

# **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 km<sup>2</sup>. 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 Grundausstattung 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