirkulation transportieren Wärme in die Polargebiete, wo dieser Energieüberschuß durch die negative Bilanz der Insolation und Wärmeabstrahlung ausgeglichen wird. Hier setzt die klimatische und ökologische Bedeutung an, die Meereissedimente - bei entsprechend flächendeckender Verteilung - durch Erniedrigung der Albedo und Verringerung der Lichtdurchlässigkeit des Eises haben könnten (Ledley & Thomson, 1986).

Wichtig ist der Sedimenttransport durch das Meereis aber vor allem als Teil des rezenten Umweltmilieus im Arktischen Ozean. Die Erstreckung und die Mächtigkeit polarer Eisdecken sowie das Verhältnis von Meereis zu Eisbergen sind bedeutende Faktoren für die Beurteilung des Sedimentationsmilieus und des Klimas in der Vergangenheit. Die rezente Packeisdecke im Arktischen Ozean führt große Mengen von feinkörnigen Sedimenten mit sich, die während der Eisbildung auf den arktischen Schelfen eingetragen, mit der Eisdrift transportiert und in den Ablationsgebieten, wie z.B. in der Fram-Straße, wieder freigesetzt werden. Vor allem in Ablationsgebieten könnte der Meereistransport den quantitativ bedeutendsten Sedimentationsmechanismus bilden.

AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen des Vorhabens "GLOBAL CHANGE: Das arktische Meereis: Geologische und klimatische Bedeutung heute und in der Vergangenheit" wurden in einer übergeordneten Zielsetzung mögliche Auswirkungen von globalen Klimaschwankungen auf die Meereisbedeckung im Nordpolarmeer untersucht. Die wissenschaftlichen Zielsetzungen, von denen ein großer Teil erfolgreich

abgeschlossen werden konnte, wurden dabei in folgende Arbeitsschwerpunkte untergliedert:

1. Kartierung und Charakterisierung von arktischen Meereissedimenten:

Während des ersten Abschnittes des Forschungsvorhabens konzentrierten sich die Arbeiten auf die zentralen Gebiete der Transpolardrift und auf potentielle Ablagerungsgebiete von arktischen Meereissedimenten in der Fram-Straße und in der Grönland-See. Im Rahmen dieser Untersuchungen konnten wesentliche Erkenntnisse über die Verbreitung und Zusammensetzung sowie über die Klimawirkungsweise von Meereissedimenten im Bereich der Transpolardrift gewonnen werden. So zeigte sich, daß die höchsten Konzentrationen von Meereissedimenten, bis zu 56 g/l, generell im Zentrum der Transpolardrift auftreten. Obwohl diese Meereissedimente sehr fleckenhaft verteilt sind oder auch über weite Gebiete fehlen, kristallisieren sich deutlich Gebiete mit hohen Sedimentgehalten, im Extremfall bis zu 50%, heraus.

Arktische Meereissedimente werden überwiegend aus terrigenem Material zusammengesetzt. Dabei dominieren die Minerale Quarz und Feldspat sowie Tonminerale. Die Quarze sind meist farblos, durchsichtig und zudem oftmals gerundet, was auf eine primär fluviatile Herkunft schließen läßt. Akzessorische Minerale sind Biotit, Muskovit, Pyrit, Glaukonit und Schwerminerale wie Hornblende, Pyroxen, Spinell, Magnetit, Zirkon und Titanit. Allgemein ist Muskovit häufiger vertreten als Biotit. An wenigen Stationen wurden auch Steine bis zu 5 cm Durchmesser gefunden.

Analysen der biogenen Sedimentanteile zeigen, daß eine hochdiverse Eisflora existiert. Der biogene Anteil der Meereissedimente wird von Algen dominiert. Untergeordnet treten marin-planktische Tintinniden, Silikoflagellaten, Copepoden, Radiolarien, Coccolithophoriden, Dinozysten, planktische Foraminiferen und Amphipoden auf. Eher selten sind benthische Foraminiferen zu beobachten, die jedoch aufgrund ihrer Herkunft aus der litoralen bis neritischen Zone wichtige Rückschlüsse auf Sedimenteintragsmechanismen zulassen. Zudem treten Holzreste und Baumstämme auf, die eine Länge bis zu 5 m und Durchmesser bis zu ca. 30 cm aufweisen.

Die Tonmineralvergesellschaftung in arktischen Meereissedimenten weist deutliche regionale Unterschiede auf. Sedimente aus der Fram-Straße, der Grönland-See, der Barents-See und des nördlichen Arktischen Ozeans zeigen eine relativ einheitliche Zusammensetzung. Die Meereissedimente des südlichen Arktischen Ozeans weisen im Gegensatz zu weiter nördlich gelegenen Probenlokationen (nördlich von 84 °N) und den Sedimenten aus der Fram-Straße und der Grönland-See eine deutlich unterschiedliche Färbung auf, wobei die

Smektit-Gehalte gleichzeitig wesentlich höher sind. Dagegen sind die Meereissedimente des südlichen Arktischen Ozeans an Illit verarmt.

Der Schwermineralgehalt der Eissedimente liegt zwischen 0.5 und 8.4 Gew.-%. Bei der abgetrennten Schwerefraktion handelt es sich vorwiegend um Hornblende. Untergeordnet treten Pyrit, Apatit, Zirkon, Magnetit, Rutil und Titanit auf. Geochemische Untersuchungen auf Spurenelemente (Cr, Cs, Ni, Rb, Sr, Zn, Zr) und Seltene Erden Elemente zeigen, daß der überwiegende Teil der untersuchten Elemente im typischen Schwankungsbereich feinkörniger pelagischer Sedimente liegt.

2. Identifikation der Transportwege und Ablagerungsräume von meereistransportierten Sedimenten:

Ein Vergleich der Korngrößenverteilung von Meereissedimenten und Oberflächensedimenten des Meeresbodens entlang eines N-S-Profiles im östlichen Arktischen Ozean zeigt, daß in beiden Sedimentarten der Sandanteil generell eine untergeordnete Rolle spielt. Unterschiede ergeben sich in den relativen Anteilen der Ton- und Siltfraktionen. Während in Meereissedimenten Silt die dominierende Kornklasse darstellt, ist es in den Oberflächensedimenten die Tonfraktion. Ein genereller Trend läßt sich auf einem N-S-Profil bei beiden nicht feststellen.

Im Gegensatz dazu zeigen sich in den Tonmineralverteilungen beider Sedimentarten deutliche Unterschiede. Während die Tonmineralverteilung am Meeresboden recht einheitlich verläuft und durch die Dominanz von Illit und Kaolinit gegenüber Chlorit und Smektit gekennzeichnet ist, finden sich in den Meereissedimenten südlich von ca. 84° N signifikant hohe Smektitanteile. Dagegen ist die Tonmineralverteilung nördlich von ca. 84° N von Illit dominiert. Dieser Wechsel steht offenbar in enger Beziehung mit dem Übergang vom randlichen Eisregime zur Transpolardrift.

Wo die Hauptablagerungsgebiete von Meereissedimenten liegen und welche Faktoren die Sedimentation steuern, bleibt unschlüssig. Klar ist nur, daß eistransportiertes Material in Tiefseesedimenten aus dem zentralen Arktischen Ozean und in der Fram-Straße dominiert.

3. Bilanzierung des Beitrags der Meereissedimente zur Sedimentation in arktischen Meeresgebieten:

Eine Bilanzierung der durch Meereis transportierten Sedimentmenge in den Arktischen Ozean ist aufgrund der hohen Variabilität der beteiligten Prozesse bisher nur schwer durchzuführen. Erste Abschätzungen zeigen jedoch, daß mit dem Eis jährlich mindestens 7 Mill. t Sediment in die Fram-Straße transportiert werden. Damit

könnte ein Großteil der terrigenen Sedimentation in der zentralen Fram-Straße erklärt werden.

4. Bildungsprozesse von schmutzigem Meereis:

Wichtige Ergebnisse konnten auch auf dem Gebiet der Eintragsmechanismen von Sedimenten in das arktische Meereis erzielt werden. So deuten generell feinkörnige Meereissedimente, wie siltige Tone und tonige Silte, auf Eiskristallsuspensions- und Grundeisbildung in den flachen sibirischen Schelfgebieten hin. Von Bedeutung ist, daß diese Eisbildungsprozesse an geringe Wassertiefen, bis max. 50 m, gebunden sind.

5. Herkunftsgebiete von eistransportiertem Material im Arktischen Ozean

Die Zusammensetzung von Meereissedimenten, u.a. Flachwasserdiatomeen, deutet ohne jeden Zweifel auf eine Herkunft von den sibirischen Schelfgebieten hin. Mit Hilfe von Tonmineralkartierungen, wie z.B. Smektit, konnte das Liefergebiet sogar noch weiter bis auf die Laptev- und Kara-See eingegrenzt werden. Gestützt werden diese Ergebnisse durch Eisdriftdaten, die eindeutig zeigen, daß die Transpolardrift hier ihren Ursprung hat.

Ursprünglich könnten die smektitreichen Sedimente aus dem mittelsibirischen Bergland südlich der Taymyr-Halbinsel stammen. Hier erstreckt sich ein Gebiet von hauptsächlich untertriadischen basischen Vulkaniten. Es handelt sich um das kontinentale Flutbasaltgebiet der Sibirischen Plattform mit einer Ausdehnung von >1,5 Mill km². Dieses Vulkanitgebiet ist mit einer Mächtigkeit von 3,5 km das größte weltweit. Als Vorfluter der dieses Gebiet entwässernden zahlreichen Flüsse findet sich im Westen der Jenessei, der in die östliche Kara-See mündet. Im Norden tritt das in die westliche Laptev-See mündende Kheta-Khatanga-Flußsystem als Vorfluter auf. Über diese Flußsysteme werden smektitreiche Sedimente zunächst in die Kara- und Laptev-See transportiert, um dann mit dem Meereis bis in den Arktischen Ozean zu driften.

Insgesamt wird mit der charakteristischen Tonmineralverteilung in Meereissedimenten zum ersten Mal mittels Smektit als Signalträger ein direkter Bezug zu Herkunftsgebieten des Eises und dem Quellengebiet des Smektites hergestellt. Driftzonengrenzen des Meereises können somit auch mineralogisch charakterisiert werden. In den Oberflächensedimenten des östlichen Arktischen Ozeans kommen diese Charakteristika, wegen zahlreicher Einflußfaktoren auf die Sedimentation, nicht zum Ausdruck. Damit ist der direkte Nachweis eines sedimentologischen Signalträgers der Meereisdecke am Meeresboden des Arktischen Ozeans bisher nicht gelungen. Nur in Kombination mit anderen geogenen und anthropogenen Signalträgern wird es möglich werden, Liefer- und

Sedimentationsgebiete klar zu identifizieren. Geochemische Analysen von organischen Verbindungen (z.B. PCBs) und Spurenmetallen waren daher während des letzten Projektabschnittes ein weiterer methodischer Ansatz, um die Herkunftsgebiete von Meereissedimenten noch weiter einzugrenzen und um Signalträger am Meeresboden zu identifizieren.

Insgesamt haben unsere Ergebnisse aus dem zentralen Arktischen Ozean und aus der Fram-Straße gezeigt, daß die eigentlichen Schlüsselgebiete zur Erforschung von Meereissedimenten in den Eisbildungsgebieten, also z.B. in der Laptev-See, liegen. Für den wissenschaftlichen Durchbruch des Vorhabens waren daher Expeditionen in die Laptev-See eine notwendige Voraussetzung.

6. Bedeutung der sibirischen Schelfpolynya für die Bildung und Zusammensetzung von Meereis im Arktischen Ozean

Trotz unserer langjährigen Kooperation mit dem "Arctic and Antarctic Research Institute" in St. Petersburg (AARI) war bei Antragstellung nicht abzusehen, ob eine Expedition in die Laptev-See, d.h. in russische Hoheitsgebiete, jemals möglich sein würde. Erst nach der politischen Öffnung des Ostens ergaben sich für uns mehrere Möglichkeiten, an russischen Expeditionen in die Laptev-See teilzunehmen. So konnte z.B. im Winter in der Laptev-See gezeigt werden, daß der eisbedeckte Schelf von einer mehrere 1000 Kilometer langen und bis zu 15 Kilometer breiten eisfreien Wasserfläche durchzogen wird. Dieser eisfreie Übergang vom Küsteneisgürtel zum Meereis (Polynya) gehört zu den größten "Eisfabriken" im Arktischen Ozean. In der Polynya frieren während der Eisbildung große Mengen von Flachwassersedimenten in das Meereis ein. Das frisch gebildete und mit Sediment beladene Eis treibt dann von hier mit der Transpolardrift über den zentralen Arktischen Ozean bis in die Fram-Straße. Die Eisbildung und der Eintrag von Sedimenten in das arktische Packeis werden in der Laptev-See-Polynya weitgehend durch die Süßwasserzufuhr der großen sibirischen Flußsysteme und durch lokale Wetterbedingungen bestimmt.

Die umfangreichen Ergebnisse dieser Expeditionen (vgl. Erzielte Ergebnisse und Anlagen), auf die an dieser Stelle nicht im einzelnen eingegangen werden kann, waren von großer Bedeutung für das Gelingen des Forschungsvorhabens, da sie völlig neue wissenschaftliche Perspektiven eröffneten. So werden die hier begonnenen Arbeiten im Rahmen des russisch-deutschen interdisziplinären BMBF-Verbundvorhabens "System Laptev-See" weiter fortgesetzt. Hierbei wird erwartet, daß detaillierte Untersuchungen im fast unerforschten Entstehungsgebiet der Transpolardrift bedeutende Hinweise auf zukünftige großräumige Klimaänderungen geben können. Vor allem im Hinblick auf aktuelle Klimarekonstruktionen anhand von grönländischen Eiskernen gewinnt dieses Meeresgebiet sehr große Bedeutung. Diese hochauflösenden Eiskerndaten haben gezeigt, daß unser globales Klima in

der Vergangenheit mehrmals kollabiert ist, d.h. daß sich deutliche Klimaverschlechterungen, wie z.B. die Jüngere Dryas, in weniger als nur zehn Jahren entwickelt haben können. Herkömmliche Klimamodelle, wie die Milankovitch-Theorie, werden jetzt neu überdacht, da sie solche rapiden Klimawechsel bisher nicht berücksichtigt haben. In der Laptev-See könnte sich zeigen, ob schon geringfügige Veränderungen eines regional kleinen Systems globale Klimaauswirkungen haben können.

VORAUSSETZUNGEN UND ABLAUF DES VORHABENS

An der Durchführung des Vorhabens wirkten aus der Grundausrüstung der aufgeführten Institute folgende Kollegen mit:

Prof. Dr. J. Thiede (GEOMAR, Kiel)	Projektleitung
Dr. H. Erlenkeuser (Institut für Kernphysik, CAU-Kiel)	Stratigraphie
Prof. Dr. J. Duinker (Institut für Meereskunde, CAU-Kiel)	Geochemie
Dr. K. Kremling (Institut für Meereskunde, CAU-Kiel)	Geochemie
Dr. D. Schulz-Bull (Institut für Meereskunde, CAU-Kiel)	Geochemie
Dr. F. Kögler (Geologisch-Paläontologisches Institut, CAU-Kiel)	Sedimentphysik
Dr. H. Lange (Geologisch-Paläontologisches Institut, CAU-Kiel)	Tonmineralogie
W. Rehder (Geologisch-Paläontologisches Institut, CAU-Kiel)	Technik
Dr. H. Eicken (AWI-Bremerhaven)	Eisphysik
Dr. G. Kuhn (AWI-Bremerhaven)	Sedimentologie
Dr. A. Prange (Forschungszentrum Geesthacht GmbH)	Geochemie
Dr. A. Eisenhauer (Institut für Umweltphysik, Heidelberg)	Geochemie
Prof. Dr. J.O. Backhaus (Institut für Meereskunde, Hamburg)	Ozeanographie
P. Loewe (BSH, Hamburg)	Modellierung
Dr. E. Kleine (BSH, Hamburg)	Modellierung
Dr. P. Stübing (BSH, Hamburg)	Eisdienst
Dr. S. Priamikov (Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg)	Logistik
Dr. L. Timokhov und die Mitarbeiter der Abt. Ozeanographie (Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg)	Ozeanographie
Dr. V. Smagin und die Mitarbeiter der Abt. Meereschemie (Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg)	Meereschemie
Dr. V. F. Timachev und die Mitarbeiter der Abt. Meteorologie (Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg)	Meteorologie
Dr. E. Reimnitz (US Geological Survey)	Sedimentologie
Prof. Dr. B.I. Sirenko und die Mitarbeiter	Biologie

(Zoologisches Institut, St. Petersburg)

Zur Durchführung des Vorhabens wurde vom Forschungszentrum GEOMAR folgende technische Grundausstattung bereitgestellt:

- Sedimentologielabor
- Atterberglabor
- Lithothek (Archivierung der Proben)
- Reinraum-Laborcontainer für Eiskernuntersuchungen
- Laborräume für das Röntgendiffraktometer
- Arbeitsräume inkl. Innenausstattung, Telefon und Schreibmaterial
- Computer
- Verwaltung
- Technische Zeichnerin

Außerdem gehören die technischen Grundausstattungen der o.g. Partner-institute dazu, die einen wichtigen Beitrag für den Erfolg des Vorhabens geliefert haben. Von besonderer Bedeutung war dabei das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven.

Expeditionen

Eine wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung des Vorhabens waren die in Tabelle 1 und Tabelle 2 aufgeführten Expeditionen, die im Bewilligungszeitraum durchgeführt werden konnten. Hervorzuheben ist dabei, daß - trotz der schwierigen Logistik in dem hocharktischen Arbeitsgebiet - sehr viel mehr Expeditionen durchgeführt werden konnten, als bei der Antragstellung geplant waren. Das umfangreiche Stationsnetz dieser Expeditionen, das alle wichtigen Bereiche im Gebiet der Transpolar drift abdeckt, zeigt Abb. 1.

Die Ergebnisse dieser Expeditionen wurden bereits in Publikationen und in den jeweiligen Fahrtberichten zusammenfassend dargestellt (vgl. Anlage). Aus diesem Grund wird hier auf eine detaillierte Beschreibung der Ergebnisse verzichtet. Aufgeführt wird im folgenden nur der bisher nicht publizierte Bericht der Kotelnyy '91-Expedition.

Die Neusibirischen Inseln: Kinderstube des arktischen Packeises

(Kotelnyy '91: Deutsch-sowjetische Landexpedition in die ostsibirische Arktis)

I. Wollenburg und R. Spielhagen

Zu den 'Klimafaktoren' der Nordhalbkugel gehört als wichtigster Faktor vor allem die arktische Meereisdecke. Die Ausdehnung, Zusammensetzung und Mächtigkeit der Eisdecke, der Anteil von offenem Wasser und die Eisdrift beeinflussen den Gas-

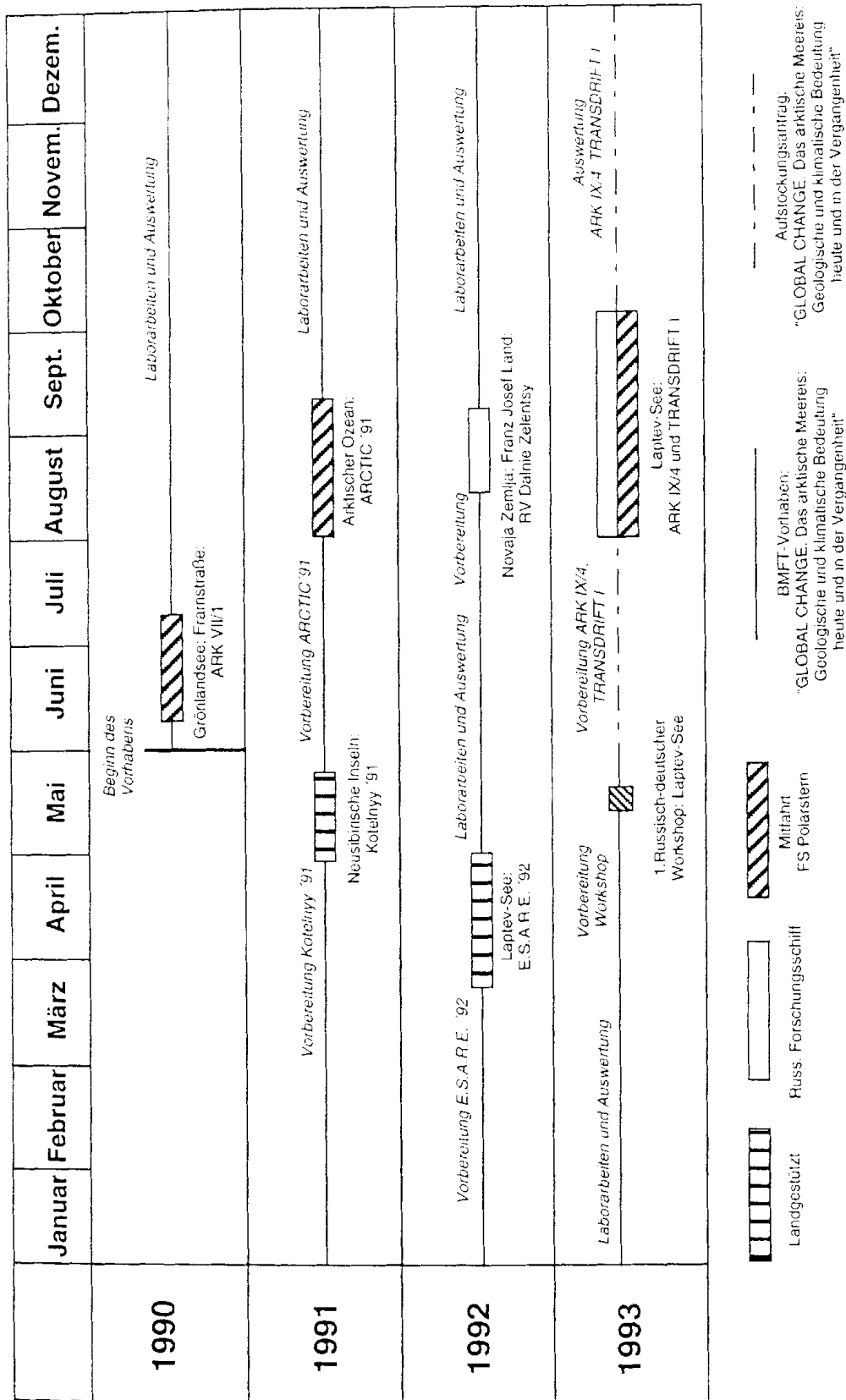
Tab. 1: Expeditionen im Rahmen des Vorhabens (1.6.1990 bis 31.12.1993)

Expedition	Forschungsschiff	Zeitraum	Arbeitsgebiet
ARK VII/1	FS <i>Polarstern</i>	8.6. bis 9.7.1990	Gönland-See, Fram-Straße
Kotelnyy'91	landgestützt	28.4. bis 20.5.1991	Neusibirische Inseln
ESARE	landgestützt	28.3. bis 1.5.1992	Laptev-See
LEG 68	RV <i>Dalnie Zelentsy</i>	15.8. bis 5.9. 1992	Novaja Zemlja und Franz-Josef-Land
ARCTIC '91	FS <i>Polarstern</i>	1.8. bis 10.10.1991	Arktischer Ozean
ARCTIC '93	FS <i>Polarstern</i>	6.8. bis 5.10.1993	Barents-, Kara- und Laptev-See
TRANSDRIFT I	RV <i>Ivan Kireyev</i>	1.8. bis 5.10.1993	Laptev-See

und Wärmeaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre, wirken durch die Albedo auf den Wärmehaushalt und die atmosphärische Zirkulation und beeinflussen die Ökologie der marinen Biota. Die Meereisdecke des Arktischen Ozeans und seiner Randmeere steht in sensibler Wechselwirkung mit dem Wassermassen- und Wärmeaustausch der Ozeane, der wiederum von geologischen, klimatischen und ozeanographischen Vorgängen gesteuert wird. Die Atmosphäre und die ozeanische Zirkulation transportieren Wärme in die Polargebiete, wo dieser Energieüberschuß durch die negative Bilanz der Insolation und Wärmeabstrahlung ausgeglichen wird. Hier setzt die klimatische und ökologische Bedeutung an, die Meereisedimente bei entsprechender flächenmäßiger Verteilung durch Erniedrigung der Albedo und Verringerung der Lichtdurchlässigkeit des Eises spielen können.

Wichtig ist der Sedimenttransport durch das Meereis aber vor allem als Teil der rezenten interglazialen Umwelt des Arktischen Ozeans. Die Erstreckung und die Mächtigkeit polarer Eisdecken sowie das Verhältnis von Meereis zu Eisbergen sind wichtige Faktoren für die Beurteilung des Sedimentationsmilieus und des Klimas in der geologischen Vergangenheit. Die Kombination von Eisbergtransport und seiner Identifikation anhand von grobem terrestrischen Material in Glazialzeiten und Meereis als bedeutender Faktor in Interglazialzeiten könnte ein wichtiges Hilfsmittel der paläo-ozeanographischen und - klimatischen Interpretationen werden. Die Deutung der in den Meeresböden konservierten paläo-ozeanographischen Verhältnisse setzt allerdings ein umfassendes Verständnis der heutigen Prozesse und Mechanismen des Sedimenteintrages, des Sedimenttransportes und der

Tab. 2: Durchgeführtes Arbeitsprogramm im Rahmen des BMFT-Vorhabens "Global Change: Das arktische Meeris....."



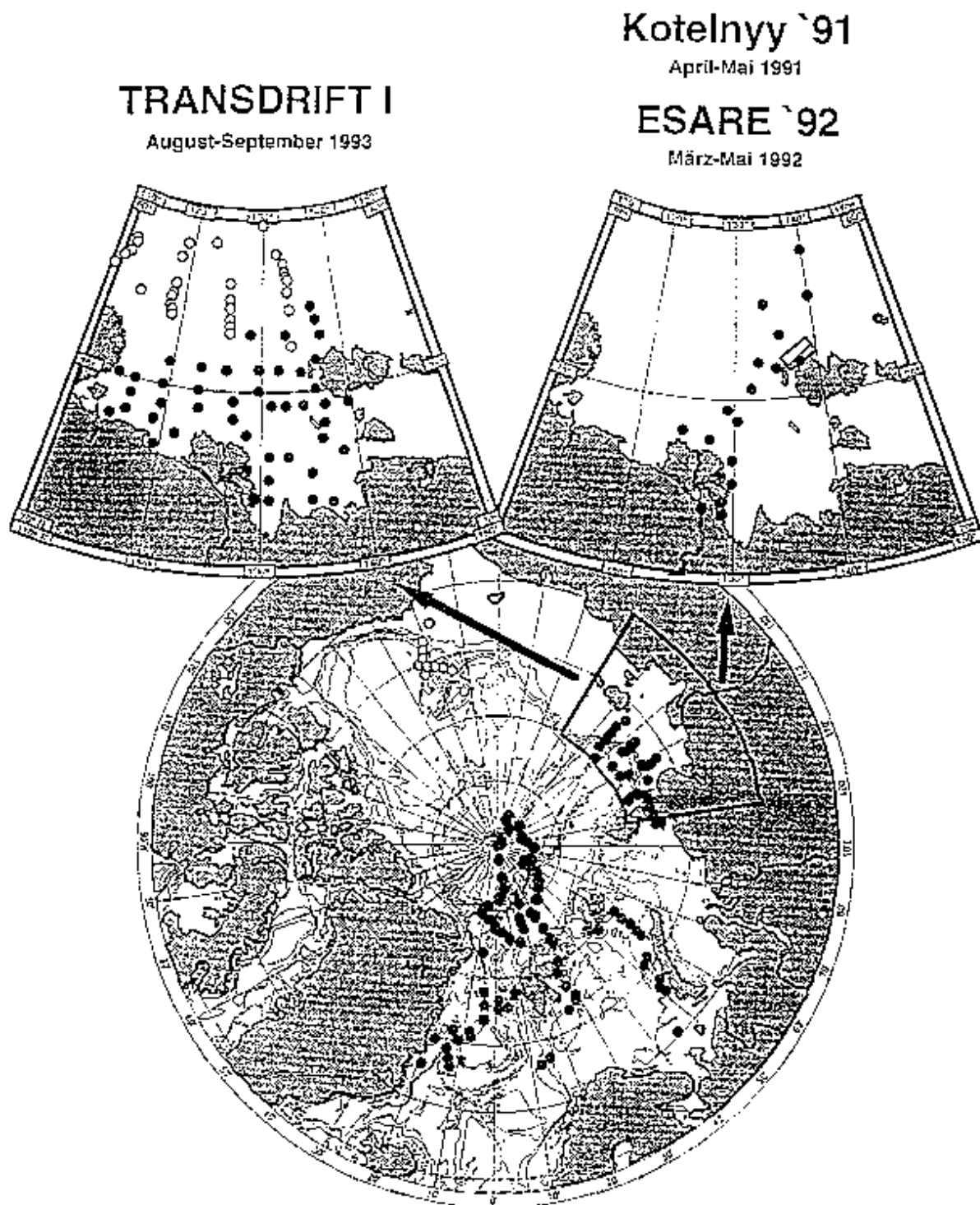


Abb. 1: Eis- und Sedimentkernstationen im Arbeitsgebiet des BMFT-Vorhabens "Global Change: Das arktische Meereis geologische und klimatische Bedeutung heute und in der Vergangenheit". Diese Probenlokationen waren Grundlage für die Meßreihen des Vorhabens.

Ablagerung aus dem Eis voraus. Bislang konnten im Rahmen der POLARSTERN-Expeditionen nur Meereisproben aus der Eurasischen Arktis, der Framstraße und der Grönland-See, d. h. am Ende der Eisdrift, gewonnen werden. Zur Beurteilung möglicher Veränderungen der ursprünglichen Sedimentcharakteristik während der Eisdrift ist es absolut notwendig Proben und Beobachtungen direkt in den Herkunftsgebieten zu sammeln. Dazu war diese Expedition ein erster Schritt.

Sedimente auf dem arktischen Meereis sind bereits in den Schilderungen der frühen Arktisexpeditionen dokumentiert. Beobachtungen von Baumstämmen und anderen Vegetationsresten haben Fridtjof Nansen auf die Idee einer Drift-Expedition von den sibirischen Schelfen über den Nordpol gebracht und zu ersten wissenschaftlich fundierten Beobachtungen über die Materialfracht geführt. Diese Reise- und Expeditionsberichte dokumentieren für einen Zeitraum von über 100 Jahren, daß die Sedimentfracht ein signifikantes Charakteristikum der arktischen Meereisdecke ist und nicht auf Umweltverschmutzung oder jüngsten Klimaveränderungen beruht.

Der Haupteintrag von Sedimenten findet während der Eisbildung auf den Schelfen statt, die ca. 36% der Fläche des Arktischen Ozeans einnehmen. Im einzelnen wird zwischen der Barents-, der Kara- und Laptev-See, der Ostsibirischen See, der Chukchi- und der Beaufortsee und dem kanadischen Archipel unterschieden. Die Dimensionen der arktischen Flachwassergebiete werden bei Betrachtung der Ostsibirischen und der Laptev-See deutlich. Sie bilden zusammen 5% der Fläche aller Schelfgebiete der Erde. Im Frühjahr beginnt die Eisdecke allgemein aufzureißen und aus den Schelfgebieten in die zentrale Arktis zu driften. Die östliche Laptev-See zeigt den stärksten Eisexport aller arktischen Schelfgebiete, gefolgt von der Ostsibirischen See. Damit sind diese beiden Schelfregionen potentielle Hauptliefergebiete für die Meeressedimente in der Transpolardrift und der Framstraße.

Aufgrund von Langzeitaufzeichnungen der Drift von Schiffen, Eisinseln, Bojen und von Satellitenbeobachtungen läßt sich ein östliches und ein westliches Regime der Eisdrift im Arktischen Ozean unterscheiden. Die generelle Drift im westlichen Teil des Arktischen Ozeans (Amerasisches Becken) erfolgt in Übereinstimmung mit der allgemeinen Luftdruckverteilung in einem antizyklonalen Wirbel, dem Beaufort-Wirbel. Die wichtigste Quelle für Meereis im Amerasischen Becken sind die Schelfe der Beaufortsee und der amerikanischen Chukchisee. Das Eurasische Becken, im östlichen Teil des Arktischen Ozeans, wird von der Transpolardrift beherrscht, die das Eis von den sibirischen Quellenregionen (ostsibirische, Laptev- und Kara-See) über den Pol in die Fram-Straße führt. Die durchschnittliche Driftdauer von den sibirischen Schelfen bis zum Austritt in die Fram-Straße beträgt 2-3 Jahre, das Maximum liegt bei ca. 5 Jahren.

Zur Erforschung der Herkunft und der Genese sedimenthaltiger Eisschollen werden multidisziplinäre Untersuchungen durchgeführt. Um die Ergebnisse der biologischen und sedimentologischen Untersuchungen der Meereissedimente interpretieren zu können, muß man die Bildungsprozesse und die damit verbundenen Rahmenbedingungen, die Deformationsprozesse sowie das Alter der Meereisschollen kennen. Dazu dienen eisphysikalische bzw. eiskristallographische Analysen, die an Meereiskernen vorgenommen wurden.

Im Detail sollen alle Prozesse, die den Sedimenteintrag, die Aggregatbildung, die biologischen Produktivität auf, im und unter dem Eis sowie die Sedimentation aus dem Eis steuern bzw. daran beteiligt sind, erforscht werden. Es soll die Sedimentverteilung und Sedimentkonzentration im Meereis erfaßt werden, um die Bedeutung für die Sedimentation in hohen Breiten zu klären. Verschiedene Quellregionen und unterschiedliche Eintragsmechanismen sollen durch detaillierte Analysen der Verteilung, der Konzentration, der Zusammensetzung der Sedimente in ihrer Bedeutung bestimmt werden. Diesem Ziel dienen auch detaillierte sedimentologische und mineralogische Untersuchungen am Sediment in Verbindung mit eisphysikalischen Parametern der untersuchten Eiskerne. Zusätzlich sollen die an der Aggregatbildung und an den unterschiedlichen Mechanismen der Sedimentation aus dem Eis beteiligten Prozesse mit Hilfe von Proben suspendierten Materials in der Wassersäule unter der Packeisdecke, sowie unter Verwendung künstlicher Tracer qualitativ und nach Möglichkeit auch quantitativ bestimmt werden.

Expeditionsverlauf

Die Suche nach jungfräulichem arktischen Meereis und den darin eingeschlossenen Sedimentpartikeln führte uns in der Zeit vom 28.04. bis 20.05.91 auf eine Expedition zu den Neusibirischen Inseln. Diese Inselgruppe im Arktischen Ozean liegt bei ca. 75°N 140°E und damit auf dem gleichen Längengrad wie Japan.

Nach der Anreise mit dem Institutsbus (GEOMAR) über Schweden und Finnland und einer problemlosen Einreise in die UdSSR in Tallinn (Estland) startete die Expedition von dort mit einer zweimotorigen Propellermaschine am 06.05. nach Osten. Weitere Expeditionsteilnehmer waren ein Kollege des 'Institute for Arctic and Antarctic Research' (Leningrad) und zwei Mitarbeiter der 'Tallinn Technical University'. Nach Zwischenstops in Petchora und Khatanga und einer Nettoflugzeit von 14 Stunden (Brutto 37 Stunden inkl. Pausen und Zeitverschiebung, Flugstrecke ca. 5000 km) wurde Chokurdkh an der Indigirka erreicht, wo bereits ein Transporthubschrauber für den Weitertransport auf die 600 km weiter nördlich gelegene Polarstation Kotelnyy auf der gleichnamigen Insel wartete. Die logistische Abwicklung des Transportes (inkl. ca. 1000 kg Gepäck) war auf Hin- und Rückweg problemlos und von sowjetischer Seite exzellent vorbereitet.

Die Polarstation Kotelnyy ist im Winter (und der herrschte dort noch immer!) nur mit Wetter- und Radiotechnikern sowie Versorgungspersonal (insgesamt 16 Personen) besetzt. Die Aufnahme im Lager war überaus herzlich. Die Unterbringung erfolgte in einem der ca. 10 gut geheizten Holzhäuschen. Die Station war eine ideale Basis für die täglichen Arbeiten auf der Küsteneisfelddecke, die am Ufer der Laptev-See direkt anliegt und im Mai noch eine Breite von 5-10 km hatte (Abb. 1). Das im letzten Herbst hier gebildete Eis hatte hier eine Dicke von 1,5-3 m und enthielt in den erbohrten Eiskernen tatsächlich die erwarteten und gesuchten Lagen mit Einschlüssen von feinkörnigem Sediment. Abgesehen von 3 Tagen mit z. T. heftigem Schneesturm herrschten bei strahlendem Sonnenschein und Temperaturen zwischen -5°C und -15°C gute Arbeitsbedingungen. Zweimal bestand die Möglichkeit mit einem Kettenfahrzeug die direkte Umgebung der Polarstation zu verlassen und so das Probenetz zu erweitern. Neben den unterschiedlich starken Konzentrationen in "schmutzigen" Lagen in Eiskernen wurde (wenn auch selten) in zusammengeschobenen Eisschollen Sediment gefunden. An der Eiskante konnten Wasserproben (zur Bestimmung des suspendierten Materials) sowie Sedimentproben vom Meeresboden und, mit einer ausgebrachten Sedimentfalle, auch aus der Wassersäule gewonnen werden. Die Eisproben wurden in der Polarstation aufgetaut und anschließend gefiltert. Die weitere Bearbeitung und Auswertung der Ergebnisse soll dann in Zusammenarbeit mit dem sowjetischen Kollegen in den kommenden Monaten erfolgen.

Die weitgehend problemlose Logistik und Durchführung der Expedition hat gezeigt, daß eine für die Zukunft angestrebte intensive Zusammenarbeit mit Kollegen und Institutionen aus der UdSSR zumindest dann erfolgsversprechend ist, wenn von vornherein auf militärische Sicherheitsinteressen Rücksicht genommen wird. Der kleine Dienstweg über direkte Kontakte mit den sowjetischen Kollegen scheint besonders wichtig, da diese im Umgang mit dem eigenen Bürokratiesystem geübt sind und so manches "Njet" noch in eine Genehmigung umwandeln können. Wir haben jedenfalls viele gute Erfahrungen gemacht und uns über die Freundlichkeit und Hilfsbereitschaft der Menschen in der UdSSR sehr gefreut.

WISSENSCHAFTLICHER STAND BEI PROJEKTBEGINN

Paläo-ozeanographische Ergebnisse, die im Rahmen des BMFT-Vorhabens "Fram-Straße: Hydrobiologische und geowissenschaftliche Schlüsselregion für Nordwesteuropa" erzielt werden konnten, stellten ein außerordentlich wichtiges Grundlagenmaterial für das Vorhaben dar. Diese Untersuchungen haben u.a. gezeigt, daß Meereissedimente von großer Bedeutung für die Ablagerungs- und

Umweltbedingungen in eisbedeckten Gebieten sein können. So konnte nachgewiesen werden, daß die Sedimentationsraten in der Fram-Straße um Größenordnungen höher sind als in dem zentralen Nordpolarmeer. Dies wurde in erster Linie dem Abschmelzen des mit Sedimenten beladenen Meereises in der Fram-Straße zugeschrieben. Es fehlten jedoch weitergehende wissenschaftliche Untersuchungen z.B. über den Einfluß und die Bedeutung des Meereises für die globalen Umweltbedingungen. Weitgehend unbekannt war auch die Geschichte der arktischen Meereisdecke. So war es nicht gelungen, einen signifikanten sedimentären Signalträger zur Identifikation der Meereisbedeckung in den Sedimenten zu finden. Ungeklärt war auch die Frage nach den eigentlichen Herkunftsgebieten des eistransportierten Materials im Bereich der Transpolar drift.

ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN

Die wissenschaftlichen Untersuchungen sind in den vergangenen Jahren in enger Zusammenarbeit mit dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, dem Sonderforschungsbereich 313 der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, dem Institut für Meereskunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, dem Institut für Polarökologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, dem Institut für Reine und Angewandte Kernphysik der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, dem Institut für Meereskunde in Hamburg, der Bundesanstalt für Seeschifffahrt und Hydrographie, dem Forschungszentrum Geesthacht, dem Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen und vor allem mit dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven durchgeführt worden. Letzterem kommt ein besonderes Schwergewicht zu, da nur mit Hilfe der vom Alfred-Wegener-Institut verfügbar gemachten Schiffszeit auf FS POLARSTERN und Laboreinrichtungen diese Untersuchungen durchgeführt werden konnten.

Außerdem bestand eine sehr gute Kooperation mit dem United States Geological Survey in Menlo Park (USA), dem Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg (Rußland), dem Zoologischem Institut, St. Petersburg (Rußland), dem All-Russian Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean, St. Petersburg (Rußland), dem Lena Delta Reservat, Tiksi (Yakutien), dem PP. Shirshov Institute for Oceanology, Moskau (Rußland), dem Naval Research Laboratory, Washington D.C. (USA), dem Lamont-Doherty Earth Observatory, Palisades (USA), dem Institut for Biologi og Geologi, Universitetet i Tromsø (Norwegen), der Tallin Technical University (Estland).

Ein enger wissenschaftlicher Austausch bestand zudem mit den GEOMAR-Kollegen aus dem vom BMFT geförderten Vorhaben "Rapiden Klimawechseln auf der Spur: Paläo-Ozeanographie und Paläoklimatologie der eisbedeckten Arktis während der letzten 400.000 Jahre".

ERZIELTE ERGEBNISSE

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine umfangreiche Beprobung im Bereich der Transpolardrift durchgeführt (Abb. 1). Um das rezente und fossile Abbild von arktischem Meereis in Tiefseesedimenten zu identifizieren, wurden zu allen Meereisproben parallel Meeresbodenoberflächenproben und Sedimentkerne entnommen. An einem Großteil von diesem Probenmaterial wurden detaillierte sedimentologische Analysen durchgeführt. Geochemische Untersuchungen, die im Mittelpunkt des letzten Projektabschnittes standen, wurden bisher fast ausschließlich im Bereich der Laptev-See durchgeführt.

Die wichtigsten Ergebnisse, die im Rahmen des Vorhabens erreicht werden konnten, wurden bereits in einer Vielzahl von Publikationen zusammenfassend dargestellt (Anlage). Auf eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse wird daher im folgenden verzichtet. Aufgeführt werden hier nur Ergebnisse, die bisher nicht oder nur teilweise publiziert wurden. Dazu gehören die erzielten Ergebnisse im Rahmen von drei Dissertationen und zwei Diplomarbeiten, die "sensiblen" Ergebnisse von geochemischen Untersuchungen in der Laptev-See sowie eine erste Auswertung von Ergebnissen der ARCTIC '93 Expedition.

Die rezente lithogene Materialfracht des arktischen Meereises

I. Wollenburg

Ein wichtiger Aspekt für die Erforschung der Sedimentationsprozesse in der Arktis ist die genaue Charakterisierung und Quantifizierung des Sedimenteintrages durch das Meereis. Neben Beobachtungen über die Verbreitung von sedimentbeladenem Eis (schmutziges Eis) innerhalb der Arktis und speziell innerhalb der Eismassen der Transpolardrift, bilden die Identifikation verschiedener Ursprungsgebiete und die Klärung der unterschiedlichen Eintragsmechanismen von lithogenem und biogenem Material in das Eis weitere wichtige Untersuchungsschwerpunkte. Hierfür wurden detaillierte sedimentologische Analysen an Meereissedimenten durchgeführt. Die so gewonnenen Daten lassen Rückschlüsse auf die möglichen Ursprungsgebiete zu und erlauben darüber hinaus eine genauere Bestimmung der Eintragsmechanismen.

Im Rahmen von fünf POLARSTERN-Ausfahrten zwischen 1987 und 1990 wurden systematische Eisbeobachtungen durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß insbesondere die Oberfläche des Meereises der Transpolar drift (nördlich 84° N) über große Gebiete mit Sedimenten bedeckt war. Auf der nördlichsten Position (86° 11 N) während der ARK IV/3-Expedition wurde eine Bedeckung von über 50 % beobachtet. Der Gehalt an Sedimenten und deren Verteilung ist hauptsächlich vom Alter des Eises abhängig. So zeigte die Oberfläche von mehrjährigem Meereis die höchsten Konzentrationen, weil dort durch Abschmelzen des Eises eine Anreicherung und Umverteilung der Sedimente stattfindet, die zur Ausbildung von bis zu 3 cm mächtigen Sedimentlagen auf dem Eis führt. Die Ausgangskonzentration von partikulärem Material im Eis liegt zwischen Minima um 0,001 g/l und Maxima von 2 g/l, wobei Sedimentlagen im Eis oft eine diffuse untere Begrenzung aufweisen. Die durchschnittliche Partikelkonzentration im "sauberen" Eis betrug 1,2 - 1,9 mg/l, wobei der Großteil der Partikel aus biogenem Material bestand.

Die Korngrößenzusammensetzung der Eissedimente zeigt ein generell einheitliches Bild mit Siltanteilen zwischen 50 - 72 Gew. % und einem Tonanteil von 25 - 50 Gew. %. Der Median der Korngrößenverteilung schwankt zwischen 5 - 8 phi. Die Sortierung der Sedimente ist im Durchschnitt mäßig (0,8 bis 1,3), was auf einen relativ einheitlichen Transportmechanismus mit mittlerer Energie deutet. Dies weist die Eissedimente und die Meeresbodensedimente der Ostsibirischen und der Laptev-See als unterschiedliche Probenkollektive mit unterschiedlichen Milieus aus.

Untersuchungen der Gesamtmineralogie der Eissedimente zeigen eine einheitliche Zusammensetzung mit einer Dominanz von Quarz und Feldspat in der Sand- und Siltfraktion. Variationen in der Zusammensetzung der Schwermineralfraktion konnten mit Hilfe der Röntgenbeugung durch den maskierenden Effekt der Feldspäte und des Quarzes nicht identifiziert werden. Innerhalb der Siltfraktion liegt der Schwermineralanteil zwischen 0,47 - 8,38 Gew. %. Der biogene Anteil wird hauptsächlich durch Diatomeen dominiert.

Deutliche regionale Unterschiede zeigte die Tonmineralvergesellschaftung der Meereissedimente. Während Proben der Fram-Straße, der Grönland- und der Barentssee eine relativ einheitliche Zusammensetzung zeigen, wird eine unterschiedliche Zusammensetzung der Meereissedimente im Arktischen Ozean schon durch unterschiedliche Färbungen bemerkbar. Smektitgehalte bis zu 63 Flächenprozent sind charakteristisch für einen "südlichen" Typ im Bereich der östlichen Arktis. Im Gegensatz dazu liegen die durchschnittlichen Smektitgehalte nördlich von 83° 30 N in der östlichen Arktis (Transect während ARK IV/3) nur um 22 Flächenprozent (Fl %). Die Meeresbodensedimente der sibirischen Schelfe zeigen von Westen nach Osten eine ähnliche Zonierung, wie sie in den Eissedimenten auf dem ARK IV/3-Transect in das Eurasische Becken vorgefunden wurde. Die Proben

aus der westlichen Laptev-See zeigen hohe bis sehr hohe Gehalte an Smektit (25 - 49 FI %) die östlich des Lena Deltas stark abnehmen. Hier dominiert Illit (41 - 54 FI %), daneben treten gleich hohe Gehalte von Chlorit und Kaolinit auf (je 12 - 23 FI %). Diese Tonmineralvergesellschaftung ist ebenfalls für die Ostsibirische See und den sibirischen Teil der Chukchisee charakteristisch. Die Grenze zwischen den unterschiedlichen Tonmineralvergesellschaftungen läßt sich gut mit dem Muster der Oberflächenströmung korrelieren.

Die Meereissedimente weisen geringe Karbonatgehalte von durchschnittlich 0,6 Gew. % auf. Maximale Werte liegen bei 5 - 6 Gew. %. Sie konnten meist auf biogenen Detritus, Gehäuse oder Schalen von kalkschaligen Organismen, zurückgeführt werden. Sehr starke Schwankungen zeigt der Gehalt an organischem Kohlenstoff, der zwischen 0,6 und 6,8 Gew. % liegt. Die höchsten Gehalte wurden dabei im Bereich der Transpolardrift erfaßt. Messungen der Spurenelementverteilung konnten an 9 Proben aus der Fram-Straße und Barentssee und 3 Proben aus der Arktis durchgeführt werden. Da keine Standardisierung auf eine Korngrößenklasse vorgenommen wurde und Elemente wie Aluminium oder Eisen, auf die die Gehalte anderer Metalle normiert werden können, nicht erfasst wurden, konnten keine direkten Aussagen über mögliche Liefergebiete getroffen werden. Auffällig sind jedoch hohe Barium-Konzentrationen im Meereis der Eurasischen Arktis. Ebenfalls im Bereich der Eurasischen Arktis wurde der Maximalwert von Arsen (> 60 ppm) gemessen, der deutlich über dem natürlichen Hintergrund von marinen Sedimenten liegt.

Die Dokumentation und eine ausführliche Diskussion der sedimentologischen Daten in Hinblick auf die Liefergebiete und Eintragsmechanismen kann der Veröffentlichung von Wollenburg (1993) entnommen werden.

In der Zusammenschau der verschiedenen Datensätze läßt sich folgendes wissenschaftliche Fazit ziehen :

- Der überwiegende Teil der Meereissedimente wird während der Eisbildung auf den Schelfen in das Eis eingebracht. Den Haupteintragsmechanismus stellt die Bildung von frazil-ice, die zu einer charakteristischen Korngrößenverteilung der Meereissedimente führt. Der äolische Langstreckentransport spielt nur eine sehr untergeordnete Rolle für die Sedimentakkumulation auf dem Meereis.
- Die Konzentrationen und die Verbreitung von Meereissedimenten zeigen, daß der Meereistransport vielleicht die wichtigste Komponente im Partikelfluß innerhalb der Arktis stellt. So werden durch das Eis der Transpolardrift ca. 7 Millionen Tonnen Sediment jährlich in die Fram-Straße transportiert.
- Erstmals konnten unterschiedliche Sedimenttypen bestimmt werden, wobei die westliche Laptev-See aufgrund der Tonmineralogie von den weiter östlich liegenden Schelfgebieten abgegrenzt werden konnte. Der smektitreiche Sedimenttyp der

westlichen Laptev-See kann dabei als Tracer für Sedimente im Meereis dienen. Es konnte ebenfalls ein "Pulsieren" in der Zulieferung von sedimentbeladenem Meereis aus der Laptev-See in den Bereich der Barentssee und der Fram-Straße festgestellt werden.

Über den Fremdstoffeintrag in das arktische Meereis in der Laptev-See

D. Dethleff

Das innere Schelfgebiet der sibirischen Laptev-See ist während der Wintermonate (Oktober bis Mai) von einer geschlossenen Küsten-Festeisdecke bedeckt. Die Festeiskante wird bei ablandigen Winden von einer bis zu 2000 km langen und 30 km breiten Zone offenen Wassers, einem sog. "flaw lead", gegen das Drifteis abgegrenzt. Das Auftreten des "flaw leads" und die Dynamik der angrenzenden Drifteisdecke hängen in wesentlichem Maße von den regionalen und lokalen Windsystemen ab. Zudem wird die divergente Eisdynamik im Ursprungsgebiet der Transpolardrift durch die großskalige und integrale Überlagerung von Windrichtung und ozeanischer Strömung gesteuert.

Unter Anwendung eines eindimensionalen numerischen Modells wurde die Energiebilanz über dem Laptev-See "flaw lead" sowie die daraus resultierende Neueisbildung berechnet. Die Einteilung des "flaw leads" in 14 Sektionen ermöglichte es, die regionale Neueisbildung über offenem Wasser unter Berücksichtigung meteorologischer und ozeanographischer Parameter beispielhaft für den Winter 1991/92 abzuschätzen. Demzufolge erweisen sich westliche, südliche und nordöstliche Sektionen des Laptev-See "flaw leads" als vornehmliche Produktionsgebiete initialen Meereises im Untersuchungsareal. Diese Sektionen sind infolge anhaltend ablandiger Winde z. T. über längere Zeitabschnitte (3-4 Wochen) geöffnet.

Das im Meereis des Untersuchungsgebietes inkorporierte Gesteinsmaterial zeigt signifikante sedimentologische Ähnlichkeiten zu den Schelfboden-Oberflächensedimenten der Laptev-See. Insbesondere die Siltfraktion beider Environments weist hinsichtlich des prozentualen Gehaltes an der Gesamtfraktion, des hohen Quarz-/Feldspatgehaltes, der prozentualen Gewichtung der Subfraktionen sowie bezüglich des Rundungsgrades der klastischen Partikel deutliche Übereinstimmungen auf. Auch die mineralogische Zusammensetzung der Tonfraktion beider Probengruppen zeigt erhebliche Ähnlichkeiten. Abweichende sedimentologische Kenngrößen dokumentieren sich dagegen in den Schneesedimenten und dem suspendierten partikulären Material der Wassersäule.

Insbesondere der äolische Eintrag von Sedimenten in das Meereis der Laptev-See ist als gering einzustufen.

Die vergleichbaren sedimentologischen Signalträger in Schelfboden- und Meereissedimenten der Laptev-See weisen auf konvektive hydrodynamische Prozesse hin, welche das Schelfbodenmaterial resuspendieren, in das obere Stockwerk der Wassersäule transportieren und dort turbulent in das initial gebildete Neueis inkorporieren. Als mögliche Motoren für die Eintragsmechanismen (vornehmlich "suspension freezing" und Filtration partikulären Materials im oberflächennahen Eisbrei) sind Langmuir-Zirkulation, thermohaline Konvektion und Wellenwirkung zu nennen. Übereinstimmende Muster von Polychlorierten Biphenylen (PCB) in Schelfbodenmaterial und Meereissedimenten der Laptev-See bestätigen den Eintrag von Oberflächensedimenten in das lokal gebildete Eis unter Mitwirkung von hydrodynamischen Mechanismen.

Auf der Basis der in einzelnen "flaw lead"-Sektionen im Winter 1991/92 produzierten Eismassen und den in diesem Eis inkorporierten Sedimentmengen wurde der Materialexport aus der Laptev-See über den zentralen arktischen Ozean in die Ablationsgebiete der Fram-Straße abgeschätzt. Demnach können bis zu 10 Mio. t Sediment das Untersuchungsgebiet allein mit dem im "flaw lead" jährlich initial gebildeten Meereis verlassen. Nach seiner Freisetzung im Europäischen Nordmeer kann das Material ca. 28 % der jährlichen Tiefsee-Sediment-Akkumulationsrate dieser Region decken. Weitere 11 Mio. t Sediment werden während des Winters in die Festeisdecke der Laptev-See inkorporiert und nach deren schmelzbedingter Freisetzung dem sedimentologischen Zyklus des Untersuchungsgebietes wieder zugeführt.

Mit Hilfe des Smektits als tonmineralogischem Signalträger in den Meereissedimenten kann die Untergliederung der Transpolardrift in einen sibirischen und einen polaren Zweig bestätigt werden. Smektitreiche Sedimente im sibirischen Teil der Transpolardrift entstammen demzufolge der Laptev-See und der östlichen Karasee. Die smektitarmen Meereissedimente des polaren Drifteiszweiges haben ihren Ursprung vermutlich in den weiter östlich gelegenen Schelfgebieten der sibirischen Arktis.

Meereistransportiertes lithogenes Feinmaterial in spätquartären Sedimenten des zentralen östlichen Arktischen Ozeans

T. Letzig

Untersuchungen an arktischen Meereissedimenten von einem N/S -Transekt im zentralen östlichen Arktischen Ozean wurden Korngrößenanalytisch und tonmineralogisch untersucht. Diese Korngrößenanalysen erlauben eine Klassifizierung von Sedimenten in "tonige Silte" und beweisen, daß vornehmlich feinkörnige Sedimente in das Meereis eingelagert werden. Die Feinfraktionen machen den Hauptanteil fast aller untersuchten Sedimente aus, während die Sand-/Kiesfraktion nur untergeordnet auftritt. Daraus ist generell zu schließen, daß der Meereistransport einen größeren Einfluß auf das Sedimentationsgeschehen im östlichen zentralen Arktischen Ozean hat als der Eisbergtransport.

Im Vergleich zeigen die Veränderlichkeiten der Tonmineralvergesellschaftungen arktischer Meereissedimente im N/S-Schnitt durch den zentralen östlichen arktischen Ozean von 1987 und 1991 mit einer Zunahme des Smektit in Südrichtung einen ähnlichen Trend. Bei einem direkten Korngrößenvergleich von Meereissedimenten dieser beiden Jahre konnte eine weitgehende Übereinstimmung festgestellt werden; d.h., die typischen offenbar immer wieder auftretenden Korngrößenverteilungen können zur Definition bestimmter Meereissedimenttypen herangezogen werden. Dabei zeigt sich jedoch, daß gleichartige Korngrößenanalysen (übereinstimmende Methodik) durchgeführt werden müssen. Dies bedeutet, daß ein beträchtlicher Anteil des Meereises wahrscheinlich in sibirischen Meeresregionen mit smektitangereicherten Schelfsedimenten gebildet wird. Potentielle heutige Liefergebiete können die Laptev-See oder die östliche Karasee sein.

Diese einfache Unterteilung ermöglicht schon eine fazielle Einstufung des rezenten Meereistyps. Dabei lassen die sedimentären Charakteristika der Meereissedimente (Korngrößen und Tonmineralogie) zum einen Rückschlüsse auf die vorherrschenden Eintragsmechanismen feiner Sedimentpartikel in das Meereis während der Eisbildungsphase zu und zum anderen unterstreichen sie einmal mehr, daß die breiten sibirischen Schelfe und ihr Hinterland als primäre Liefer- bzw. Herkunftsgebiete angesehen werden müssen. Diese spezifischen Sedimenteintragsmechanismen von feinkörnigem Sediment in das Meereis ("anchor-ice"-, "frazil-ice"-Bildungen) sorgen für typische Korngrößenverteilungen in den Meereissedimenten und sind auf flache Schelfgebiete beschränkt.

Neben den Meereissedimenten wurden zudem rezente und spätquartäre arktische Tiefseesedimente verschiedener sedimentologischer Provinzen im zentralen östlichen Arktischen Ozean und der Fram-Straße auf ein "Meereissignal" hin überprüft. Dazu wurden Korngrößenanalysen und Tonmineralvergesellschaftungen von

Meereissedimenten mit rezenten Meeresbodenoberflächensedimenten vergleichbarer geographischer Breite ausgewertet. Eine N-S-Zunahme des Smektit ist bei den Oberflächensedimenten im Gegensatz zu den Meereissedimenten vergleichbarer geographischer Breite nicht festzustellen. Dies unterstreicht, daß andere Mechanismen wie beispielsweise Bodenströmungen das "Meereissignal" überprägen oder sogar auslöschen. Während im Bereich des Barentsschelfrandes und des Nansen-Beckens solche strömungsbedingten Umlagerungsprozesse wahrscheinlich sind, zeigen die Oberflächensedimente des Gakkel-Rückens eine Beeinflussung durch Meereissedimentation. Dies wird durch tonmineralogische Ergebnisse und statistische Korngrößenparameter (Sortierungsgrade) in der Siltfraktion belegt. Es zeigt sich, daß die Korngrößenverteilungen innerhalb der Siltfraktion relevante Veränderlichkeiten hinsichtlich ihrer statistischen Korngrößenparameter aufweisen: auf dem Gakkel-Rücken werden die geringsten Sortierungsgrade erreicht und im Nansen-Becken die höchsten. Dabei stehen hohe Sortierungsgrade in der Siltfraktion für einen geringen Strömungseinfluß und konservieren den sedimentären Eintrag durch das Meereis.

Sedimentäre Hinweise auf Meereissedimentation gibt es auch in spätquartären arktischen Tiefseesedimenten aus dem Gebiet des Gakkel-Rückens und der Fram-Straße. Am deutlichsten ist der Einfluß der Meereissedimentation in den Sedimentkernen während der vergangenen ca. 15 ka über den letzten glazial-interglazialen Wechsel dokumentiert. In den Sedimenten des Gakkel-Rückens zeigen relativ hohe Siltgehalte mit ansteigenden geringen Sortierungsgraden einen möglichen Sedimenteintrag aus dem Meereis. In der relativ kleinräumigen Fram-Straße mit ihren komplizierteren Zirkulationsmustern ist der Trend von Sortierungswerten gegenläufig, was mit erhöhtem Strömungseinfluß erklärt werden kann. Die Tonmineralzusammensetzung in den spätquartären Tiefseesedimenten des Gakkel-Rückens und der westlichen Fram-Straße zeigen hohe Illitgehalte, niedrige Smektit- und Chloritgehalte und leicht erhöhte Kaolinitgehalte, sicherlich gesteuert durch die Tonmineralzusammensetzungen des Meereises aus der Eisdrift. Höhere Kaolinitgehalte in Tiefseesedimenten vergleichbaren Alters aus weiter östlich gelegenden Gebieten könnten eine südliche Materialanlieferung aus dem europäischen Nordmeer bedeuten.

Berechnungen von Akkumulationsraten für den Silt und den Smektit lassen einen verstärkten Anstieg für den Zeitraum der Deglaziation erkennen. Dies könnte mit einem einsetzenden Meeresspiegelanstieg in Verbindung gebracht werden, der schließlich zu einer Überflutung von smektitangereicherten sibirischen Schelfsedimente führte. Die einsetzenden Sedimenteintragsmechanismen bewirkten dann eine Anreicherung von Smektit im Meereis. Durch die Eisdrift konnte das

smektitreiche Meereissediment zum Gakkel-Rücken gelangen und sich dort verstärkt akkumulieren.

Sonographische und sedimentologische Untersuchungen in der Laptev-See, sibirische Arktis

F. Lindemann

Im Sommer 1993 führte die Schiffsexpedition TRANSDRIFT I mit dem russischen Forschungsschiff FS "Ivan Kireyev" in die Laptev-See (sibirische Arktis), um u.a. die Sedimentationsgebiete der Flußfrachten zu lokalisieren und Erkenntnisse über die Wechselbeziehung zwischen Eis und Meeresboden in dieser flachen Schelfregion zu erhalten.

Zur Charakterisierung der rezenten siliziklastischen Oberflächensedimente der Laptev-See und Kartierung der Sedimentationsgebiete der eingetragenen Flußfrachten wurden detaillierte granulometrische Untersuchungen an 48 Oberflächenproben durchgeführt. Gleichzeitig wurden Seitensichtsonar-Profile untersucht, um Erkenntnisse über Driftmuster und Verteilungen des mit dem Meeresboden in Kontakt stehenden Eises zu erlangen.

Die Verteilungsmuster der Sedimente zeigen, daß die westliche Laptev-See von reliktschen Deltasanden dominiert wird und daß die Sedimentationsräume der Flußfrachten sich auf wahrscheinlich im Pleistozän angelegte Rinnen beschränken. In der östlichen Laptev-See hingegen sind besonders in den südöstlichen Bereichen Silte und Tone in den Oberflächensedimenten dominant. Diese Tone und Silte zeichnen die rezenten Akkumulationsgebiete der Flußfrachten von Lena und Yana in der östlichen Laptev-See nach.

Eine Depression in der Korngrößenverteilung einiger Schelfproben innerhalb der Siltfraction um 6 Phi, in einem ca. 1 Phigrad umfassenden Intervall, könnte als ein erster Hinweis auf Eisbildungsprozesse in bestimmten Regionen der Laptev-See gewertet werden.

Die Auswertung von 'Ice Gouges' in Seitensichtsonar-Daten ergab, daß die mit dem Meeresboden in Kontakt stehenden Eismassen in der Laptev-See keine vorherrschende Driftrichtung zeigen. Jedoch konnte in weiten Teilen der Laptev-See 'Ice Gouging' als ein durch 'Resuspension' und 'Bulldozing' die Sedimentzusammensetzung beeinflussender Faktor nachgewiesen werden.

Echographiekartierung und physikalische Eigenschaften der oberflächennahen Sedimente in der Laptev-See

A. Benthien

Die Laptev-See, eines der drei sibirischen Schelfmeere in der Arktis, war das Ziel der Expedition TRANSDRIFT I im Sommer 1993. Bei dieser Expedition wurden an 47 Stationen Sedimentkerne entnommen (Kastengreifer, Kastenlot). Außerdem wurde während der gesamten Fahrt ein Sedimentecholot (30/210 kHz) betrieben, um ein kontinuierliches Profilnetz zu erhalten.

Drei Echotypen konnten bestimmt werden, die in Abhängigkeit von der Sedimentzusammensetzung eine unterschiedliche Eindringung der Schallwellen zeigen. Die Kartierung der Echotypen belegt eine deutliche Ost-West-Gliederung der Laptev-See. Im Westteil sowie auf den flachen Bänken und in küstennahen Bereichen kennzeichnet eine geringe bis mittlere Eindringung sandig-siltige Ablagerungen. Der Ostteil dagegen ist charakterisiert durch eine hohe Eindringung, bedingt durch überwiegend siltig-tonige Sedimente.

Mit der Auswertung der Echographiedaten konnte festgestellt werden, daß auf dem Meeresboden der Laptev-See sehr viele Eisfurchen vorkommen. Am häufigsten sind sie in Wassertiefen zwischen 18 und 38 m registriert worden. Ein Großteil der Furchen wird vermutlich durch auf Grund laufende Eismassen im Frühsommer nach dem Aufbrechen des Eises gebildet.

Die Bestimmung der physikalischen Eigenschaften der oberflächennahen Sedimente in der Laptev-See hat gezeigt, daß generell hohe Porositäten (60 bis 70 %) und niedrige Scherfestigkeiten (4 bis 8 kPa) auftreten. Die Porositäten korrelieren im allgemeinen gut mit den Korngrößen der Oberflächensedimente. Lokale Veränderungen der physikalischen Eigenschaften, bedingt durch eine stärkere Verfestigung des Sediments werden durch die Wechselbeziehungen zwischen Eis und Meeresboden erklärt.

Bei einem Vergleich der regionalen Verteilung von Echotypen mit den Porositätswerten läßt sich feststellen, daß mit der Zunahme der Porosität die Eindringung der Schallwellen in das Sediment höher wird.

Polychlorierte Biphenyle (PCB) im arktischen Regime der Laptev-See

D. Dethleff, D.E. Schulz-Bull und G. Petrick

Aufgrund ihrer biochemischen Persistenz und der damit verbundenen langen Verweildauer im natürlichen Stoffkreislauf zählt die große Gruppe der chlorierten Kohlenwasserstoffe (CKW) heute zu den bedeutendsten Umweltbelastungen.

Infolge ihres relativ gut datierbaren Auftretens zu Beginn dieses Jahrhunderts gelten derartige Verbindungen als unverwechselbare Signalträger bei der Erforschung rezenter lokaler und regionaler naturräumlicher Zusammenhänge sowie für die Klärung globaler Zirkulationsprozesse in Atmosphäre und Ozean.

Herkunft, Transportwege und Vorkommen von PCB

Die Stoffgruppe der PCB nimmt in der Reihe der organo-chlorinen Verbindungen eine gesonderte Stellung ein, da diese Substanzen aufgrund der immer sensibler gewordenen analytischen Methoden in den letzten Jahren als ubiquitäre Schadstoffe weltweit nachgewiesen werden konnten (z. B. Achman et al. 1993, Duinker et al. 1982, Schulz et al. 1988). Die nach steigendem Chlorierungsgrad geordneten Biphenylmoleküle wurden bzw. werden kommerziell seit den 20er Jahren dieses Jahrhunderts in der chemischen Industrie produziert. Theoretisch ist das Vorkommen von 209 verschieden hoch chlorierten Biphenylen möglich. Der Verwendungsbereich der physiko-chemisch sehr stabilen Polychlorierten Biphenyle erstreckt sich u. a. über den Einsatz als Kühlmittel in Transformatoren und als Hydraulikflüssigkeit bis hin zur Beimengung in Kunststoffen, Farben und Tinten etc. (Hutzinger 1974, Rantanen et al. 1987). Internationalen Schätzungen zufolge werden für die westlichen Industrienationen Gesamt-Produktionsmengen von ca. 1.054.800-1.200.000 t PCB bis zum Herstellungsverbot Ende 1980 zugrundegelegt. Davon gelangten im Zuge deren technischer Nutzung etwa 370.000-400.000 t (ca. 33%) in die Umwelt und zirkulieren zum großen Teil noch heute global in den Weltmeeren (Rantanen et al. 1987, Tanabe und Tatsukawa 1986, Twitchell 1991). Daten über die Herstellung oder das Freiwerden von Chlorierten Biphenylen (CB) in den östlichen Industrienationen liegen nicht vor.

Der vornehmliche Eintrag von PCB in die Umwelt und insbesondere in das marine Milieu erfolgt über direkte Einleitung industrieller Abwässer, durch atmosphärischen Niederschlag und durch den Zustrom belasteter Flußwässer. PCB und andere lipophile organische Spurenstoffe liegen im aquatischen Milieu in gelöster Form oder sorbiert an partikulärem Material ("suspended particulate matter", SPM) in der Wassersäule vor. Die partikuläre Fracht ist maßgeblich am Transport, der Verteilung, der Sedimentation und der Resuspension anthropo-organo-chemischer Verbindungen in ästuarinen und marinen Geosystemen beteiligt (z. B. Duinker 1980, Duinker & Boon 1986). Der Gehalt an organischem Kohlenstoff im Feststoff (SPM, Sediment) ist von großer Wichtigkeit für die Konzentration der PCB in diesen Kompartimenten. Das Konzentrationsverhältnis anthropo-organo-chemischer Verbindungen zwischen partikulärer und gelöster Phase hängt eng mit dem Gehalt des SPM im Wasser zusammen (Duinker 1986). In Meerwasser mit SPM-Gehalten <1 mg liegen Chlorbiphenyle größtenteils in gelöster Form vor. Die gelösten

Konzentrationen betragen in den Weltmeeren einer Studie der Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC 1984) zufolge deutlich unter 1 ng/l. Jedoch stellen die Weltozeane nach Ansicht verschiedener Autoren (z. B. Tanabe & Tatsukawa 1986) die bedeutendsten Senken und die größten Reservoirs an Chlorbiphenylen dar.

Jensen (1966) gelang erstmals der Nachweis von PCB in der Umwelt. Die Analyse der sehr komplexen CKW-Gemische ist in jüngerer Zeit insbesondere hinsichtlich der gaschromatographischen Methoden (Duinker et al. 1988), der Probenaufbereitung (Petrick et al. 1988) sowie der Probennahmesysteme (Schulz 1990) wesentlich verbessert worden. In küstennahen Meeresregionen konnten die Einträge von hauptsächlich partikulär gebundenen PCB aus Flüssen durch die Analyse der Zusammensetzung komplexer Gemische (Musteranalyse) und deren Konzentrationsverteilung identifiziert werden (Schulz-Bull et al. 1991). Aufgrund ihrer großen Variabilität in den physikalisch-chemischen Eigenschaften (z. B. Dampfdruck, Sorptionsverhalten und Löslichkeit) können aus spezifischen chemischen Mustern wichtige wissenschaftliche Informationen bezüglich der Quellen, der Transportwege und des Verbleibs von PCB gewonnen werden (Brownawell & Farrington 1986, Duinker & Bouchertall 1989). Damit kommt diesen anthropo-organo-chemischen Verbindungen eine entscheidende Rolle als "Signalträger" für das Erkennen natürlicher Prozesse und Zusammenhänge insbesondere in marinen Geosystemen zu.

Polychlorierte Biphenyle in der Arktis

Über das Vorkommen und die Verteilung von PCB und anderen anthropo-organo-chemischen Verbindungen in verschiedenen Regionen des Arktischen Ozeans ist bisher nur wenig bekannt (z. B. Hargrave et al. 1989, Hinckley & Bidleman 1991, Muir et al. 1992, Paasivirta et al. 1985, Patton et al. 1991, Pecher 1992, Welch et al. 1991). Besonders die zentrale und östliche Arktis weist bezüglich der Bestimmung von Qualitäten, Quantitäten und Verteilungsmustern dieser Substanzen in Luft, Schnee, Meereis, Meereissedimenten, Ozeanwasser sowie Flach- und Tiefseesedimenten gravierende Informationslücken auf. Allgemein wird der atmosphärische und fluviatile Eintrag von anthropogenen Schadstoffen in die Arktis als sehr beträchtlich angesehen (z. B. Barrie et al. 1992, Oehme and Ottar 1984). Der Eintrag über die Atmosphäre steht in engem Zusammenhang mit dem winterlichen Phänomen des "Arctic Haze" (arktischer Dunst) (American Chemical Society 1983, Pacyna and Shaw 1990). Patton et al. (1991) geben beispielsweise PCB-Konzentrationen in der Luft von 22-105 pg/m³ für die Station Alert im Norden von Ellesmere Island (Kanadische Arktis) an. Hinckley et al. (1991) berechneten, daß die Aufnahme von organo-chemischen Substanzen durch das diesbezüglich

untersättigte ozeanische Oberflächenwasser der Bering- und Chukchi-See aus der Luft einen bedeutenden Einfluß auf die gelösten Schadstoffkonzentration in diesen Meeresregionen hat. Barrie et al. (1992) sehen die schnelle Schneeschmelze und eine spärliche Vegetationsdecke im arktischen und subarktischen Hinterland als Hauptgründe für den Eintrag von PCB und anderen organochlorinen Verbindungen mit dem Zustrom von Flußwasser in den nordpolaren Ozean. Über die Gehalte an organochlorinen Spurenstoffen in den sibirischen Flußsystemen liegt keine Referenzliteratur vor.

Melnikov & Vlasov (1990) konnten in der bis vor wenigen Jahren für derartige Untersuchungen westlichen Wissenschaftlern nicht zugänglichen Laptev-See keine (z.B. PCB) bzw. nicht signifikant erhöhten organo-chemische Verschmutzungen feststellen (Abb. 2). Die Autoren sahen in den hohen Konzentrationen weiterer Analysen das Ergebnis eigener Kontaminationen infolge unausgereifter Probenahme- und Analysemethoden (freundl. mündl. Mitt. S. Vlasov, Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Rußland, April 1992). Gaul (eingereicht) stellte hohe Konzentrationen (15.5-20.3 ng/l) von PCB 138 in Eiskernen der östlichen Arktis (nördlich Spitzbergen) fest. Die an gleicher Position genommenen Wasserproben wiesen dagegen PCB-Gehalte von unter 0.5 ng/l auf. Vermutlich werden die an Feststoffen sorbierten anthropo-organischen Spurenstoffe auf ihrem Weg durch die Wassersäule wieder in die gelöste Form überführt (Schulz 1990). Dies hätte einen bedeutenden Einfluß auf die Freisetzung dieser Substanzen aus den beim Abschmelzen des Meereises in der Fram-Straße in die Wassersäule eingebrachten Sedimenten.

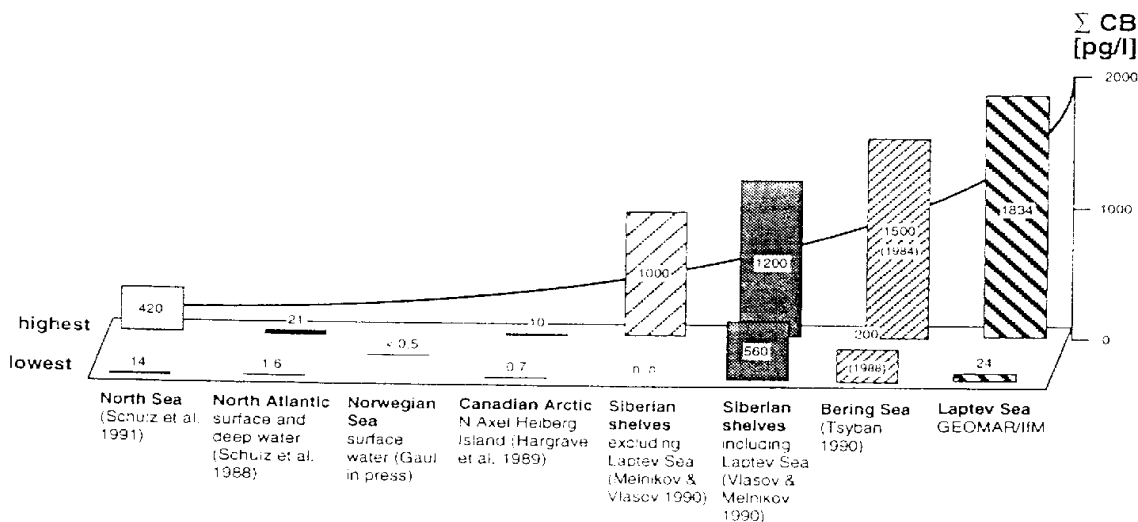


Abb. 2: Konzentrationen polychlorierter Biphenyle in den Wasserkörpern nordatlantischer, subarktischer und zentralarktischer Meeresgebiete.

Ziele der Arbeiten

Ziel der Arbeiten war es, mit Hilfe der Analyse von Mustern unterschiedlicher organo-chloriner Verbindungen einen verbesserten Einblick in die rezente Eisbildung sowie in die Inkorporation von Sedimenten in das Meereis der sibirischen Schelfe zu erlangen. Zudem soll der transpolare Flux von Meereissedimenten qualitativ und quantitativ über die Nutzung von organo-chemischen Spurenstoffen als Signalträger besser erfaßt werden.

Modifizierte Probennahme unter arktischen Bedingungen

Die Probennahme wurde in enger Kooperation mit dem Institut für Meereskunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) durchgeführt. Das Probenmaterial wurde von Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Prof. Duinker am IfM Kiel analysiert. Im Rahmen der ESARE-Expedition (April 1992) gelang es erstmals, eine verlässliche Beprobung verschiedener Kompartimente aus dem winterlichen Szenario eines sibirischen Schelfmeeres zum Zwecke der Analyse anthropo-organo-chemischer Substanzen durchzuführen. Für die Entnahme von Wasserproben wurde ein für niedrige Umgebungstemperaturen (<-30°C) konzipiertes, thermisch isoliertes Pumpengehäuse eingesetzt (Abb. 3). Das Gefrieren des beprobten Meerwassers wurde durch eine interne Wärmeversorgung verhindert. Die Wasserproben wurden filtriert und zur Anreicherung organischer Spurenstoffe über mit XAD-2-Adsorberharz gefüllte Glassäulen geleitet. Weiterhin wurden Meereiskerne und Meereissedimente entnommen sowie Schelfboden-Ablagerungen beprobt. Entnahme sowie Aufarbeitung und Messung des Probenmaterials gehen aus dem Fließdiagramm der Abbildung 4 hervor.

Folgendes Probenmaterial wurde für eine erste Bestandsaufnahme des winterlichen Szenarios der Laptev-See analysiert:

- a) 5 Wasserproben filtriert und über XAD-2 gepumpt
- b) 5 Filtrationsrückstände
- c) 5 Oberflächen-Sedimente vom Schelfboden
- d) 2 Eissediment-Proben
- e) 4 Eiskerne (im Vergleich zu den Wasserproben)

PCB-Gehalte verschiedener Kompartimente der Laptev-See

Die PCB-Gesamtgehalte (S_n Chlorierte Biphenyle, CB) verschiedener Kompartimente des Untersuchungsgebietes zeigt Abbildung 5. Dargestellt sind im folgenden die Resultate organo-chemischer Analysen, welche im Anschluß an die Expeditionen ESARE (Winter 1992) und TRANSDRIFT I (Sommer 1993) durchgeführt wurden.

Gelöste Phase

ESARE Expedition: In allen Meerwasserproben, mit Ausnahme von Station 4,

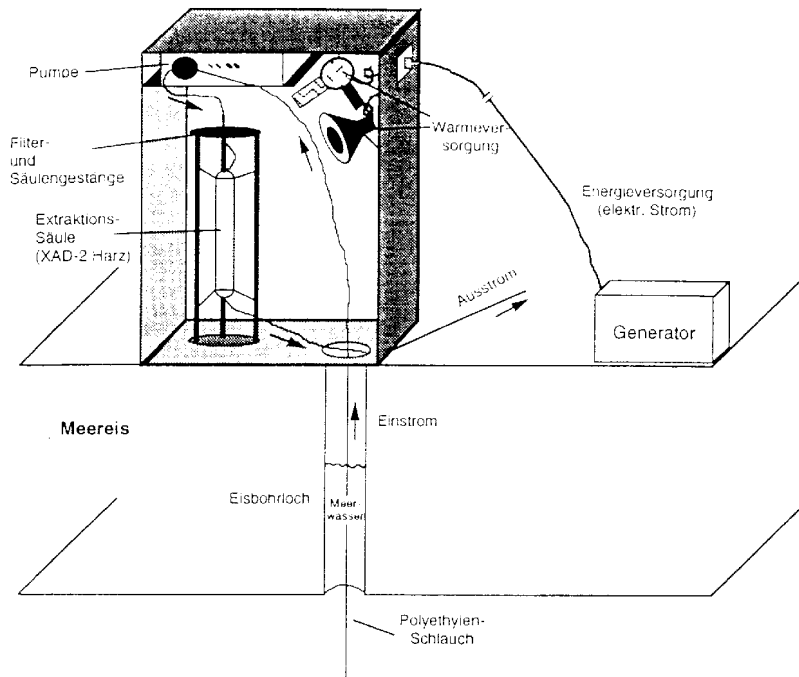


Abb. 3: Entnahme von Oberflächen-Wasserproben im Untersuchungsgebiet.

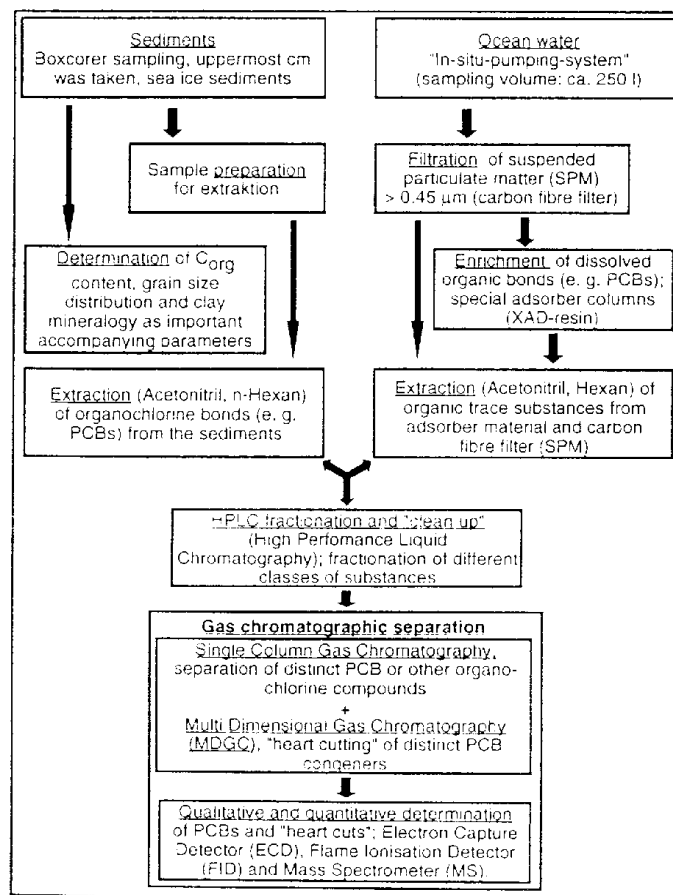


Abb. 4: Probennahme, Aufarbeitung und meßtechnische Untersuchung des Probenmaterials nach GEOMAR und IfM-Standardverfahren.

wurde die CB-Analyse durch extrem hohe Gehalte von nicht identifizierten aromatischen Substanzen mit Konzentrationen bis ca. 500 ng/l gestört. Die CB-Fractionen der 1. HPLC mußten erneut über einen 2. Lauf "gereinigt" werden. Jedoch waren selbst nach dieser zweiten Reinigung noch Störpeaks bei Station 14 und 17 detektierbar. Auffällig ist die Abwesenheit der polycyclischen Aromaten in allen Fraktionen. Selbst die Kohlenwasserstoff-Fractionen enthalten nur n-Alkane im 1-2 ng /l Bereich.

Die PCB-Konzentrationen im Meerwasser liegen zwischen <50 pg/l und 2700 pg/l, wobei die niedrigsten Gehalte an der nördlichsten Station gemessen wurden (Abb. 5). Entgegen den aus bisherigen Forschungsarbeiten abgeleiteten Erwartungen zeigte sich jedoch kein Konzentrationsgefälle hinsichtlich der CB vom küstennahen Regime zu den salzreicheren Wassermassen der zentralen und nördlichen Laptev-See. Vielmehr konnte ein Konzentrationsmaximum von bis zu 2700 pg/l im östlichen Zentralbereich des Schelfmeeres nachgewiesen werden (Abb. 5). Die gelösten PCB-Gehalte im Mündungsbereich der Lena liegen mit ca. 400-600 pg/l somit um Faktor 5-6 unter denen der Stationen 10 und 14.

Neben den deutlichen regionalen Unterschieden in den Konzentrationen besitzen die CB-Muster der gelösten Phase zudem signifikante Eigenschaften ("Fingerabdruck"). Die Meßergebnisse der Station 3 im östlichen Prodelta-Bereich der Lena weisen große Ähnlichkeiten zum kommerziell produzierten Arochlor 1016 PCB-Gemisch auf (Abb. 6). Diese niedrig chlorierten CB konnte bislang weltweit in küstennahen Schelfgebieten nicht in derart hohen Konzentrationen detektiert werden. Die Meßergebnisse der Stationen 10 und 14 zeigen Ähnlichkeiten zur Zusammensetzung des westlichen Industrieproduktes Arochlor 1254 bzw. zum russischen CB-Gemisch Sovol.

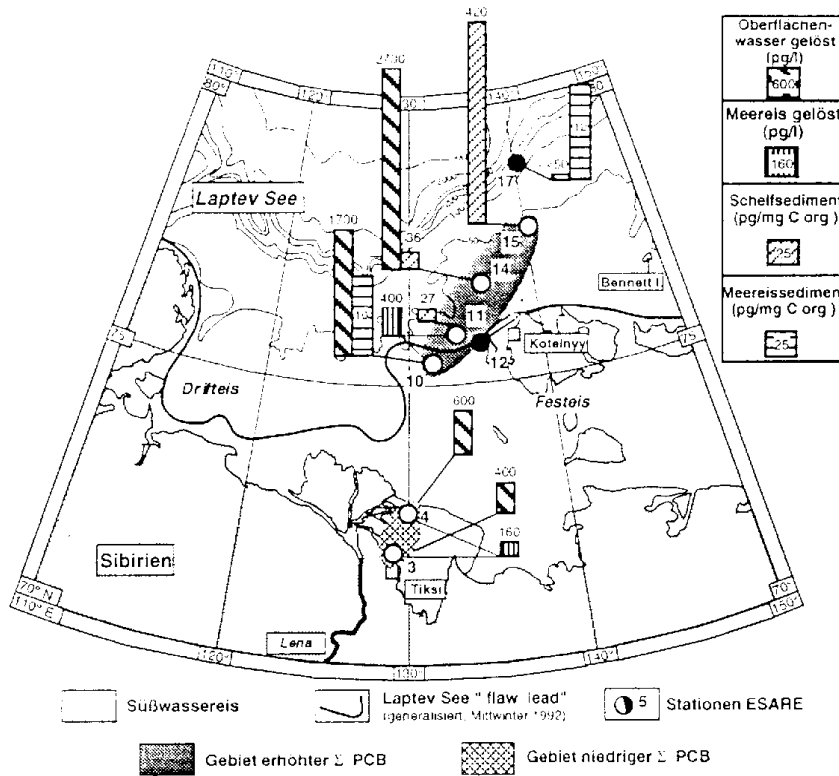
TRANSDRIFT I-Expedition: Die während des Sommers 1993 (September) in ca. 10 m Wassertiefe gemessenen PCB-Gehalte der Laptev-See liegen zwischen 5 und 2250 pg/l (Abb. 5). Auffallend niedrige Konzentrationen zeigten sich an den Stationen Z5, Z4 und 60 im erweiterten Mündungsbereich der Flüsse Yana, Lena und Khathanga. Demgegenüber zeigten sich deutlich erhöhte CB-Gehalte im zentralen Teil der Laptev-See.

Filtrationsrückstand des Oberflächenwassers

ESARE-Expedition: Den Filtrationsrückständen der Stationen 3 und 4 entströmt im aufgetauten Zustand ein unangenehm saurer, muffiger und lösungsmittelartiger Geruch. Alle Proben enthalten als Hauptanteil einen nicht auflösbaren "Berg" unbekannter, ECD-aktiver Substanzen mit Konzentrationen bis ca. 10 ng/l. Diese Verbindungen sind jedoch nicht in den XAD-Extrakten (gelöste Phase) enthalten.

Die unbekannt Substanzen verdecken die CB nahezu vollständig. Versuche,

Winter 1992 (April)



Sommer 1993 (September)

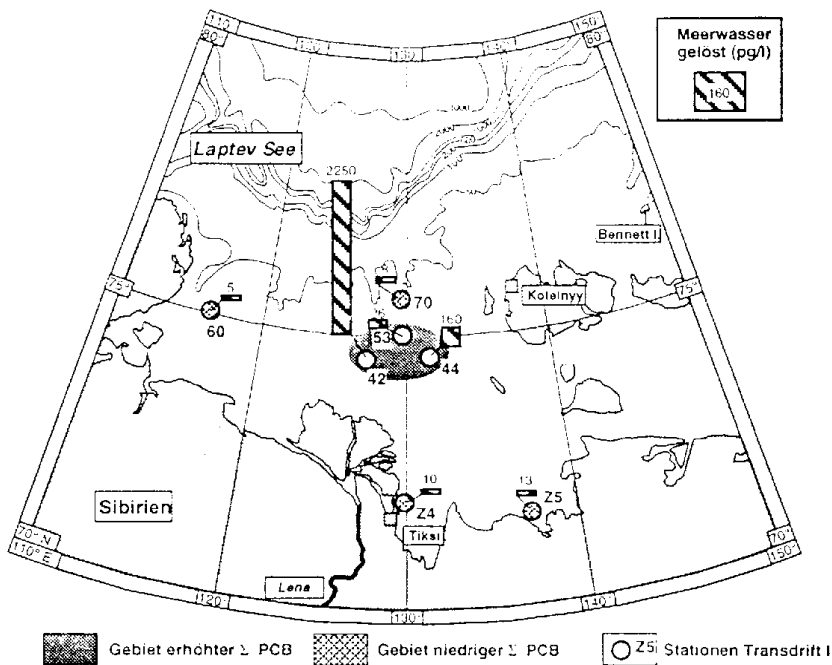


Abb. 5: Verteilungsmuster von PCB in verschiedenen Kompartimenten der Laptev-See und angrenzender Gebiete des östlichen Arktischen Ozeans.

sie mit metallischem Quecksilber zu entfernen, sowie eine fünfminütige Behandlung der Proben mit Chromschwefelsäure, erzielten ebenfalls keine verbesserte Auflösung der Meßergebnisse. Mit der MDGC wurden im Cut-Modus Einzelpeaks deutlich. Die MS-Analyse ergibt jedoch darüberhinaus keine verwertbaren Daten (mangelnde Auflösung in "heart cuts", d. h. Einzelpeaks). Ein erster Vergleich mit einem toxaphen Standard könnte darauf hinweisen, daß es sich bei den gemessenen Substanzen um eine derartige Stoffklasse handelt.

Meereisproben (gelöst)

ESARE-Expedition: Die geschmolzenen Meereisproben von Station 3/4 und 10/11 wurden filtriert und über XAD-Adsorbersäulen gepumpt. In der gelösten Phase von Station 3/4 ist neben einem abgeschwächten "Berg" unbekannter Substanzen ein PCB-Gehalt von 160 pg/l evident. Eine Zuordnung der Signale bezüglich verschiedener PCB erscheint jedoch schwierig. Hingegen konnten in der Probe 10/11 einzelne CB mit einer Gesamtkonzentration von etwa 400 pg/l identifiziert werden. Der "Fingerabdruck" zeigt hier starke Ähnlichkeiten zum kommerziellem Arochlor-1254-PCB-Gemisch. Die Materialmengen der Filtrationsrückstände waren nicht ausreichend, um sie einer organo-chemischen Analyse zuzuführen.

Schelfboden-Sedimente

ESARE-Expedition: Allen Proben entströmte im aufgetauten Zustand ein unangenehm saurer muffiger lösungsmittelartiger Geruch, ähnlich dem des partikulären Materials der Wasserproben 3 und 4. Zwei der 5 Sedimentextrakte zeigten im Verlauf der Aufbereitung eine intensive gelbliche Färbung, deren Ursache nicht zu klären war. Die PCB-Gehalte der Schelfboden-Sedimente variieren zwischen 1 und 420 pg/mgC_{org} (Abb. 5). Die höchsten Konzentrationen wurden in einem Areal der zentralen nördlichen Laptev-See bestimmt, welches ebenfalls durch signifikant erhöhte CB-Konzentrationen in der gelösten Phase charakterisiert ist. Der "Berg" unbekannter ECD-aktiver Substanzen aus den Meerwasser-Partikelproben ist in den Schelfsedimenten nicht enthalten. Die relative Zusammensetzung der in den Sedimentproben an den Stationen 11, 14 und 15 enthaltenen CB ist dem des Arochlor 1254 sehr ähnlich oder sogar identisch. Zumindest ungewöhnlich erscheint die Tatsache, daß die PCB-Konzentrationen der Sedimente mit abnehmendem C_{org}-Gehalt ansteigen. Die Analyse organo-chemischer Substanzen der Sedimentprobe 16 wird von (vermutlich) Chlorbenzolen dominiert.

Der Verdacht, daß es sich bei den deutlichen Arochlormustern in den Schelfboden-Sedimenten um eine bei der Probennahme oder -behandlung eingebrachte Kontamination handelt, konnte mit weiteren Analysen nicht bestätigt

werden. Die Verteilung der n-Alkane ist typisch organisch (die ungeraden n-KW sind in höheren Konzentrationen enthalten als die geraden n-KW; weiterhin sind Spuren von Pristan und C 21:6 HEH vorhanden). Die Gehalte der polycyclischen Aromaten liegen unterhalb der Nachweisgrenze (< 0.1 ng/l). Die MS-Daten zeigen lediglich einige Phthalate im Konzentrationsbereich von ca. 2 ng/gwt sowie organische Säuren auf.

Meereissedimente

ESARE-Expedition: Die bei 5° C in PE-Flaschen gelagerten Meereis-Sedimentproben bestanden aus ca. 8 g feinklastischen Materials und einem unterschiedlichen Volumen überstehenden Schmelzwassers. Das Wasser wurde filtriert (Glasfaserfilter). Das Filtrat wurde mit n-Hexan ausgeschüttelt; 2-3 g des Meereissediments wurden mit Natriumsulfat verrieben und nachfolgend mit Acetonitril extrahiert. Vor der gaschromatographischen Trennung (HPLC) wurden die Extrakte aus flüssiger und fester Phase vereinigt. Dieser methodische Schritt erschien sinnvoll, da ohnehin von einer Gleichgewichtsbildung bezüglich der organischen Substanzen in gelöster und sorbierter Form ausgegangen werden mußte.

Die PCB-Gehalte der Meereissedimente liegen bei 10 pg/mgC_{org} (Station 10) bzw. 12 pg/mgC_{org} (Station 17, Abb. 5). Auch hier ist auffällig, daß bei einem deutlich erhöhten C_{org}-Gehalt (Station 10) relativ niedrigere PCB-Konzentrationen im Sediment festgestellt wurden. Beiden Proben fehlen die Homologe der n-Alkane. Eine Analyse mit dem MS zeigt außer Phthalaten nur unbekannte organische Substanzen auf. Zudem fehlen die polycyclischen Aromaten und der zuvor erwähnte "Berg" nicht zu identifizierender Stoffe. Zumindest hinsichtlich der Probe Nr. 17 (nördlichste Probenlokation, Abb. 5) kann gesagt werden, daß deren generelle organo-chemische Zusammensetzung kaum eine oder keine Ähnlichkeit zu allen weiter südlich (in der Laptev-See) genommenen Proben aufweist. Lediglich die CB-Muster zeigen, ebenso wie bei der Probe 10, Übereinstimmungen mit dem kommerziellen PCB-Gemisch Arochlor 1254.

Bewertung der Ergebnisse

Die Gehalte der gelösten Chlorbiphenyle im Oberflächenwasser der Laptev-See liegen um etwa Faktor 10-50 über denen der Nord- und Ostsee. Im Vergleich zu Meßergebnissen aus verschiedenen Meeresgebieten hoher nördlicher Breiten bestätigt sich die Ausnahmestellung der PCB-Daten aus der Laptev-See (vergl. Abb. 2). So konnte Arochlor 1016 bislang nicht in vom IfM-Kiel untersuchten marinen Bereichen bzw. Flußmündungen nachgewiesen werden. Auch bezüglich

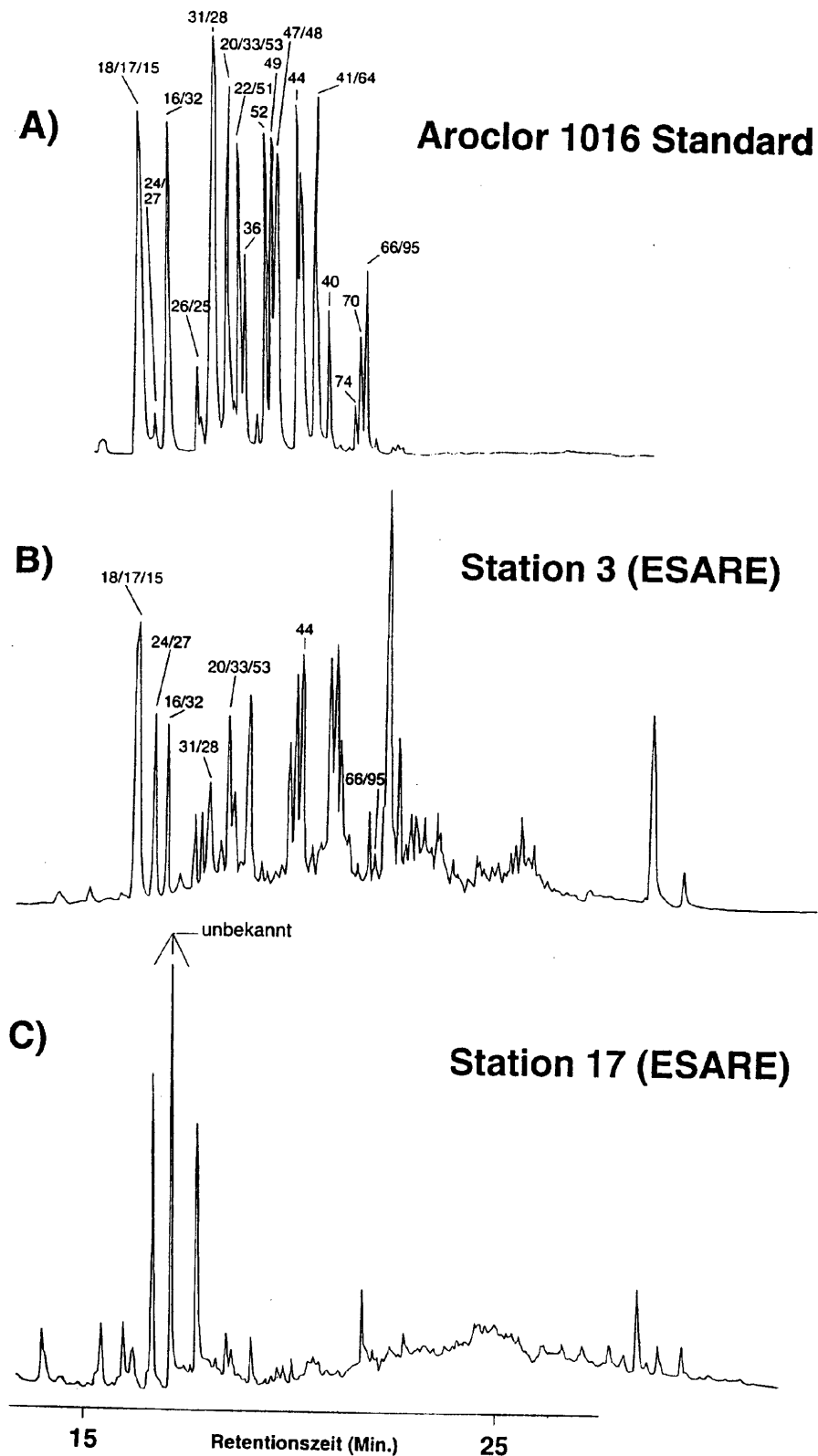


Abb. 6: ECD-Messung eines Arochlor-1016-Standards (A) und des PCB-Musters der Probe 3 (B; gelöste Phase). (C) zeigt die ECD-Analyse des mit Arochlor 1016 unbelasteten Oberflächenwassers der Station 17 (ESARE). Identische Gemisch-Komponenten sind gemäß ihrer Retentionszeiten fortlaufend gekennzeichnet.

der hohen Anteile von Benzolderivaten und unbekanntem Verbindungen im Probenmaterial fehlen entsprechende Vergleichsdaten.

Der Partikeleintrag über den winterlichen Lena-Zufluß in die Laptev-See ist stark mit unbekanntem ECD-aktiven Substanzen belastet. Mit Hilfe dieses Signals läßt sich das Flußwasser bzw. das vom Süßwasser-Zustrom eingebrachte SPM bis in den äußeren Schelfbereich verfolgen. Die Gehalte an partikulärem Material im winterlichen Oberflächenwasser der Laptev-See (ESARE, Winter 1992) lagen zwischen 1.24 mg/l (Mündungsbereich Lena, Station 3) und 0.24 mg/l (Station 17). Während des Sommers (September 1993, Transdrift I) betragen die SPM-Gehalte in ca. 4-10 m Wassertiefe bis zu 11.79 mg/l. Die höchsten Konzentrationen zeigen sich bei Partikelmengen <1 mg/l. Die relativ niedrigen CB-Gehalte im Schelfwasser nahe der Flußmündungen könnten auf die lokal erhöhten Mengen an SPM zurückzuführen sein. Demzufolge lägen größere Mengen PCB in sorbierter Form vor.

Die CB-Konzentrationen in den Sedimenten decken die Skala von "kaum bis stark" belastet ab. Die generelle qualitative Zusammensetzung der organischen Verbindungen spiegelt jedoch nicht die des Meerwassers bzw. des suspendierten partikulären Materials wider. Bezüglich der Daten der Schelfboden-Sedimente wird eine signifikante Ähnlichkeit zu den Erhebungen aus der näheren Umgebung der zerstörten Ölplattform "Piper Alpha" (Nordsee) sichtbar (unveröff. Daten Schulz-Bull). Es könnte vermutet werden, daß es sich bei dem Areal erhöhter CB-Konzentration im winterlichen Szenario der Laptev-See (Abb. 5) um ein Gebiet verstärkter lokaler Einträge anthropo-organo-chemischer Substanzen handelt. Denkbar wäre in diesem Zusammenhang die Verklappung industrieller Flüssig- und/oder Feststoffabfälle während der Sommermonate sowie das Vorhandensein von Schiffs- oder Flugzeugwracks am Meeresboden. Leckagen an beschädigten Behältern oder Maschinenteilen hätten somit den Charakter von Punktquellen, aus denen Schelfboden und Wassersäule weitflächig kontaminiert werden könnten.

Auch die unsachgemäße Entsorgung von Altölen und Schmierstoffen auf den regionalen Seeschiffahrtswegen kann als Eintragsfaktor für Verschmutzungen in Betracht gezogen werden. Melnikov und Vlasov (1990) geben einzelne Schiffshavarien in Mündungsbereichen sibirischer Flüsse sowie die resultierenden Freisetzungen von Schadstoffen an. Die Belastung der Sedimente im unteren Lauf der Flüsse Lena, Khatanga und Yana mit Polycyclischen Kohlenwasserstoffen (PHC) liegt etwa zwischen 0.10 und 0.28 t/km². Der Hafen von Tiksi weist nach Melnikov und Vlasov (1990) eine PHC-Belastung von 0.18 t pro Km² Sedimentoberfläche auf. Nach heutigem Kenntnisstand über das Aufbrechen der Flüsse während der arktischen Frühjahrsschmelze erscheinen weiträumige Erosion und distaler Transport von Flußsedimenten möglich. Die im unteren Flußlauf abgetragenen, hochbelasteten Sedimente könnten somit im zentralen Schelfbereich abgelagert

werden, würden jedoch ihr im Flußgebiet erhaltenes anthropo-organo-chemisches Belastungsmuster beibehalten.

Weiterhin wäre denkbar, daß aufgrund eines ozeanographischen Mehrfronten-Systems Reste hochbelasteter fröhsommerlicher Lena-Wassermassen (und deren Materialfracht) am nördlichen Rand der Laptev-See "eingefangen" werden. Ein stark mit PCB beladener Wasserkörper wäre folglich im Süden von weniger belastetem winterlichen Süßwasser-Zustrom und im Norden von nahezu unbelasteten Wassermassen des Arktischen Mittelmeeres umgeben.

Der in der gelösten Phase des Meereises von Station 3/4 nachgewiesene "Berg" unbekannter Substanzen läßt auf einen Eintrag von derart belasteten Wässern oder partikulären Substanzen in das lokal gebildete Festeis schließen. Die an der Station 10 im Meereis-Sediment detektierte PCB-Zusammensetzung zeigt bis auf einen Peak die identische Verteilung der CB-Muster aus den Schelfboden-Sedimenten. Dies läßt auf einen Eintrag von Schelfablagerungen in das neu gebildete Meereis zumindest in diesem Bereich der Laptev-See rückschließen.

Anthropo-organo-chemische Substanzen - Prozeßorientierte Signalträger im Eisregime der Laptev-See

Die qualitative Zusammensetzung der im suspendierten partikulären Material gebundenen organo-chemischen Spurenstoffe grenzt sich deutlich von den Merkmalen aller anderen in der Laptev-See beprobten Kompartimente ab. Insbesondere weisen die Wasserproben (gelöst) sowie die Schelfboden- und Meereissedimente vollkommen unterschiedliche Signale auf. Der als "Berg" unbekannter Substanzen bezeichnete "Fingerabdruck" des SPM findet sich jedoch im Meereis der inneren südöstlichen Laptev-See. Somit könnte diese (unbekannte) Substanz als Signalträger für die Inkorporation von suspendiertem Material in das auf dem Schelfgebiet neu gebildete Meereis sowie für die Verfolgung lokaler und überregionaler Eisdriftbewegungen herangezogen werden. Weiterhin ließe sich die Substanz zur Charakterisierung von Wassermassen-Verteilungen bzw. der Verbreitung von Lena-Wässern in der Laptev-See nutzen.

Die signifikanten Unterschiede in den organo-chemischen Belastungsmustern zwischen suspendiertem Material ("Berg") und Schelfsedimenten (Arochlor 1254) weisen darauf hin, daß zumindest während des Beprobungszeitraumes in dem von Eis bedeckten Gebiet der Laptev-See kein Bodenmaterial durch Resuspensions-Prozesse in die obere Wassersäule gelangte. Dieses ozeanische Stockwerk scheint eindeutig vom Zustrom der Lena dominiert zu sein, die nach Cattle (1985) auch im Winter für eine ständige Erneuerung der Wassermassen in Teilen der Laptev-See sorgt. Gestützt wird diese Interpretation durch russische Untersuchungen, welche auf eine stabile winterliche Stratifizierung der Wassersäule (Halokline) in der Laptev-

See hindeuten (freundl. mündl. Mitt., V. F. Zakharov, Arctic and Antarctic Research Institute St. Petersburg, Rußland, April 1992). Eine für die Resuspension größerer Mengen von Schelfboden-Sedimenten ausreichend starke vertikale Wassermassenzirkulation ist dagegen nur im Bereich des "flaw leads" zu erwarten.

Die Analyse der Schelfboden-Sedimente zeigte z. T. sehr hohe Gehalte von Arochlor 1254 (Stationen 11, 14, 15). Dieses deutliche Signal konnte ebenfalls in relativ hohen Konzentrationen in den Meereis-Sedimenten der benachbarten Station 10 nachgewiesen werden (Abb. 5). Bei diesen Sedimenten handelt es um vom Schelfboden stammende Ankereis-Einschlüsse. Es kann somit postuliert werden, daß in dieser Region signifikant mit Schadstoffen belastete Schelfboden-Sedimente über die Prozesse der Neueisbildung in das Meereis eingetragen werden. Das klare CB-Muster (Arochlor 1254) könnte somit für eine nähere Klärung regionaler Prozesse der Meereisdynamik und des Sedimentationsgeschehens herangezogen werden.

Eine Sedimentprobe aus dem Meereis vom Nordpol (unveröff. Daten Schulz-Bull & Körtzinger; ODEN 91) spiegelt die hohen Gehalte von Chlorbenzolen der Station 16 (ESARE) wieder. Es könnte vermutet werden, daß beide Probenlokationen über Prozesse der Meereisneubildung, der Inkorporation von Sedimenten und der überregionalen Eisdrift in einem direkten Zusammenhang stehen. Das von allen Proben der Laptev-See sehr unterschiedliche organo-chemische Muster der Meereis-Sedimente von Station 17 läßt die Vermutung zu, daß dieses Material aus einem anderen Schelfgebiet (z. B. Ostsibirische See) stammt.

Der Flußlauf der Lena und weite Teile des Schelfgebietes der Laptev-See sind zumindest über 9 Monate des Jahres (Oktober-Juni) nahezu vollständig von Eis bedeckt. Somit können die Wassermassen nur in geringem Umfang mit dem während der Wintermonate auftretenden arktischen Dunst und dessen Schadstoffgehalt in Kontakt kommen. Ein bedeutender atmosphärischer Eintrag anthropo-organo-chemischer Substanzen in die Oberflächenwässer der inneren Laptev-See ist somit während des gesamten arktischen Winters nahezu auszuschließen. Dieser Sachverhalt läßt die Vermutung zu, daß die in die Laptev-See eingebrachten signifikanten anthropo-organo-chemischen Belastungen aus lokalen, küsten- oder ufernahen Quellen stammen bzw. ganzjährig über den Zustrom der Lena aus dem sibirischen Hinterland eingetragen werden.

Stand derzeitiger Untersuchungen und wissenschaftlicher Ausblick

Im Rahmen derzeitiger Untersuchungen werden Restproben (Sedimente) der TRANSDRIFT I-Expedition hinsichtlich anthropo-organo-chemischer Signalträger analysiert. Die Ergebnisse dienen einer verbesserten Bestandsaufnahme der Belastungsmuster in der Laptev-See und können somit mittelfristig zur Interpretation

des Sedimentationsgeschehens im Untersuchungsgebiet herangezogen werden. Im Zuge der folgenden TRANSDRIFT-Expeditionen werden die Proben-netze weiter ausgebaut. Langfristiges Ziel soll es sein, anthropo-organo-chemische Signalträger für die Entschlüsselung lokaler und regionaler Prozesse von Meereis- und Sedimentationsdynamik im östlichen Arktischen Ozean zu nutzen.

Identifikation der Liefergebiete von Meereissedimenten anhand von Spurenmetallen

J. Hölemann

Durch die Erosion und anthropogene Einträge werden über die großen sibirischen Flußsysteme partikulär gebundene und gelöste Spurenmetalle in die Laptev-See eingebracht. Zu diesen Punktquellen kommen noch der diffuse Eintrag über die Atmosphäre und die Zufuhr von gelösten und partikulären Substanzen mit Wassermassen aus den angrenzenden Randmeeren und dem Arktischen Ozean. Die Erfassung der Spurenmetallkonzentrationen im Sediment und im Schwebstoff entlang eines Profils von den Eintragsquellen in die äußere Laptev-See sowie der Vergleich bereits bestehender einzelner Metallmessungen erlauben erste Aussagen über die räumlich Varianz der Spurenmetallgehalte und -zusammensetzung und bilden so einen grundlegenden Datensatz für weitere Untersuchungen auch in anderen Bereichen der Arktis.

In Hinblick auf die Rekonstruktion der Transportwege von Meereis anhand von geochemischen "Fingerabdrücken" und der Untersuchung verschiedener Eintragsmechanismen von Fremdstoffen in das Eis ist es von besonderem Interesse, die Metall-Zusammensetzungsmuster der einzelnen möglichen Ursprungsgebiete genau zu charakterisieren. Dabei wurden vor allem die Konzentrationen der Elemente Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Se, Co, V, Mo, U, Mn, Cr, As und Fe im Sediment (standardisiert auf die < 20 µm Korngrößenfraktion), in Suspension und in der gelösten Form bestimmt. Dabei war zu klären, ob sich im Sommer/Früh-Herbst mit einem starken Flußeintrag die einzelnen Spurenmetallmuster von den punktuellen Eintragsquellen bis in die äußere Laptev-See verfolgen lassen. Ein Vergleich mit den bereits bestehenden wenigen Konzentrationsmessungen einzelner Spurenmetalle aus der Laptev-See und den Ästuaren der einmündenden Flußsysteme erlaubt darüberhinaus Aussagen über die zeitliche Fluktuation in der Konzentration einzelner Metalle. Der so gewonnene, umfangreiche Datensatz bildet die Grundlage für die Interpretation von Spurenmetallmessungen aus dem Bereich der Arktis und erlaubt Aussagen über die Bedeutung der Laptev-See für den Eintrag und Transport von Fremdstoffen im Meereis der Transpolardrift.

Mit diesen Arbeiten wurde erst im Rahmen des Aufstockungsantrages 1993 begonnen. Die während dieser Periode gewonnenen Ergebnisse bildeten auch die Grundlage für die weiterführenden Untersuchungen im BMBF-Verbundvorhaben "System Laptev-See". Alle untersuchten Proben wurden im Laufe der Expedition mit der "Ivan Kireev" genommen. Der Probensatz umfaßt 28 Oberflächensedimente und 20 Schwebstoffproben des Oberflächenwassers. Die Bestimmung der gelösten Metalle ist Gegenstand der Untersuchungen im zur Zeit laufenden BMBF-Verbundvorhaben "System Laptev-See". Die Ergebnisse, auch der gelösten Metalle, zeigen, daß die wichtigste Voraussetzung für eine erfolgreiche Durchführung der Untersuchungen, nämlich die kontaminationsfreie Probennahme und Aufbereitung, erfüllt werden konnte. Der Einsatz spezieller Teflon-Wasserschöpfer an einer separaten Handwinde, die Installation eines transportablen Reinraum-Arbeitsplatzes (clean bench) an Bord sowie die Druckfiltration über vorbehandelte Nuclepore-Filter hat sich bewährt. Die Multielementuntersuchungen selbst wurden am Forschungszentrum Geesthacht in der Arbeitsgruppe von Dr. Prange durchgeführt.

Ergebnisse

Die Beprobung der Oberflächensedimente fokussierte vor allem auf die Mündungsgebiete der in die Laptev-See entwässernden Flußsysteme und die N-S verlaufenden Rinnensysteme auf dem Schelf, die die rezenten Ablagerungsräume für die eingetragene Flußfracht bilden (Lindemann, 1994). Tonige Silte stellen in diesen Bereichen den dominierenden Sedimenttyp (Lindemann, 1994). Nur an einer Station (40) wurde eine Oberflächenprobe mit einem Sandgehalt über 90 Gew.% genommen. Hohe Sandgehalte sind typisch für flache Meeresbereiche wie die "Stolbovoy Untiefe" die aus aufgearbeiteten reliktschen Sedimenten bestehen. Die < 20µm-Fraktion dieser Sedimente zeigt gegenüber den Rinnensedimenten deutliche Unterschiede in der Spurenelementzusammensetzung. Im folgenden werden die ersten Ergebnisse der Multielementuntersuchungen mit der Totalreflektionsröntgenfluoreszenzanalyse (TRFA) zusammengefaßt. Weiterführende Untersuchungen z.B. der Seltenen Erden werden zur Zeit im Rahmen des laufenden BMBF-Vorhabens durchgeführt.

Die höchsten Metallgehalte im Sediment zeigten sich in der äußeren Laptev-See nördlich 74°30' N und in den tieferen Bereichen der Rinnen. Ein ähnliches Muster findet sich auch bei den oberflächennahen Schwebstoffen (2-3 m Wassertiefe). Auch hier finden sich die höchsten Metallgehalte nördlich von 74°30' N im Ausstrombereich der Lena. Demgegenüber zeigen erste Auswertungen des Verteilungsmusters der gelösten Metalle, daß erhöhte Gehalte fast ausschließlich in den Ausstrombereichen der großen Flußsysteme Kathanga, Anabar, Olenek, Lena

und Yana anzutreffen sind. Hervorzuheben sind hier hohe Gehalte an gelöstem Eisen ($> 150 \mu\text{g/l}$) und Mangan ($> 10 \mu\text{g/l}$). In der Zusammensetzung von gelösten und partikulären Spurenmetallen in der Wassersäule zeichnen sich Unterschiede zwischen der westlichen und östlichen Laptev-See ab. Während der Wasserkörper der östlichen Laptev-See hauptsächlich durch hohe Flußeinträge charakterisiert wird, zeigt der westliche Teil eine starke Beeinflussung durch ozeanische Wassermassen mit erhöhten Gehalten von z.B. Cd, Mo, V und U. Diese Aussagen lassen sich jedoch erst durch die vollständige Auswertung der Datensätze der gelösten Spurenmetalle verifizieren.

Generell ist festzustellen, daß in den bisher untersuchten Gebieten keine eindeutigen anthropogenen Einträge nachzuweisen waren. Die Ursache für hohe Arsengehalte um $50 \mu\text{g/g}$ in weiten Teilen der Laptev-See - als natürlicher Hintergrundwert in flachmarinen Sedimenten sind $10 \mu\text{g/g}$ anzusetzen - und Spitzenwerte in Eisen- und Manganoxidhydraten an der Sedimentoberfläche von $500 \mu\text{g/g}$ werden zur Zeit noch untersucht. Die von Wollenburg (1993) gemessenen Arsengehalte in Meereissedimenten der Barentssee und der Fram-Straße liegen zwischen $15 \mu\text{g/g}$ und $28 \mu\text{g/g}$; Proben aus dem Bereich der arktischen Transpolardrift (nordöstlich von Spitzbergen) zeigen hingegen Werte zwischen $39 \mu\text{g/g}$ und $62 \mu\text{g/g}$ was den typischen Arsengehalten der Schwebstoffe und Oberflächensedimente in der Laptev-See entspricht. Ob der hohe Arsengehalt im Eis der Transpolardrift als Indikator für die Entstehung der Sedimenteinschlüsse innerhalb der Laptev-See gewertet werden kann, ist Gegenstand der laufenden weitergehenden Untersuchungen. So müssen zum Beispiel auch atmosphärische Einträge aus dem Bereich Spitzbergens als Ursache mit in Betracht gezogen werden.

Neben einer extrem hohen Anreicherung von Arsen zeigen die Eisen/Manganoxidhydrate auch eine deutliche zwei- bis dreifache Anreicherung von Ni, Cu und Sr gegenüber den umgebenden Sedimenten. Erste statistische Auswertungen der Metallgehalte in Sedimenten und Schwebstoffen deuteten auf eine enge Korrelation von Eisen und Mangan mit V, Cr, Ni, Cu, As und Ba hin. Über Koprezipitation und Adsorption von Metallen mit und an die partikulären Eisen-Manganoxidhydrate wird der geochemische Kreislauf dieser Metalle eng an den des Eisens und Mangans gebunden. Eine Anreicherung von Mangan gegenüber Eisen in den Sedimenten nördlich von $74^{\circ}30' \text{ N}$ kann durch das unterschiedliche geochemische Verhalten beider Elemente erklärt werden. Manganhydroxide werden unter reduzierenden Bedingungen schnell wieder zu löslichem Mn^{2+} reduziert und können aufgrund ihrer Reaktionskinetik über längere Zeit im sauerstoffhaltigem Wasserkörper transportiert werden bis sie als Manganoxidhydrate wieder ausfallen. Starke Sauerstoffabreicherungen (bis 1 ml/L) im Wasserkörper wurden

hauptsächlich im Bereich des Lena-Ausstroms und innerhalb der Lena- und Yana-Rinne festgestellt (Pivovarov, unpubl. Daten). In der südlichen Laptev-See innerhalb der Buor-Khaya-Bucht konnte sogar Schwefelwasserstoff in der Wassersäule als Zeugnis für eine starke Sauerstoffzehrung nachgewiesen werden (Pivovarov, unpubl. Daten). In diesen Bereichen wird vor allem Mangan mobilisiert und im stärkeren Maße als Eisen mit der Strömung über weite Strecken in nördliche Richtung transportiert, wo es dann wieder ausfällt. Diesem Transportweg folgen auch ein Großteil der Metalle innerhalb der Laptev-See. Ein ähnliches Modell wurde bereits von Van Dalen & Nolting (1992) auf der Basis von Untersuchungen an Porenwässern aus der Laptev-See postuliert. Die hohe Zufuhr von Eisen und Mangan über die sibirischen Flußsysteme, häufig anzutreffende reduzierende Bodenwasserverhältnisse in der südlichen Laptev-See mit der Remobilisierung von Mangan und Eisen und die Anreicherung dieser Metalle in der nördlichen Laptev-See könnten so auch das Auftreten von Eisen-Mangankrusten und -Knollen in diesen Bereichen erklären.

Im Rahmen der von Wollenburg durchgeführten geochemischen Untersuchungen an Meereissedimenten wurden die Gehalte von Fe und Mn nicht bestimmt. Jedoch läßt der gemessene Gehalt an Vanadium Rückschlüsse auf den Gehalt an Eisen-Manganhydroxiden zu. So sind die V-Gehalte innerhalb der Transpolardrift (120 bis 130 µg/g) generell höher als in der Barentsee und Fram-Straße (71 bis 115 µg/g). Dies deutet ebenfalls auf die Laptev-See als eines der Ursprungsgebiete für Sediment und Fremdstoffeinschlüsse im Eis der Transpolardrift.

Zusammenfassend lassen sich folgende erste wissenschaftliche Ergebnisse herausstellen:

- Die höchsten Gehalte an Metallen im Sediment und Schwebstoff wurden innerhalb der Laptev-See im Bereich der Rinnensedimente und nördlich von 74°30' N gefunden.
- Der Eintrag von gelöstem Eisen und Mangan über die großen sibirischen Flußsysteme sowie die Ausfällung und Remobilisierung von Oxidhydraten dieser Metalle ist ein wichtiger den geochemischen Kreislauf anderer Metalle steuernder Faktor.
- Die Oberflächensedimente innerhalb der Laptev-See zeigen ungewöhnlich hohe Arsengehalte bis 500 µg/g.
- Hohe Arsengehalte und erhöhte Gehalte an Eisen-Manganoxidhydraten sind ebenfalls charakteristisch für die von Wollenburg (1993) untersuchten Meereissedimente innerhalb der arktischen Transpolardrift. Dies ist ein Indiz dafür, daß die Laptev-See zu den wichtigsten Liefergebieten für Fremdstoffe im driftenden Meereis der Transpolardrift gehört.

Im Rahmen des zur Zeit laufenden Verbundvorhabens "System Laptev-See" werden weiterführende Untersuchungen von Spurenmetallkreisläufen innerhalb der Laptev-See und der Prozesse, die zur Inkorporation von Metallen in das Eis führen vorgenommen. Die im abgeschlossenen Projekt gewonnenen Daten, bildeten dafür eine wichtige Voraussetzung. Die Publikation der Ergebnisse in internationalen Fachzeitschriften wird in der Zusammenschau mit neueren Datensätzen erfolgen.

ARCTIC'93: Sediment Transport by Laptev Sea Ice

E. Reimnitz and H. Kassens

Observations and measurements of sediment in sea ice were made during the Polarstern expedition ARK IX-4 to the Laptev Sea. These studies cover the place of origin for the Siberian Branch of the Transpolar Drift. The Laptev Sea is considered a major ice factory for the Arctic Ocean, where sedimentary particles along with other foreign substances are entrained into newly forming ice. The stream of pack ice then carries such substances across the Arctic Ocean through Fram Strait into the North Atlantic, where they are released by ice melt. Knowledge about the mechanism of modern ice rafting, requiring about three-years from entrainment to ultimate melting, is necessary for a) understanding the high rates of Arctic coastal retreat and shelf erosion, b) interpreting the polar deep-sea sedimentary record, c) assessing the total sediment budget of the Arctic Ocean, and d) learning about dispersal of hazardous substances in the Arctic.

"Dirty ice" near its source, occurs mainly in the form of turbid ice. Turbid ice contains individual particles dispersed rather evenly throughout an ice layer ranging from .1 to one or more meters in thickness. The formation of turbid ice by suspension freezing is now believed to be the principal entrainment mechanism, but there are others. Wind transport of fine sediments from the Siberian continent onto ice, flooding by river waters, and slumping from coastal cliffs all would be recognizable as distinct surface layers or mounds on first-year ice. Bottom adfreezing on very shallow shelf regions would be revealed by basal sediment accumulations, while the formation of grounded pressure ridges would incorporate internal coarse-sediment pockets.

During transit in the Transpolar Drift the ice undergoes changes that affect the mode in which sediments are carried. These changes gradually mask the original entrainment mechanism to the point where its recognition is impossible. One half meter of seasonal surface melting, greatly enhanced by dark foreign substances, results in the formation of irregular sediment layers on top of the ice and on floors of melt puddles. Various surface processes combine fine particles and biogenic

substances into millimeter-size pellets, which become increasingly cohesive with aging through several melt seasons. With slightly acidic conditions prevailing on ice surfaces during summers, calcareous micro-fossils may dissolve with time, making the recognition of sediment entrainment environments increasingly difficult. Not all sediment is retained on ice floes, as some turbid meltwater flows into the sea. Near ice source regions, the pack carries sand and coarser grains, in the Central Arctic and Fram Strait mainly fines have been found, suggesting that coarse grains are lost preferentially. Winter wind-ablation mobilizes exposed sedimentary particles and redistributes them throughout snow drifts. More sediment is lost to open cracks and leads by eolian transport on the ice in winter.

ARK IX-4 reached to the very heart of Siberian ice production area in the Laptev Sea. Because of the above described metamorphosis of the sediment/ice mixture with age and drift distance, the expedition provided a unique opportunity to learn about original entrainment mechanisms, and the fate of sediment in ice.

Objectives

The list of objectives pursued during the expedition includes the following:

- Observe and document the mode of sediment occurrence in ice
- Compare local observations with those of other parts of the Arctic Ocean
- Assess likely methods of sediment incorporation, and attempt to evaluate the time or distance from the source region
- Use regional sediment distribution to evaluate ice dispersal patterns in the Arctic Ocean
- Collect and process suitable ice samples for sediment load and transport quantification
- Make albedo measurements at sites where the sediment load is quantified
- Collect sediment bulk samples for determination of grain size, clay mineralogy, sand lithology, microfossils, organic carbon/total carbon content, etc.
- Help establish criteria for the recognition of interglacial (sea-ice rafted) layers in deep-sea sediment cores.

Methods of Investigation

Observations, focused on specific objectives listed above, are combined with hourly shipboard ice observations in an attempt to achieve a regional understanding of ice drift patterns and potential sediment sources. All opportunities for actual sample collection were used. In the Laptev Sea, these include 12 ice stations directly from the ship, and 11 helicopter sorties, depending on flight conditions. Where sediment concentrations on the ice permitted, bulk samples were collected by use of spoon, spatula, slurper (when below water), or by chopping and scraping with

a spade. Any ice shavings included with sediments were melted and the water decanted. Excess amounts of mud were condensed aboard ship by panning and sieving, and the residues dried in an oven at 60°C. At most sites, about one-meter long ice cores were taken next to other cores taken for ice biology and physical properties studies. Where cores looked clean, they were split into upper and lower halves, melted, and measured volumes of meltwater vacuum filtered through pre-weighed .4 micron filter papers. Where they contained distinct, sediment-rich layers, these were often sampled, melted, and filtered separately. Filters and condensed/dried residues were inspected under a binocular microscope aboard ship. Spectral radiation measurements in the visible parts of the spectrum were made, before snow accumulations or low sun angles prevented this, on surfaces of discolored ice or snow. At these sites, ice- or snow-samples of the upper 2-3 cm were also taken, melted, and filtered for later comparisons of sediment content and albedo values.

The filters with sediments were dried and re-weighed in Kiel, and from these weights and water volumes the sediment concentrations calculated in mg/L. For calculating ice-sediment loads in g per cubic meter, only ice cores, not surface samples were used. An average sediment concentration was calculated from individual values weighted according to the depth interval represented by each sample. These calculated average values are assumed to apply to the upper one meter of ice. Sediment bulk samples were wet-sieved through a 62-micron sieve, the sand-size distribution determined by use of a settling tube and the fine fraction analyzed by the pipette method. A selection of 26 bulk samples from this expedition combined with samples from previous expeditions, which also include the Beaufort Gyre, will be analyzed for any radionuclides.

Preliminary Results

During the mid-August work in the Barents Sea, before reaching the Laptev Sea, shipboard and aircraft observations were made without a snow cover soon obscuring ice and sediment. By August 26 (station #2381), approaching the Laptev Sea through Vilkitski Strait, the melt ponds were freezing and new snow covered the ice. Therefore, percentage estimates of discolored ice from here on were reduced from as much as 30 to just a few percent in the Laptev Sea. Yet, the amounts of sediments collected per site were large, and therefore subsampling for the numerous collaborators was possible. But large fields of clean ice were interspersed with smaller fields of dirty ice.

From excess sediment sample material collected on the ice, the sand fraction was condensed aboard ship and viewed under a microscope. These coarse fractions were found to consist of seemingly well-sorted, fine quartz sand. Except for drift

wood, no clasts coarser than sand were found. Most quartz grains had an angular to sub-angular shape. Some diatoms were seen in these coarse fractions on cursory examination, but no foraminifera or ostracodes. Textural analyses show the sand in the Laptev Sea samples to range from 0.01 to 16.6 percent. Clay-size particles dominate the fine fraction.

Table 3 contains data from Laptev Sea ice cores that were suitable for quantifying the sediment load, and figure 7 shows station locations and sediment loads determined. Any ice samples of the upper few centimeters collected by spade or other tools for such purposes as albedo measurements were eliminated in this attempt to quantify sediment load. The table shows that generally sediment concentrations are higher in the upper than in the lower section of ice cored. This reflects in large part summer melt processes concentrating sediments from the upper layer removed. There are, however, cases where the highest sediment concentrations occur at some depth below the surface layer. Thus, cores from station numbers 25621 and 2621 have the highest sediment concentrations at about 175 and 60 cm respectively, below the surface. Here ice compressional events evidently had shoved slabs of dirtier ice under slabs of cleaner ice. Table 3 identifies by * those cores where the ice seemed totally clean to the observer on the ground. Except for the first core listed (2381), which may have been faintly discolored from surficial dust accumulation, all ice with less than 8 mg/L was judged "clean". Filters used for such samples generally contain biogenic material and contamination, such as lint from clothing. They carry very little terrigenous particles. In the following analysis of sediment loads per unit area, SPM values of 8 mg/L and lower serve as background for "clean ice". The average sediment load extrapolated for the upper meter of 10 cores of obviously "dirty ice" is 156 mg/L, which is equivalent to 156 g/cubic meter (Table 3).

The search of clues for sediment entrainment mechanisms in the Laptev Sea revealed the following: A thin, even surface dust cover was not observed on first-year ice, not even at the three coastal sites visited, indicating that eolian transport from land to sea is insignificant overall. No evidence was seen in dirty ice for bottom adfreezing of sediment in shallow water, or for slumping from coastal sites. These mechanisms would be easily recognizable. Most important for the Laptev Sea, which is dominated by water and sediment supply from several large rivers, is the fact that no distinct layers that can be attributed to deposition by flood waters, were seen on first-year ice. In particular, the easily identifiable freshwater ice mapped off the eastern Lena Delta by the 1992 ESARE study (Dethleff et al., 1993) was not seen during the present expedition.

Tab. 3: Sediment concentrations in sea ice of the Laptev Sea.

Sediment load of pack ice in the Laptev Sea
(ARCTIC '93, FS POLARSTERN)

Station	Longitude (°E)	Latitude (°N)	g/m ³
2381	103,05	87,1	8
2391	102,46	87,09	28
2571	118,44	87,4	13
25811	117,54	87,21	94
25812	117,54	87,21	58
2401	131,9	77,4	346
2461	130,36	79,39	2
2491	131,29	77,57	53
2501	125,48	77	5
2511	125,53	77,28	2
2512	126,13	77,24	190
2521	125,54	77,09	3
2531	125,55	77,41	433
2541	125,02	78,08	7
2551	122,52	79,14	4
2561	119,54	79,11	7
25821	118,13	78,02	163
25831	118,35	77,78	3
2601	118,28	77,32	1
2611	118,32	77,15	4
2621	115,58	77,26	182
2631	106,48	78,19	5
2641	112,32	78,42	1

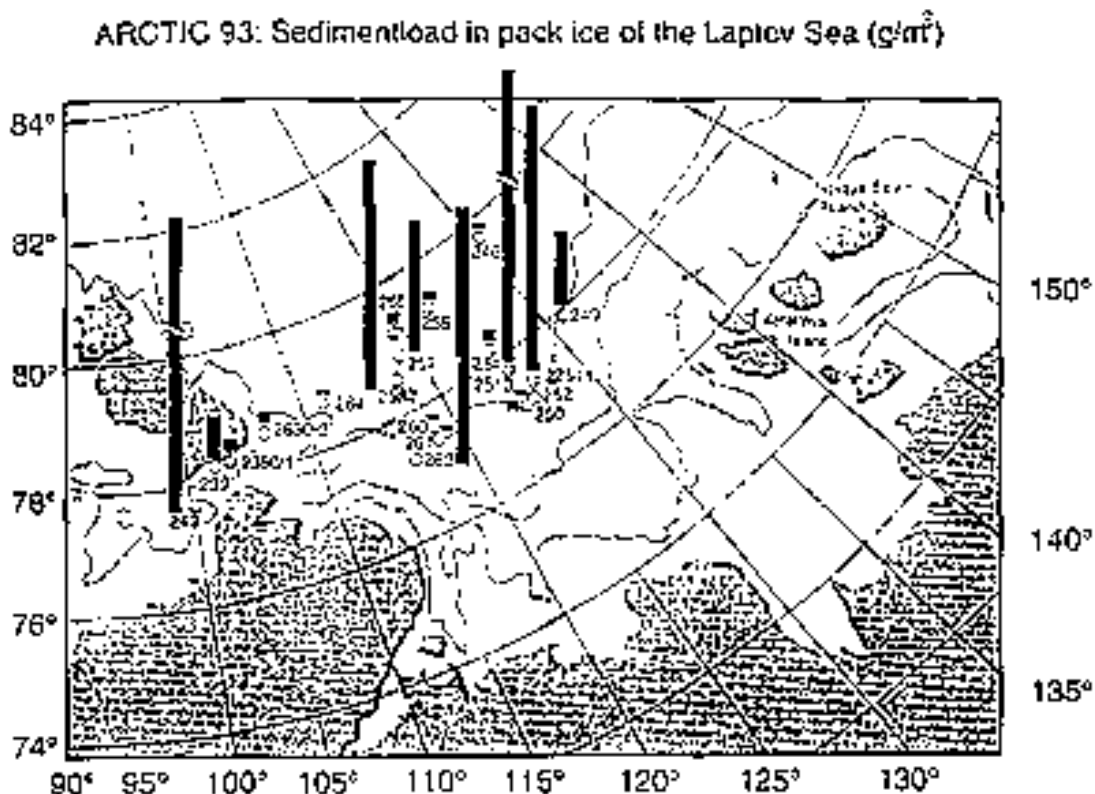


Fig. 7: Locations of ice sampling stations, with average sediment loads calculated in g/m^3 .

This suggests that ice which may have been flooded by the Lena River melts in place before entering the Transpolar Drift. However, abundant evidence for suspension freezing in form of turbid ice was seen. Strata of turbid ice sometimes occurred in complex patterns of short layers intersecting at acute angles, where individual layers had been partly condensed by surface melting. Such sediment occurrences therefore indicate that the ice had survived at least one melt season and then was compressed into ridges. Individual layers of turbid ice generally were only 5 to 15 cm thick.

Discussion

Fieldwork attempting to quantify the sediment load of sea ice are attracted by dirty ice, because the background load of clean-looking ice is well enough established from numerous expeditions, and because of constraints on station time while on an ice-breaker cruise. The cores taken thus are biased by dirty ice. The cores of "clean ice" collected during ARK-IX-4 represent locations chosen by other scientific disciplines aboard the ship rather than by the ice group. Therefore we must try other means than increasing the number of ice cores to obtain a regional estimate of

sediment load. A log of hourly or two-hourly shipboard observations kept aboard the Polarstern recorded the percentage of total ice cover, and the percentage of dirty ice. These records are of questionable quality, because they are made alternately by a number of different people, some of them inexperienced in making pack ice observations. A helicopter with a mounted video camera and GPS navigation was also used in the Barents Sea prior to new snow accumulation, and the resulting data from three flights later interpreted in terms of area-percentage of discolored ice and melt ponds, for example. Comparing these data to shipboard observations showed that area-percentages of dirty ice and melt ponds were greatly overestimated by the observers. For any estimates of sediment transport rates, vertical remote-sensing data properly interpreted for dirty ice-area percentages is advisable.

Preliminary attempts to estimate sediment export rates from the Laptev Sea using summer load measurements, an ice thickness of 1 m, a longterm seaward drift rate of 3 km/day, and percentage estimates of dirty ice observed, were made. These attempts suggest that sediment loss with drifting ice in the Transpolar Drift may approximate sediment supply by the Lena River. In any case, sediment transport by drifting ice is an important component of the overall Laptev Sea sediment budget. The sediment-load averages for the Laptev Sea are higher than those reported by Dethleff et al. (1993) based on winter data.

Conclusions

A large and valuable data set on ice rafted debris in the Laptev Sea was collected during ARK-IX-4, and final analyses will require considerable time. Some preliminary conclusions are listed as follows:

- The summer-sea ice carries a highly variable sediment, with truly dirty ice averaging 156 g/cubic meter.
- Export of this ice in the Transpolar Drift is a significant factor for the Laptev Sea sediment budget and should contribute to the high coastal erosion rates.
- The sediments exported should be recorded in deep sea interglacial deposits mainly as fines, with only a small sand fraction.
- Since anthropogenic pollutants are associated with fine sediments, drift-ice processes are believed important for their dispersal.
- Observations indicate that ice entrainment by river flooding, an eolian transport, and the other classic entrainment mechanisms are unimportant relative to the mechanism of suspension freezing in the Laptev Sea.
- The patchy distribution of relatively small regions of dirty ice among large regions of clean ice in the very cradle of the Transpolar Drift reveals intense mixing of ice types by flow eddies over short distances.

Kennzeichnung der Sedimentationsräume fluviatiler Materialfrachten anhand akustischer und granulometrischer Untersuchungen

A. Benthien und F. Lindemann

Im Sommer 1993 führte die Schiffsexpedition "Transdrift I" mit dem russischen Forschungsschiff "Ivan Kireyev" in die Laptev-See.

Während der gesamten Expedition wurde ein Sedimentecholot der Firma Krupp-Atlas mit den Frequenzen 30/210 kHz betrieben. Die Auswertung der Echolot-Daten soll Aufschlüsse über die modernen Sedimentationsverhältnisse in der Laptev-See geben. Zu diesem Zweck wurden drei Echo- bzw. Reflektortypen definiert, die jeweils verschiedene Sedimenttypen charakterisieren:

Typ 1, ein Reflektortyp, der geringe Eindringung in das Sediment zeigt (cm bis dm Bereich), also ein "hartes" Sediment charakterisiert, Typ 3, ein Echotyp mit bis zu 4 m Eindringung in den Meeresboden ("weiches" Sediment) und ein Mischtyp, Typ 2, der einen Übergangstyp zwischen den o.a. Reflektortypen darstellt.

Die in Abbildung 8 dargestellten Verteilungsmuster der Reflektortypen zeigen deutliche Unterschiede zwischen westlicher und östlicher Laptev-See. In küstennahen Bereichen des westlichen Teils dominiert der Reflektortyp 1. Einzige Ausnahmen bilden die Olenek- und die Anabar-Khatanga-Rinnen. Dort treten Typ 2 und Typ 3 auf. Mit zunehmender Wassertiefe, ab ca. 20 m geht der Typ 1 in Typ 2 über. Unterhalb einer Wassertiefe von ca. 45 m zeigt sich ein Übergang von Typ 2 zu Typ 3. In der östlichen Laptev-See dagegen dominiert Typ 3. Lediglich in küstennahen Bereichen tritt Typ 2 auf. Typ 1 dagegen ließ sich nur auf der Stolbovoy-Untiefe, der Vasilevsky-Bank und mehreren kleinen Untiefen im südöstlichen Teil der Laptev-See nachweisen, meist oberhalb einer Wassertiefe von 15 m (Abb.8).

Zusätzlich zu o.a. akustischen Untersuchungen wurden detaillierte granulometrische Untersuchungen an 48 Oberflächenproben (0-2 cm) durchgeführt, um einen Überblick über das Verteilungsmuster der modernen Oberflächensedimente der Laptev-See zu gewinnen.

Gestützt werden diese Daten von älteren amerikanischen Datensätzen. Bei diesen Untersuchungen zeigte sich ebenfalls eine deutliche Ost-West Gliederung der Laptev-See. Die vor den Flußmündungen genommenen Oberflächenproben werden überwiegend von Material <63 µm charakterisiert.

Die westliche Laptev-See wird dominiert von gröberen Sedimenten mit über 80 Gew.-% Grobfraction auf den Verebnungsflächen. Feinere Sedimente beschränken sich auf die Rinnen Olenek und Anabar-Khatanga, welche als Anzeiger der modernen Sedimentationsgebiete in der westlichen Laptev-See angesehen werden können.

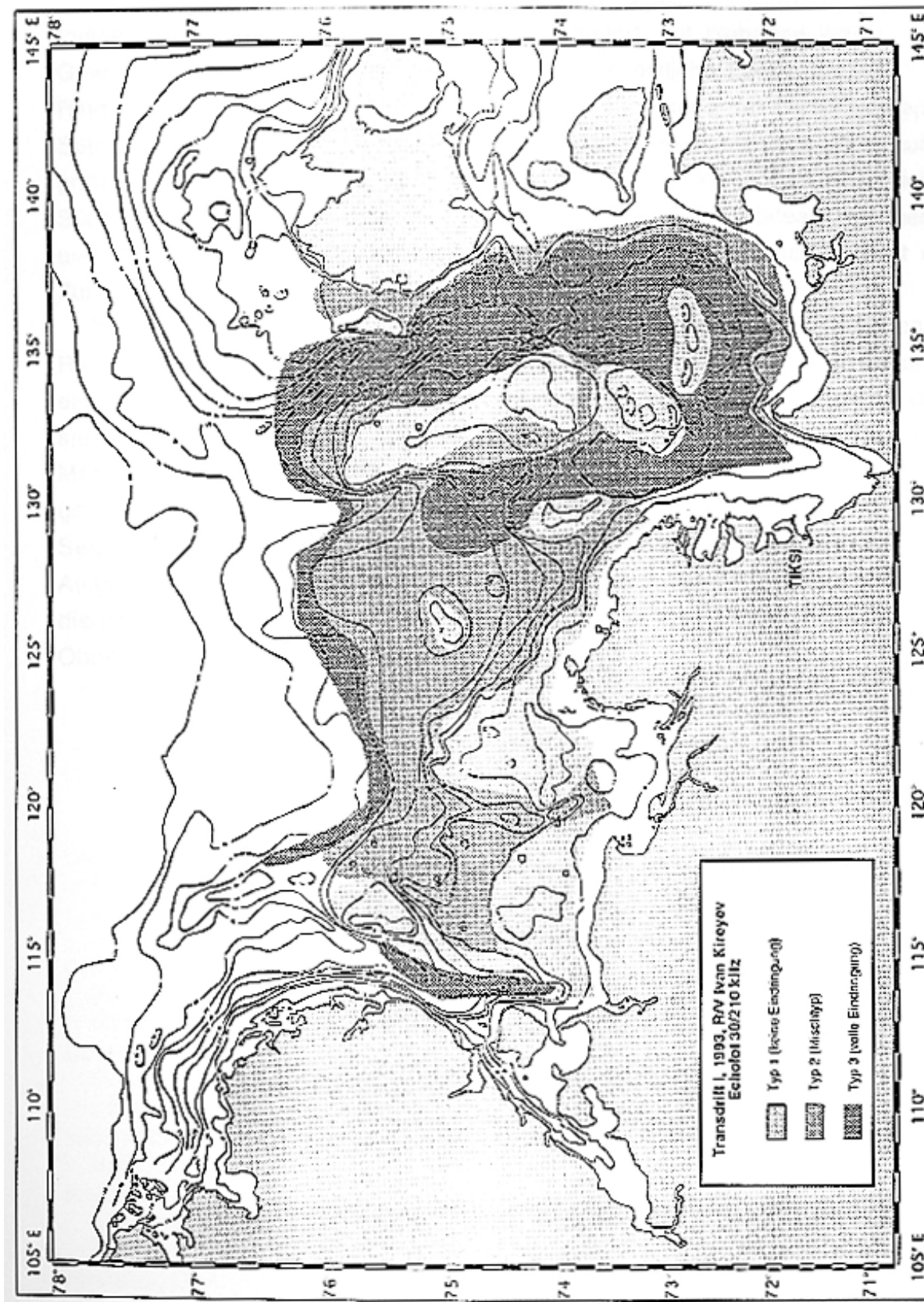


Abb. 8: Verteilungsmuster von Echo- bzw. Reflektortypen in der Laptev-See.

Im Gegensatz dazu werden große Bereiche der östlichen Laptev-See von siltig, tonigen Sedimenten der Lena und Yana dominiert, mit Gehalten von z.T. >50 Gew.%. Als Sedimentationsprovinzen können die östliche Lena- und die Yana-Rinne, sowie große Bereiche des südöstliche Teilbeckens der östlichen Laptev-See angesehen werden. Größere Sedimente beschränken sich vor allem auf die große Untiefe Stolbovoy mit der Vasilevsky Bank, einen küstennahen Bereich im Süden, sowie auf das nördlich der Insel Kotelny vorgelagerte Plateau zwischen 20 und 30 m Wassertiefe. Charakteristisch für die gesamte Laptev-See ist eine Zunahme des Tonanteils in den distalen Sedimentationsgebieten.

Der Vergleich der Verteilungsmuster der Oberflächensedimente mit denen der Reflektortypen zeigt eine gute Übereinstimmung. So zeigt sich, daß der Echotyp 1 eine überwiegend sandige Fazies repräsentiert. Typ 3 dagegen wird geprägt durch siltig-tonige Sedimente, welche die Ablagerungsräume der fluviatilen Materialfrachten kennzeichnen. Lokale Abweichungen dieser Übereinstimmung gründen auf eingeschaltete sandige Lagen, die in einigen dm Teufe in den Sedimentkernen nachgewiesen werden konnten (siehe Kernbeschreibungen). Aufgrund der Eindringung des akustischen Signals in den Meeresboden wird von diesen Lagen ein härteres Echo reflektiert, als es das Verteilungsmuster der Oberflächensedimente erwarten läßt.

ZITIERTE LITERATUR

- Aagaard, K., Swift, J.H., Carmack, E.C. (1985): Thermohaline circulation in the Arctic Mediterranean Seas. - *J. Geophys. Res.*, 90, C5: 4833-4846.
- Achman, D. R., Hornbuckle, K. C. & S. T. Eisenreich (1993): Volatilization of Polychlorinated Biphenyls from Green Bay, Lake Michigan. - *Environ. Sci. Technol.*, 27, No. 1: 75-87.
- American Chemical Society (1983): Arctic Haze. - *Environ. Sci. Technol.*, 17, No. 6.
- Barrie, L. A., Gregor, D., Hargrave, B., Lake, R., Muir, D., Shearer, R., Tracey, B. & T. Bidleman (1992): Arctic contaminants: sources, occurrence and pathways. - *The Science of the Total Environment*, 122: 1-74.
- Brownawell, B. J. & J. W. Farrington (1986): Biogeochemistry of PCBs in interstitial waters of a coastal marine sediment. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50: 157-169.
- Cattle, H. (1985): Diverting Soviet rivers: Some possible repercussions for the Arctic Ocean. - *Polar Record*, 22, No. 140: 458-498.
- Clark, D.L. (1990): Arctic ocean ice cover; geologic history and climatic significance. - In: Grantz, A., Johnson, L. & Sweeney, J.F. (Eds.): *The Arctic Ocean Region*. - Geological Society of America, *The Geology of North America*, L, Boulder, Colorado: 53-62.
- Dethleff, D., Nürnberg, D., Reimnitz, E., Saarloos, M. & Savchenko, Y.P. (1993): East Siberian Arctic Region Expedition '92: The Laptev Sea - its significance for Arctic sea-ice formation and transpolar sediment flux. - *Ber. Polarforsch.*, 120: 3-44.
- Duinker, J. C. (1980): Particulate matter in estuaries: Adsorption and desorption processes. In: Olausson, E. & Cato, I. (Eds.): *Chemistry and biochemistry of estuaries*. Wiley: 121-151.
- Duinker, J. C. (1986): The role of small, low density particles on the partition of selected PCB congeners between water and suspended matter (North Sea area). *Neth. J. Sea Res.* 20, p. 229-238.
- Duinker, J. C., Hillebrand, M. T. J., Nolting, R. F & S. Wellershaus (1982): The river Elbe: Processes affecting the behaviour of metals and organochlorines during estuarine mixing. - *Neth. J. Sea. Res.*, 15: 141-169.
- Duinker, J. C. & J. P. Boon (1986): PCB congeners in the marine environment - a review. In: Björseth, A. & Angeletti, G. (Eds.): *Organic micropollutants in the aquatic environment*. - *Proceedings of the Fourth European Symposium*, Vienna, Austria, Oct. 22.-24. 1985, Reidel, Dordrecht: 187-205.
- Duinker, J. C., Knap, A. H., Binkley, K. C., van Dam, G. H., Darrel-Rew, A. & M. T. J. Hillebrand (1988): Method to represent the qualitative and quantitative characteristics of PCB mixtures. - *Mar. Pollut. Bull.*, 19: 74-79.
- Duinker, J. C. & F. Bouchertall (1989): On the Distribution of Atmospheric Polychlorinated Biphenyl Congeners between Vapor Phase, Aerosols, and Rain. - *Envir. Sci. Technol.*, 23: 57-62.
- Gierloff-Emden, H.G. (1982): *Das Eis des Meeres*. - Walter de Gruyter, Berlin: 767-940.
- Hargrave, B. T., Vass, W. P. , Erickson, P. E. & B. R. Fowler (1989): Distribution of Chlorinated Hydrocarbon Pesticides and PCBs in the Arctic Ocean. - *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1644: 115.
- Hinckley, D. A. & T. F. Bidleman (1991): Atmospheric organochlorine pollutants and air-sea exchange of Hexachlorocyclohexane in the Bering and Chukchi Seas. - *J. Geophys. Res.*, 96, C4: 7201-7213.

- Hutzinger, O., Safe, S. & V. Zitko (1974): The Chemistry of PCBs. - CRC Press, Cleveland, Ohio.
- Jensen, S. (1966): Report of a new chemical hazard. - *New Scientist.*, 32: 612.
- Ledley, T.S. & S.L. Thomson (1986): Potential effect of nuclear war smokefall on sea ice. - *Climatic Change*, 8: 155-171.
- Lindemann, F. (1994): Sonographische und sedimentologische Untersuchungen in der Laptevsee, sibirische Arktis. - Diplomarbeit an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel: 1-75.
- Melnikov, S. A. & S. V. Vlasov (1990): A summery report on contaminant levels in the compartments of the marine environment of the Arctic Seas in 1990. - unpubl. report, AARI, St. Petersburg, Russia: 1-28.
- Muir, D. C. G, Wagemann, R., Hargrave, B. T., Thomas, D. J., Peakall, D. B. & R. J. Norstrom (1992): Arctic marine ecosystem contamination. - *The Science of the Total Environment*, 122: 75-134.
- Oehme, M. & B. Ottar (1984): The long lunge transport of polychlorinated hydrocarbons to the Arctic. - *Geophys. Res. Lett.*, 11: 1133-1136.
- Paasivirta, J., Knuutila, M. & R. Paukku (1985): Study of organochlorine pollutants in snow at north pole and comparison to the snow at north, central and south Finland. - *Chemosphere*, Vol. 14, No. 11/12: 1741-1748.
- Pacyna, J. M. & G. E. Shaw (1990): Arctic haze and air pollution. - *Proceedings of the international conference on the role of the polar regions in global change.* Fairbanks, Alaska, 1990.
- Patton, G. W., Walla, M. D., Bidleman, T. F. & L. A. Barrie (1991): Polycyclic aromatic and organochlorine compounds in the atmosphere of Northern Ellesmere Island, Canada. - *J. Geophys. Res.*, 96, D6: 10867-10877.
- Pecher, K. (1992): Schadstoffe auch in Polargebieten? Organochlorverbindungen als Indizien globaler Umweltverschmutzung. - *Geogr. Rdschau*, 4: 231-236.
- Petrick, G., Schulz, D. E. & J. C. Duinker (1988) Clean-up of environmental samples by high-performance liquid chromatography for analysis of organochlorine compounds by gas chromatography with electron-capture detection. - *Journal of Chromatography*, 435: 241-248.
- Rantanen, J. H., Silano, S., Tarkowski, S. & E. Yrjänheikki (1987): PCBs, PCDDs and PCDFs: Prevention and control of accidental and environmental exposures. - (WHO, Copenhagen, 1987): 100-104.
- Schulz, D. E. (1990): Chlorbiphenyle im Meerwasser des Nordatlantiks und der Nordsee. - *Berichte aus dem Institut für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*, 197: 1-89.
- Schulz, D. E., Petrick, G. & J. C. Duinker (1988): Chlorinated biphenyls in North Atlantic surface and deep water. - *Mar. Poll. Bull.*, 19, No. 10: 526-531.
- Schulz-Bull, D. E., Petrick, G. & J. C. Duinker (1991): Polychlorinated biphenyls in North Sea water. - *Mar. Chem.*, 36: 365-384.
- Tanabe, S. & R. Tatsukawa (1986): Distribution, behavior and load of PCBs in the oceans. In: Waid, J. S. (Ed.): *PCBs and the environment*, CRC Press, Boca Raton, Vol. 1, p. 143-162.
- Twitchell, K. (1991): The not-so-pristine Arctic, from plankton to polar bears, the food chain is contaminated by global pollution. - *Canadian Geographic*, Feb./March: 53-60.

- Untersteiner, P. (1990): Structure and dynamics of the Arctic Ocean ice cover. In: Grant, A., Johnson, L. & Sweeney, J.F. (Eds.): The Arctic Ocean Region. - Geological Society of America, The Geology of North America, Boulder, L. Colorado: 37-52.
- Van Dalen, M. & R. F. Nolting (1992): Spoor- en hoofdelementen in sediment en poriewater van het Lena-estuarium en de Laptevzee. - Netherlands Institute for Sea Research, Series data reports 1992-5: 1-79
- Welch, H. E., Muir, D. C. G., Billeck, B. N., Lockhart, W. L., Brunskill, G. J., Kling, H. J., Olson, M. P. & R. M. Lemoine (1991): Brown snow: A long-range transport event in the Canadian Arctic. - Environ. Sci. Technol., 25: 280-286.
- Wollenburg, I. (1993): Sedimenttransport durch das arktische Meereis: Die rezente lithogene und biogene Materialfracht. - Ber. Polarforsch., 127: 1-159.

RELEVANTE VERÖFFENTLICHUNGEN DER PROJEKTMITARBEITER UND MITARBEITERINNEN

Bücher

- Bleil, U. and Thiede, J. (1990): Geological history of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic. - NATO ASI series C 308, 823 pp.
- Hsü, K.J. and Thiede, J. (eds.) (1992): Use and Misuse of the Seafloor. Dahlem Workshop Reports, Environmental Sciences Research Report II. John Wiley & Sons, Chichester, New York, 440 pp.
- Kassens, H., Hubberten, H.W., Priamikov, S. and Stein, R. (1994): Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geosystem Laptev Sea. - Ber. Polarforsch., 144, 133 pp.
- Kassens, H., Karpiy, V. and the Shipboard Scientific Party (1994): Russian-German Cooperation: The Transdrift I Expedition to the Laptev Sea. - Ber. Polarforsch., 151, 168 pp.
- Pfirman, S. and Thiede, J. (1992): Arctic Deep Sea Research: The Nansen Basin Section. - Deep-Sea Res., 39 (No. 2A), 419-623.
- Thiede, J. und Hempel, G. (eds.) (1991): Die Expedition ARKTIS-VII/1 mit FS "Polarstern" 1990. - Ber. Polarforsch., 80, 137 pp.
- Thiede, J., Vorren, T.O. and Spielhagen, R.F. (1994): Arctic Ocean Marine Geology. - Mar. Geol., Special Issue 119 (3-4), 179-364.
- Vorren, T.O., Sejrup, H. and Thiede, J. (1991): Cenozoic Geology of the Northwest European Continental Margin and Adjacent Deep-Sea Areas. - Mar. Geol., Special Issue 101 (1-4), 304 pp.

Publikationen

- Bauch, H.A. (1992): First record of the genus *Beella* Banner and Blow, 1960, in upper Pleistocene sediments (past 600ka) from the Norwegian-Greenland Sea. - Micropalaeontology, 11 (1), 58.
- Bauch, H.A. (1993): Planktische Foraminiferen im Europäischen Nordmeer.- Ihre Bedeutung für die Paläo-Ozeanographische Interpretation während der letzten 600.000 Jahre. - Dissertation an der Math.-Naturwiss. Fak. Univ. Kiel.- In: Berichte des Sonderforschungsbereichs 313, 40, 108 pp.
- Bauch, H.A. (1994): *Beella megastoma* (Earland) in late Pleistocene Norwegian-Greenland Sea sediments: Stratigraphy and meltwater implication. - Journal of Foraminiferal Research, 24 (3), 171-177.
- Bauch, H.A. (1994): Significance of variability in *Turborotalita quinqueloba* (Natland) test size and abundance for paleoceanographic interpretations in the Norwegian-Greenland Sea. - Mar. Geol., 121, 129-141.
- Bauch, H.A. (in press): Monitoring Termination II at high latitude: Anomalies in the planktic record. - Mar. Geol..
- Bauch, H.A. (in press): Stratigraphic occurrence and deglacial implication of *Beella megastoma* (Earland) in Pleistocene sediments from the Norwegian-Greenland Sea. - Journal of Foraminiferal Research.
- Benthien, A. (1994): Echographiekartierung und physikalische Eigenschaften der oberflächennahen Sedimente in der Laptevsee. - Diplomarbeit, Teil 2

- (Laborarbeit) Studiengang Geologie und Paläontologie an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 80 pp.
- Bohrmann, H. (1991): Radioisotopenstratigraphie, Sedimentologie und Geochemie jungquartärer Sedimente des östlichen Arktischen Ozeans. - Ber. Polarforsch., 95, 133 pp.
- Dethleff, D. (1992): GEOMAR's E.S.A.R.E.'92 expedition to the Laptev Sea. - The Nansen Icebreaker, 3, 8.
- Dethleff, D. (1994): Dynamics of the Laptev Sea flaw lead. - In: Kassens, H. Hubberten, H.W., Priamikov, S. and Stein, R. (eds.): Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo-System Laptev Sea. - Ber. Polarforsch., 144, 49-54.
- Dethleff, D. (1994): Polynyas as a Possible Source for Enigmatic Bennett Island Atmospheric Plumes. - In: Johannessen, O.M., Muench, R. D. and Overland, J. E. (eds.): The Polar Oceans and their Role in Shaping the Global Environment. Nansen Centennial Volume. Geophysical Monograph, 85, 475-484.
- Dethleff, D., Kleine, E. and Löwe, P. (in press): Oceanic heat flux, sea ice formation and sediment dynamics in a turbulent Siberian flaw lead. - Advanced Study Institute Summer School on Physics of Sea-Ice Covered Seas, Savonlinna, June 6-17, 1994, Proceedings of the University of Helsinki, Department of Geophysics.
- Dethleff, D., Nürnberg, D., Reimnitz, E., Saarloos, M. and Savchenko, Y. P. (1993): The Laptev Sea - Its Significance for Arctic Sea Ice Formation and Transpolar Sediment Flux. - In: Arctic Expeditions: Laptev Sea and Barents Sea. - Ber. Polarforsch., 120, 3-48.
- Francheteau, J. and Thiede, J. (1992): New Concepts from the Deep-Oceans: Inspiration for and from Earth Sciences. - In: Hsü, K.J. and Thiede, J. (eds.): Use and Misuse of the Seafloor, Dahlem Workshop Reports, Environmental Sciences Research Report II, John Wiley & Sons, Chichester, New York, 29-85.
- Fütterer, D.K. (1994): Die Expedition ARCTIC '93. Der Fahrtabschnitt ARK-IX/4 mit FS "Polarstern" 1993. - Ber. Polarforsch., 149, 244 pp.
- Fütterer, D.K. and Arctic '91 Shipboard Scientific Party (eds.) (1992): The Expedition ARK-VIII/3 of RV POLARSTERN in 1991. - Ber. Polarforsch. 107, 267 pp.
- Henrich, R. and Thiede, J. (1991): Sedimentary facies of glacial-interglacial cycles in the Norwegian Sea during the last 350 ka-reply. - Mar. Geol., 96, 134-136.
- Hölemann, J. (1993) Autochthones und allochthones organisches Material in den känozoischen Sedimenten der Norwegischen See. - Dissertation an der Math.-Naturwiss. Fak. Univ. Kiel, 78 pp.
- Hölemann, J.A. and Henrich, R. (1994): Allochthonous versus autochthonous organic matter in Cenozoic sediments of the Norwegian Sea: Evidence for the onset of glaciations in the northern hemisphere. - Mar. Geol., 121, 87-103.
- Hölemann, J. and Shipboard Scientific Party (in prep.): Distribution of trace elements in the aquatic environment of the Laptev Sea.
- Hölemann, J. and Shipboard Scientific Party (in prep.): Geochemistry of the surface sediments of the Laptev Sea.
- Kassens, H. (1992): Arctic Sea Ice, Geological and Climatological Significance at Present and in the Past. - Intern. Geosphären-Biosphären Programm, Informationsbrief Nr. 8, 16.
- Kassens, H. (1993): Durch die Nordostpassage in die Eisfabrik der Arktis. DGM-Mitteilungen, 4, 6-8.

- Kassens, H. (1994): Durch die Nordostpassage in die Eisfabrik der Arktis: Ein hoffnungsvoller Beginn der Zusammenarbeit zwischen russischen und deutschen Meeresforschern in der Laptev-See. - Mittlg. Kieler Polarf. 9, 4-5.
- Kassens, H., Spielhagen, R. und Thiede, J. (1992): Internationale Arctic-91 Expedition hebt einen Schatz am Nordpol. - Mittlg. Kieler Polarf., 7, 14-18.
- Kassens, H. and Thiede, J. (1994): Climatological Significance of Arctic Sea Ice at Present and in the Past. - In: Kassens, H., Hubberten, H.W., Priamikov, S., Stein, R. (eds.): Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo-System Laptev Sea. - Ber. Polarforsch. 144, 81-85.
- Kassens, H. and the Transdrift I Shipboard Scientific Party (1994): Along the Northern Sea Route into the Ice Factory of the Arctic Ocean. - The Nansen Ice Breaker, 6, 4-7.
- Letzig, T. (1993): Meereistransportiertes lithogenes Feinmaterial in spätquartären Tiefseesedimenten des zentralen östlichen Arktischen Ozeans und der Fram-Straße. - Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 98 pp.
- Lindemann, F. (1994): Sonographische und sedimentologische Untersuchungen in der Laptevsee, sibirische Arktis. - Diplomarbeit, Teil 2 (Laborarbeit) Studiengang Geologie und Paläontologie an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 75 pp.
- Mienert, J., Kenyon, N.H., Thiede, J. and Hollender, F.-J. (1993): Polar Continental Margins: Studies off East Greenland. - EOS, Trans. Amer. Geophys. Union, 74 (20), 225, 231, 234, 236.
- Myhre, A.M. and Thiede, J. (1993): North Atlantic gateways 1. Leg 151 Preliminary Report. - Ocean Drilling Program, Preliminary Report No. 51, 73 pp.
- Myhre, A.M., Thiede, J. and Firth, J. (1993): North Atlantic gateways. - Science Operator Prospectus Leg 151, 19 (2), 27-31.
- Nürnberg, D. and Groth, E. (1993): Expedition to Novaya Zemlja and Franz Josef Land with RV "Dalnie Zelentsy". - In: Arctic Expeditions: Laptev Sea and Barents Sea. - Ber. Polarforsch., 120, 49-74.
- Nürnberg, D., Wollenburg, I., Dethleff, D., Eiken, H., Kassens, H., Letzig, T., Reimnitz, E. and Thiede, J. (1994): Sediments in Arctic sea-ice: Implications for entrainment, transport and release. - Mar. Geol., 119 (3-4), 185-214.
- Pagels, U. (1991): Sedimentologische Untersuchungen und Bestimmung der Karbonatlösung in spätquartären Sedimenten des östlichen Arktischen Ozeans. - GEOMAR Report 10, 106 pp.
- Pfirman, S. and Thiede, J. (1992): Bathymetrie und Plattentektonik der Fram-Straße zwischen Grönland und Svalbard. Schlüsselregion für die geologische Geschichte der Arktis. - Geogr. Rdsch., 44 (4), 237-244.
- Pfirman, S. and Thiede J. (1992): Introduction. Arctic Deep-Sea Research: The Nansen Basin Section. - Deep-Sea Res., 39 (No. 2A), 419-423.
- Reimnitz, E. (1994): The Laptev Sea shelf ice regime from a western perspective. - In: Kassens, H. Hubberten, H.W., Priamikov, S. and Stein, R. (eds.): Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo-System Laptev Sea. - Ber. Polarforsch., 144, 45-48.
- Reimnitz, E., Dethleff, D. and Nürnberg, D. (1994): Contrasts in Arctic shelf sea-ice regimes and some indications: Beaufort versus Laptev Sea. - Mar. Geol., 119 (3/4), 215-226.

- Reimnitz, E., Dethleff, D. and Nürnberg, N. (in prep.): Contrasting Continental Shelf Sea-Ice Regimes: Compressional North America Versus Dilational Siberia.
- Reimnitz, E. and Kempema, E.W. (1984): Pack ice interaction with stamukhi shoal, Beaufort Sea, Alaska. - In: Barnes W., Schell, D.M. and Reimnitz, E. (eds.): The Alaskan Beaufort Sea - ecosystems and environment. Academic Press, Orlando, Florida, 159-184.
- Spielhagen, R.F. and Thiede, J. (1994): Late Quaternary changes in the Arctic Ocean ice cover. - In: Kassens, H. Hubberten, H.W., Priamikov, S. and Stein, R. (eds.): Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo-System Laptev Sea, Ber. Polarforsch., 144, 101-106.
- Tarasov, G. A., Spielhagen, R. and Grobe, H. (1992): Features of terrigenous material transport by ice in polar sedimentation. - In: Polar Session: Arctic Natural Environment Problems, Spitsbergen Geographical Expeditions, 5, 81-87.
- Thiede, J. (1992): The Oceans-Agents and Monitors of Global Change. - Intern. Geosphären-Biosphären Programm, Informationsbrief Nr. 8, 16.
- Thiede, J. (1994): Challenge of high latitude deep sea drilling. - Oceanus, 36 (4), 62-65.
- Thiede, J., Clark, D.L. and Herman, Y. (1990): Late Mesozoic and Cenozoic paleoceanography of the northern polar oceans. - In: Grantz, A. Johnson, L., and Sweeney, J.F. (eds.): The Arctic Ocean region. The Geology of North America, Vol. L. Boulder, Colorado, Geological Society of America, 427-458.
- Thiede, J. and Fütterer, D.K. (1994): The Nansen Arctic Drilling Programme (NAD). - In: Kassens, H. Hubberten, H.W., Priamikov, S. and Stein, R. (eds.): Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo-System Laptev Sea, Ber. Polarforsch., 144, 111-114.
- Thiede, J. and Hsü, K.J. (1992): On the Future of Ocean Resources. Summary Chapter. - In: Hsü, K.J. and Thiede, J (eds.): Use and Misuse of the Seafloor. Dahlem Workshop Reports, Environmental Sciences Research Report II, John Wiley & Sons, Chichester, New York, 403-416.
- Thiede, J. and NAD Sci. Comm. (1992): The Arctic Ocean Record: Key to Global Change. - JOIDES Journal, 18 (1), 15-19.
- Thiede, J. and Sci. Comm. (1992): The Arctic Ocean Record: Key to Global Change (Initial Science Plan). - Polarforschung, 61 (1), 102 pp.
- Wollenburg, I. (1991): Sedimenttransport durch das Arktische Meereis. Die rezente lithogene und biogene Materialfracht. Dissertation - Universität Kiel, 151 pp.
- Yoon, S.H., Chough, S.K., Thiede, J. and Werner, F. (1991): Late Pleistocene sedimentation on the Norwegian continental slope between 67° and 71° N. - Mar. Geol., 99, 187-207.

Tagungsbeiträge

- Bauch, H.A. (1990): Vertikale Verteilung planktischer Foraminiferen als Anzeiger für spätglaziale Klimawechsel im Europäischen Nordmeer. - Nachrichten Deutsche Geologische Gesellschaft, Bremen, 3-6 Oktober 1990, 43, 113.
- Bauch, H.A. (1992): Beella megastoma (Earland) in the Norwegian-Greenland Sea: evidence for rapid incursions of North Atlantic water during deglaciations. - EOS, Trans. Amer. Geophys. Union, Fall Meeting, San Francisco, USA, 7.-11. Dezember 1992, 274.

- Bauch, H.A. (1992): Test size variations of planktic foraminifers as response to climatic changes. - Fourth International Conference on Paleoceanography, Kiel, Germany, GEOMAR Report 15; Berichte - Reports, Geol.-Palaeont. Inst. Univ. Kiel, 56.
- Bauch, H.A. (1994): Events of paleoceanographic irregularities during Northern N. Atlantic post-glacial transitions. - FORAM '94, Berkeley CA, USA, 5.-9.7.1994.
- Bauch, H.A. and Struck, U. (1993): Planktic/benthic coupling in high latitudes: the record of the past 550ky. - Nansen Centennial Symposium, Solstrand-Bergen, Norway, 21.-25. Juni 1993.
- Bauch, H.A., and Thiede, J. (1993): Injections of Atlantic water into the Norwegian-Greenland Sea during early deglaciations: a trigger for early ice-sheet decay? - EUG VII, Strasbourg, 4.-8. April 1993, Terra Abstracts Supplement, no. 1 to Terra Nova, 5, 710.
- Bauch, H.A. and Weinelt, M.S. (1994): Comparative investigations of high latitude late Pleistocene and Holocene subpolar foraminiferal stratigraphy and paleoceanography. - FORAM '94, Berkeley CA, USA, 5.-9.7.1994.
- Baumann, K.-H., Wolf, T.C.W. and Thiede, J. (1992): Abrupt paleo-climatic and -oceanographic interactions in the Norwegian Sea since 1 Ma (ODP Leg 104, Site 643). - 82nd Ann. Mtg. Geologische Vereinigung, Stuttgart, 26.-29. Februar 1992.
- Baumann, K.-H., Wolf, T.C.W. and Thiede, J. (1992): Late Quaternary climatic changes. The Nansen Gakkel Ridge record. - 82 nd Ann. Mtg., Geologische Vereinigung, Stuttgart, 26.-29. Februar 1992.
- Bergmann, U. und Kassens, H. (1992): Hochauflösende elektrische Widerstandsmessungen an arktischen Sedimenten: Eine effiziente Methode zur Bestimmung von Porositäts- und Dichtelogs. - 52. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Leipzig, 30.3. bis 3.4. 1992.
- Bergmann, U., Kassens, H. and Arctic '91 Shipboard Scientific Party (1992): Evaluation of porosity and wet bulk density of Arctic deep sea sediments by high resolution measurements of electric resistivity. - Fourth International Conference on Paleoceanography, Kiel, Germany, GEOMAR Report 15; Berichte - Reports, Geol.-Palaeont. Inst. Univ. Kiel, 57.
- Bohrmann, H., Botz, R., Stoffers, P. and J. Thiede (1991): Late Quaternary climatic changes - The Gakkel Ridge record.- Arctic Ocean. - Second Annual Workshop PONAM: Polar North Atlantic Margins, Late Cenozoic Evolution. Hanstholm, Dänemark, 25.-28. November 1991. Abstract.
- Bohrmann, H., Botz, R., Stoffers, P. und J. Thiede (1991): Radioisotopische Altersbestimmung an Sedimenten des Nansen-Gakkel-Rückens (Arktischer Ozean). - 16. Internat. Polartg. Göttingen 10.-13.4.1991. Dtsch. Ges. Polarforschung.
- Bohrmann, H., Botz, R., Stoffers, P. and Thiede, J. (1992): Late Quaternary climatic changes - The Nansen-Gakkel-Ridge record. - Sea level changes Processes and Products. Stuttgart, 26.-29. Februar 1992.
- Bohrmann, H. W. , Botz, R., Stoffers, P. and Thiede, J. (1992): Late Quaternary Arctic Sediments as Indicators for Different Ice Coverage. - Fourth International Conference on Paleoceanography, Kiel, Germany, GEOMAR Report 15; Berichte - Reports, Geol.-Palaeont. Inst. Univ. Kiel, 57.
- Bohrmann, H. W., Spielhagen, R. F., Koehler, S., Pagels, U. and Thiede, J. (1992): Evidence from deep-sea sediments for Eurasian shelf glaciation history. - Int. Conf. on Arctic Margins, Anchorage, USA, September 2-4, 1992.

- Brückmann, W., Thiede, J., Wolf, T.C.W., Brenner, W. and Mienert, J. (1992): Mapping spatial and temporal variability of cenozoic sediment flux in the N-Atlantic: New insights from old data?. - The tectonics, sedimentation and paleoceanography of the North Atlantic region, Edinburgh, September 28-29, 1992.
- Dehn, J., Kassens, H., Cremer, H., Hölemann, J., Kunz-Pirrung, M., Peregovitch, B., and the Transdrift II Shipboard Scientific Party (1994): Regional and Temporal Changes in the Sediments of the Laptev Sea: Initial Results of the 1994 Transdrift II Cruise. - Second Workshop on Russian-German Cooperation: Laptev Sea System, St. Petersburg, Russland, 21.-24. November 1994.
- Dethleff, D. (1991): Möglichkeiten der Charakterisierung von Redoxmilieus in Porenwässern ästuariner Sedimente und die Bestimmung von Spurenmetallkonzentrationen mit Hilfe voltammetrischer Meßmethoden. 2. Workshop 1991 des Graduierten-Kolleg: "Stoffflüsse in marinen Geosystemen" der Universität Bremen, Bremen 1991; Thema: Frühdiagenetische Prozesse, 1991.
- Dethleff, D. (1994): Das arktische Meereis - Ein Faktor im globalen Stoffkreislauf. - Workshop "Frühdiagenetische Prozesse in aquatischen Milieus und Böden", Kiel, 3-6 Mai, 1994.
- Dethleff, D. (1994): Rezente Meereis- und Sedimentationsdynamik der sibirischen Schelfmeere. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Sülldorf, 30. März 1994.
- Dethleff, D., Hansen, J., Kassens, H., Melnikov, S., Nürnberg, D., Petrick, G., Reimnitz, E., Schulz, D. E., Thiede J. and Vlasov, S. (1992): Anthro-chemical pollutants: Tracers for Arctic sea ice dynamics? (Preliminary Results from E.S.A.R.E.'92 and AARI Research Program 1990). - Fourth International Conference on Paleoceanography, Kiel, Germany, GEOMAR Report 15; Berichte - Reports, Geol.-Palaeont. Inst. Univ. Kiel, 57.
- Dethleff, D., Kleine, E. and Löwe, P. (1994): Oceanic heat flux, sea ice formation and sediment dynamics in a turbulent Siberian flaw lead. Physics of ice-covered Seas - summer school in Savonlinna, Finland 6-17 June 1994.
- Dethleff, D., Nürnberg, D., Petrick, G., Reimnitz, E. and Schulz, D.E. (1992): Anthro-organo-chemical pollutants: Tracers for recent Arctic sea-ice dynamics and transpolar sediment flux? - PONAM Third Annual Workshop, Wildeshausen, Germany, November 23-26, 1992.
- Dethleff, D., Nürnberg, D., Petrick, G., Reimnitz, E. and Schulz, D.E. (1993): The Laptev Sea Polynya: Arctic sea-ice factory and source for transpolar flux of sediments and anthropogenic pollutants? - International Workshop on Arctic Polynyas, Seattle, Washington, U.S.A, January 11-13, 1993.
- Dethleff, D., Nürnberg, D., Petrick, G., Reimnitz, E. and Schulz-Bull, D.E. (1993): Tracking Nansen's Transpolar Drift By Anthro-Organo-Chemical Pollutants In Arctic Sea-Ice? - Nansen Centennial Symposium, Solstrand-Bergen, Norway, June 21-24, 1993.
- Eicken, H., Viehoff, T., Martin, T., Dethleff, D., Reimnitz, E. and Alexandrov, V. (1994): Sea-Ice Processes in the Laptev Sea, a Major Source Area of the Transpolar Drift. - Third Circumpolar Symposium on Remote Sensing of Arctic Environments, Fairbanks, Alaska, May 16-20, 1994.
- Hölemann, J., Dethleff, D., Kassens, H., Reimnitz, E. and Thiede, J. (1993): Ice factory Laptev Sea Polynya: paleoceanographic significance at present and in the

- past, Third international Symposium. - The Arctic Estuaries and Adjacent Seas: Biogeochemical Processes and Interaction with Global Change, Svetlogorsk 19.-25. April 1993.
- Hommers, H., Bauch, H.A., Michels, K. and Thiede, J. (1994): Planktische Foraminiferen hoher Breiten: Untersuchungen der morphologischen und geochemischen Variabilität im atlantischen Sektor während glazial-interglazialer Klimawechsel. - DFG-Kolloquium 'Sedimentation in polaren Gewässern', Bremerhaven, 13.-14.1.1994.
- Johnson, G.L., Thiede, J., Blasco, S. and Mayer, L. (in press): Arctic Drilling, EOS, Trans. Amer. Geophys. Union.
- Johnson, G.L., Thiede, J. and Vorren, T. (1992): Nansen Arctic Drilling Program. 22nd Arctic Workshop at Boulder, 74-75, March 5-7, 1992.
- Kassens, H. (1992): Geotechnische Parameter von Tiefseesedimenten: Hinweise auf kurzfristige Klimaveränderungen im Spätquartär. - Geologisch-Paläontologisches Kolloquium der Universität Kiel.
- Kassens, H. (1992): Sedimentphysikalische Eigenschaften von arktischen Tiefseesedimenten. - Kolloquium des Sonderforschungsbereiches 313 der Universität Kiel, 1992.
- Kassens, H. (1994): Die Laptev-See: Schlüsselgebiet für globale Umweltveränderungen. - Polarökologisches Kolloquium, Kiel, 16.5.1994.
- Kassens, H., Bauch, H. and Hölemann, J. (1994): The Laptev Sea System: A Key to Arctic Ocean History. - EOS, Trans. Amer. Geophys. Union Fall Meeting, San Francisco, USA, Vol. 75, 44.
- Kassens, H., Bauch, H., Hölemann, J. und Thiede, J. (1994): Russisch-deutsche Zusammenarbeit auf den sibirischen Schelfgebieten: Geosystem Laptev-See. 2. Workshop Meeres-Geowissenschaften, Rostock, Deutschland, 25. bis 26. April 1994.
- Kassens, H., Dethleff, D., Nürnberg, D., Reimnitz, E. and Thiede, J. (1993): The Laptev Sea Polynya: ice factory and sediment source for the transpolar drift. - Nansen Centennial Symposium, Solstrand-Bergen, Norway, June 21-25, 1993.
- Kassens, H., Dethleff, D., Nürnberg, D. and Thiede, J. (1992): Arctic Sea Ice Sediments: Climatological Significance at Present and in the Past. - EOS, Trans. Amer. Geophys. Union Fall Meeting, San Francisco, USA, 283.
- Kassens, H., Moran, K. and Mosher, D.C. (1992): Physical properties of sediments from the Arctic '91 North Pole expedition, GAC/AGC - MAC/AMC Joint Annual Meeting, Geoscience Canada and the Canadian Mineralogist, Volume 17, A54, 25.-27. May 1992.
- Kassens, H., Mosher, D., Moran, K. and Arctic Shipboard Scientific Party (1992): Physical properties of sediments from the Arctic '91 North Pole expedition. - Deuqua '92, Kiel, Germany, 12.-21. September 1992.
- Kassens, H., Mosher, D., Moran, K. and Arctic '91 Shipboard Scientific Party (1992): Physical properties of Late Quaternary central Arctic deep sea sediments: Paleoceanographic significance. - Fourth International Conference on Paleoceanography, Kiel, Germany, GEOMAR Report 15; Berichte - Reports, Geol.-Paläont. Inst. Univ. Kiel, 57.
- Kassens, H., Nürnberg, D., Bohrmann, H., Dethleff, D. and Thiede, J. (1992): Sediment dynamics of the Arctic sea ice. - GAC/AGC - MAC/AMC Joint Annual

- Meeting, Geoscience Canada and the Canadian Mineralogist, 17, A84, 25.-27. May 1992.
- Kassens, H. und die Teilnehmer der Transdrift I Expedition (1994): Russisch-deutsche Zusammenarbeit im Gebiet der Nordostpassage: Geosystem Laptev-See. - Kolloquium im Schwerpunkt Antarktisforschung mit vergleichenden Untersuchungen in arktischen Eisgebieten, Bremerhaven, Deutschland, 13. bis 14. Januar 1994.
- Kassens, H. and Transdrift Shipboard Scientific Party (1994): The Laptev Sea Sediment Cover and its Variability. - Second Workshop on Russian-German Cooperation: Laptev Sea System, St. Petersburg, Russland, 21.-24. November 1994.
- Letzig, T. (1991): Lithogenic finefraction in Late Quaternary sediments of the Arctic Ocean. - EUG VI, Strasbourg, March 24-28, 1991.
- Letzig, T. (1991): Variations of Arctic Sea Ice Cover in Late Quaternary: Indications from lithogenic finefraction of deep-sea sediments. - Göttingen: 16. Internationale Polartagung, Deutsche Gesellschaft für Polarforschung, 10.-13. Mai 1991.
- Letzig, T., Lange, H. and Thiede, J. (1992): Sedimentological Indicators of Sea Ice Cover in Arctic Deep-Sea Sediments. - Fourth International Conference on Paleoceanography, Kiel, Germany, GEOMAR Report 15; Berichte - Reports, Geol.-Palaeont. Inst. Univ. Kiel, 57.
- Lindemann, F., Kassens, H., Thiede, J., and the Transdrift I Shipboard Scientific Party (1994): Evidence of Grounded Ice in the Western Laptev Sea. - Second Workshop on Russian-German Cooperation: Laptev Sea System, St. Petersburg, Russland, 21.-24. November 1994
- Nowaczyk, N.R., Eisenhauer, A., Frederichs, T., Gard, G., Hubberten, H., Kassens, H., Mangini, A., Nørgaard-Pedersen, N., Spielhagen, R.F., Stein, R. and Arctic '91 Shipboard Scientific Party (1992): A high-resolution 400,000 years sedimentary record of the Lomonosov Ridge (Central Arctic Ocean). - Fourth International Conference on Paleoceanography, Kiel, Germany, GEOMAR Report 15; Berichte - Reports, Geol.-Palaeont. Inst. Univ. Kiel, 57.
- Nürnberg, D. and Baumann, K.-H. (1991): Oceanographic evolution of the North Atlantic surface water masses - indications by planktonic foraminiferal test magnesium chemistry. - Second Annual Workshop PONAM: Polar North Atlantic Margins, Late Cenozoic Evolution, Hanstholm, Dänemark, 25.-28. November 1991.
- Nürnberg, D., Bohrmann, H., Dethleff, D., Kassens, H. and Thiede, J. (1992): Sediment dynamics of the Arctic sea-ice. - Geological Association of Canada, Joint annual Meeting, Wolfville, Nova Scotia, Canada, 1992.
- Nürnberg, D. and Dethleff, D. (1991): Sediment dynamics of the Arctic sea ice (First results from the RV "Polarstern" North Pole Expedition). - Second Annual Workshop PONAM: Polar North Atlantic Margins, Late Cenozoic Evolution, Hanstholm, Dänemark, 25.-28. November 1991.
- Nürnberg, D. and Dethleff, D. (1992): Sediment dynamics of the arctic sea ice (first results from the RV "Polarstern" North Pole Expedition).- Deutsche Quartärgeologische Tagung, Kiel, Germany, September 1992.
- Nürnberg D., Dethleff, D., Eiken, H., Kassens, H., Letzig, T., Reimnitz, E., Stein, R., Thiede, J. and Wahsner, M. (1993): Sediment inclusions in sea ice from the Laptev Sea and the central Arctic Ocean. - Nansen Centennial Symposium. Solstrand-Bergen-Norway, June 21-25, 1993.

- Nürnberg, D., Dethleff, D., Kassens, H., Letzig, T., Reimnitz, E. and Thiede, J. (1992): Sediment in the Arctic sea-ice. - PONAM Third Annual Workshop, Wildeshausen, Germany, November 23-26, 1992.
- Nürnberg, D., Dethleff, D., Kassens, H., Letzig, T., Reimnitz, E. and Thiede, J. (1992): Sediments in the Arctic sea ice. - Fourth International Conference on Paleoceanography, Kiel, Germany, GEOMAR Report 15; Berichte - Reports, Geol.-Palaeont. Inst. Univ. Kiel, 57.
- Reimnitz, E., Dethleff, D. and Nürnberg, D. (1994): The Danger of Extrapolating from Beaufort Sea Knowledge to Other Shallow Arctic Shelf Settings. - AGU Oceans Sciences Meeting, EOS, Trans. Amer. Geophys. Union, January 18, 1994, Vol. 75, No. 3.
- Reimnitz, E., Dethleff, D., Nürnberg, D. and Savchenko, Y. P. (1992): The Laptev Sea as sediment source for the Transpolar Drift? - PONAM Third Annual Workshop, Wildeshausen, Germany, November 23-26, 1992.
- Reimnitz, E., Dethleff, D., Nürnberg, D. and Savchenko, Y.P. (1992): The Laptev Sea as sediment source for the Transpolar Drift?. - Fourth International Conference on Paleoceanography, Kiel, Germany, GEOMAR Report 15; Berichte - Reports, Geol.-Palaeont. Inst. Univ. Kiel, 57.
- Smith, R., Moran, K., Mosher, D.C. and Kassens, H. (1992): Stress history of sediments from the Lomonosov Ridge. - GAC/AGC - MAC/AMC Joint Annual Meeting, Geoscience Canada and the Canadian Mineralogist, 17, A102, 25.-27. May 1992.
- Spielhagen, R.F and Bauch, H.A. (1993): High-resolution of deglacial changes in the Fram Strait. - EUG VII, Strasbourg, 4-8 April 1993, Terra Abstracts Supplement, no. 1 to Terra Nova, 5, 718.
- Spielhagen, R.F., Bohrmann, H., Köhler, S., Pagels, U., Thiede, J., Eisenhauer, A. and Mangini, A. (1992): Sedimentation, ice covers and surface water mass properties in the eastern and central Arctic Ocean in the Late Quaternary. - Geological Association of Canada, Annual Meeting, Wolfville (Nova Scotia), Canada, May 25-27, 1992.
- Spielhagen, R.F., Köhler, S., Pagels, U. and Thiede, J. (1991): Changes in Arctic Ocean surface water properties and ice covers in response to global climate change during the last 20,000 years. - EOS, Trans. Amer. Geophys. Union Fall Meeting, San Francisco, USA, 9.-13. Dezember 1991, Vol. 72, 238.
- Struck, U. and Bauch, H.A. (1994): Plankton versus benthos: Glacial/interglacial paleoproductivity in the Norwegian-Greenland Seas. - FORAM '94, Berkeley CA, USA, 5.-9.7.1994.
- Tarasov, G., Spielhagen, R. and Grobe, H. (1992): Lodowy transport terrygeniczny. - Problemy Srodowiska Naturalnego Arktyki, Lublin, Polen, June 1, 1992.
- Thiede, J. (1992): Das Europäische Nordmeer: Geschichte seiner Oberflächenwassermassen und Steuerung des Klimas auf der nördlichen Hemisphäre. - Vortrag am AWI, 25. Februar 1992.
- Thiede, J. (1992): Klimageschichte: Von der eisfreien zur vereisten Arktis. - Jahreshauptversammlung der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde, Hamburg, 10. Juni 1992.
- Thiede, J. (1992): The North Atlantic: Geological history of a young gateway between the tropics and the Arctic. - The tectonics, sedimentation and paleoceanography of the North Atlantic region, Edinburgh, September 28-29 1992.

- Thiede, J. (1992): Paleoceanography of the Norwegian-Greenland Sea during the past 300,000 years. - 29. Tömte Seminar, 26.-28. März 1992.
- Thiede, J. (1992): Quaternary paleoceanography: The Arctic Ocean and the Norwegian Greenland Sea. - 7. Danske Havforskermøde. Dansk Nationalråd for Oceanologi. Århus, 21.-25. Januar 1992.
- Thiede, J. (1992): Tiefseebohrungen in den hohen nördlichen Breiten: Geschichte der marinen und kontinentalen känozoischen Eisbedeckung. - Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Halle, 144, 1.-2. Oktober 1992.
- Thiede, J. (1992): Veränderungen der Umwelt: Der nördliche Nordatlantik. Forschungsansatz eines Sonderforschungsbereiches. - 7. Treffen deutschsprachiger Sedimentologen, Berlin, 31. Mai - 4. Juni 1992.
- Thiede, J. (1993): Arctic paleoceanographies. - Nansen Centennial Symposium, Solstrand-Bergen, Norway, 21-25 Juni 1993.
- Thiede, J. (1993): Late Cenozoic evolution of the climate. - Centenary of the present edifice of the Geological Museum, Copenhagen University, May 4-6, 1993.
- Thiede, J. (1993): North Atlantic Arctic Gateways. - ODP Working Group 6, Bremen, 4. Oktober, 1993.
- Thiede, J. (1993): Ocean sediment fluxes - long-term trends and variability. - L.P. ZONENSHAIN Memorial Conference on Plate Tectonics, Nov. 17-20, 1993.
- Thiede, J. (1993): Ocean sediment fluxes.- Moskau: Russische Akademie der Wissenschaften, internationales Symposium anlässlich des 130. Geburtstages von V.I. Vernadsky, 11 März 1993.
- Thiede, J. (1993): Quaternary paleoceanology: the Arctic Ocean and the Norwegian-Greenland Seas. - Syvende danske havforskermøde, February 15-16, 1993.
- Thiede, J. (1993): The question for the history of the Cenozoic northern hemisphere ice cores. - 5th World Wilderness Congress, "Wild Nature and Sustainable Living in Circumpolar Regions", Tromsø, Norwegen, September 24 - Oct. 1, 1993.
- Thiede, J. (subm.): First scientific drilling in the Arctic Ocean. - EOS Trans. Amer. Geophys. Union.
- Thiede, J., Bischof, J., Kubisch, M. and Spielhagen, R. (1991): Short and long term variability of the Arctic and the sub-Arctic sea ice cover and its climatic impact. - Intern. Conf.: Ocean, Climate, Man. Turino, 15-17 April 1991.
- Thiede, J., Bischof, J., Spielhagen, R.F. und Wolf, T. (1992): Vereisungsgeschichte des Europäischen Nordmeeres. - DEUQUA '92, Meeting German Society of Quaternary Geology, Kiel, Germany, September 15-17, 1992.
- Thiede, J., Brückmann, W., Brenner, W., Mienert, J., Wolf, T.C.W., Dettmer, A. and Schmidt, K.U. (1993): Ocean Sediment Fluxes: Spatial and Temporal Variability in the Atlantic Ocean. - DFG-SPP-ODP/DSDP-Kolloquium Freiberg, 10.-12. März 1993, (abstract vol.): 83.
- Thiede, J., Dethleff, D., Kassens, H. and Reimnitz, E. (1993): Ice factory Laptev Sea polynya: Paleoceanographic significance at present and in the past. - Third International Symposium 'The Arctic Estuaries and Adjacent Seas Biogeochemical Processes and Interaction with Global Change', Svetlogorsk/Kaliningrad, Russia, April 25-29, 1993.
- Thiede, J. and Myhre, A. (1993): Arctic Ocean palaeoenvironments: Cenozoic transition from pre-glacial to glacial modes. - Arcto-Tertiary '93 Workshop, University of East London, London, Nov. 12-13, 1993.

- Thiede, J. and Myhre, A. (1993): Recent advances in Arctic deep-sea drilling (ODP Leg 151). - L.P. ZONENSHAIN Memorial Conference on Plate Tectonics, Nov. 17-20, 1993.
- Wolf, T.C.W., Baumann, K.-H., Schulz, M. and Thiede, J. (1993): Response to climatic changes in the Norwegian Sea: Pleistocene plankton and terrigenous sediment records (ODP Leg 104 Site 643). - EUG VII, Strasbourg, 4.-8. April 1993, Terra Abstracts Supplement, no. 1 to Terra Nova, 5, 719.
- Wolf, T.C.W., Brenner, W., Mienert, J. and Thiede, J. (1993): Biostratigraphic dating using progressive graphic age-depth correlations of DSDP/ODP Sites in the Cenozoic Atlantic Ocean. - EUG VII, Strasbourg, 4.-8. April 1993, Terra Abstracts Supplement, no. 1 to Terra Nova, 5, 719.
- Wolf, T.C.W., Spielhagen, R., Henrich, R. and Thiede, J. (1991): Quaternary Rapid and Abrupt Terrigenous Cycles in the Arctic-Norwegian-Greenland Seas. - Second Annual Workshop PONAM: Polar North Atlantic Margins, Late Cenozoic Evolution, Hanstholm, Dänemark, 25.-28. November 1991.
- Wolf, T.C.W. and Thiede, J. (1991): Temporal changes of Antarctic and Arctic Cenozoic seaicecovers.- Internat. Conf. Antarctic Science Global Concerns. Bremen, 23.-27. September 1991.