

# Russisch-Deutsche Zusammenarbeit: System Laptev-See 2000

---

## Abschlussbericht



BMBF-Verbundvorhaben: 03G0534  
Förderzeitraum 1.1.1998 bis 30.6.2001

Kiel, März 2002

## INHALTSVERZEICHNIS

### • I. SCHLUSSBERICHT – KURZE DARSTELLUNG

|   |   |
|---|---|
| • Aufgabenstellung des Verbundvorhabens.....                      | 1 |
| • Voraussetzung des Verbundvorhabens.....                         | 2 |
| • Planung und Ablauf des Verbundvorhabens.....                    | 2 |
| • Wissenschaftlicher und technischer Stand bei Projektbeginn..... | 3 |
| • Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....                         | 3 |

### II. SCHLUSSBERICHT – EINGEHENDE DARSTELLUNG

|  |   |
|--|---|
| • Eingehende Darstellung der Einzelergebnisse..... | 5 |
|--|---|

### III. ERFOLGSKONTROLLBERICHT

|   |    |
|---|----|
| • Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen des Förderprogramms..... | 83 |
| • Wissenschaftlicher und technischer Erfolg des Verbundvorhabens.....             | 83 |
| • Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans.....                                | 84 |
| • Verwertbarkeit der Ergebnisse.....  | 84 |
| • Erfindungen und Schutzrechte.....   | 84 |
| • Ungelöste Arbeitsansätze.....   | 84 |

### IV. ANHANG.....85

|   |     |
|---|-----|
| • Veröffentlichungen der Projektmitarbeiterinnen und Projektmitarbeiter.....                    | A1  |
| • Gastwissenschaftler.....  | A69 |
| • CD beinhaltet den Schlussbericht, Veröffentlichungen und den Pressespiegel von 1998-2001..... | A76 |

## I. SCHLUSSBERICHT – KURZE DARSTELLUNG

### Aufgabenstellung des Verbundvorhabens

Im Rahmen des Verbundvorhabens "System Laptev-See 2000" sollten über einen aktuogeologischen Forschungsansatz die natürlichen Hintergründe für sehr kurzfristige Klimaveränderungen erfasst werden. Im Mittelpunkt standen dabei Umweltveränderungen im Gebiet der Laptev-See und den angrenzenden Landgebieten.

Insgesamt standen folgende übergeordnete Themenkomplexe und daraus abgeleitete, übergeordnete Zielsetzungen im Mittelpunkt des geförderten Forschungsprogrammes:



#### A. Saisonale Variabilität von rezenten Stoffumsätzen in Permafrostgebieten

- Bilanzierung von Treibhausgasen (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>) und Prozessstudien zum Methankreislauf in Permafrostgebieten
- Mikrobielle Lebensgemeinschaften und CO<sub>2</sub>-Fluss in Permafrostlandschaften



#### B. Umweltreaktionen des terrestrisch-marinen Systems der sibirischen Arktis

- Marine Umweltreaktionen und Stoffumsätze
- Atmosphärischer Eintrag von natürlichen Radioisotopen
- Sensibilität mariner arktischer Ökosysteme



#### C. Die Wechselwirkung Land/Ozean und ihre Auswirkung auf die Sedimentbilanz der Laptev-See

- Umwelt- und Sedimentationsgeschichte des Lena-Deltas
- Partikeltransport im Delta-Schelf-System



#### D. Klimatrends in der sibirischen Arktis

- Terrestrische Klimasignale in eisreichen Permafrost-Abfolgen
- Ursachen und Auswirkungen von Umweltveränderungen in Permafrostgebieten
- Akustische Signale von submarinem Permafrost

### Voraussetzung des Verbundvorhabens

Das Fundament für das gesamte Verbundvorhaben konnte durch die Pilotstudien der Jahre 1991, 1992 und 1993 und im Rahmen des Verbundvorhabens „System Laptev-See“ (FKZ 03G0517, 1.3.1994 - 28.2.1997 und Aufstockung 1.3.1997 – 31.12.1997) gelegt werden. Im Rahmen dieser Projekte wurden bereits vier marine Expeditionen (TRANSDRIFT I-IV) in die Laptev-See und vier Expeditionen in das sibirische Hinterland und auf die Neusibirischen Inseln durchgeführt (Abbildung 1). Von besonderer Bedeutung war dabei die Einbindung von etablierten, aber auch von jungen, russischen Wissenschaftlern.

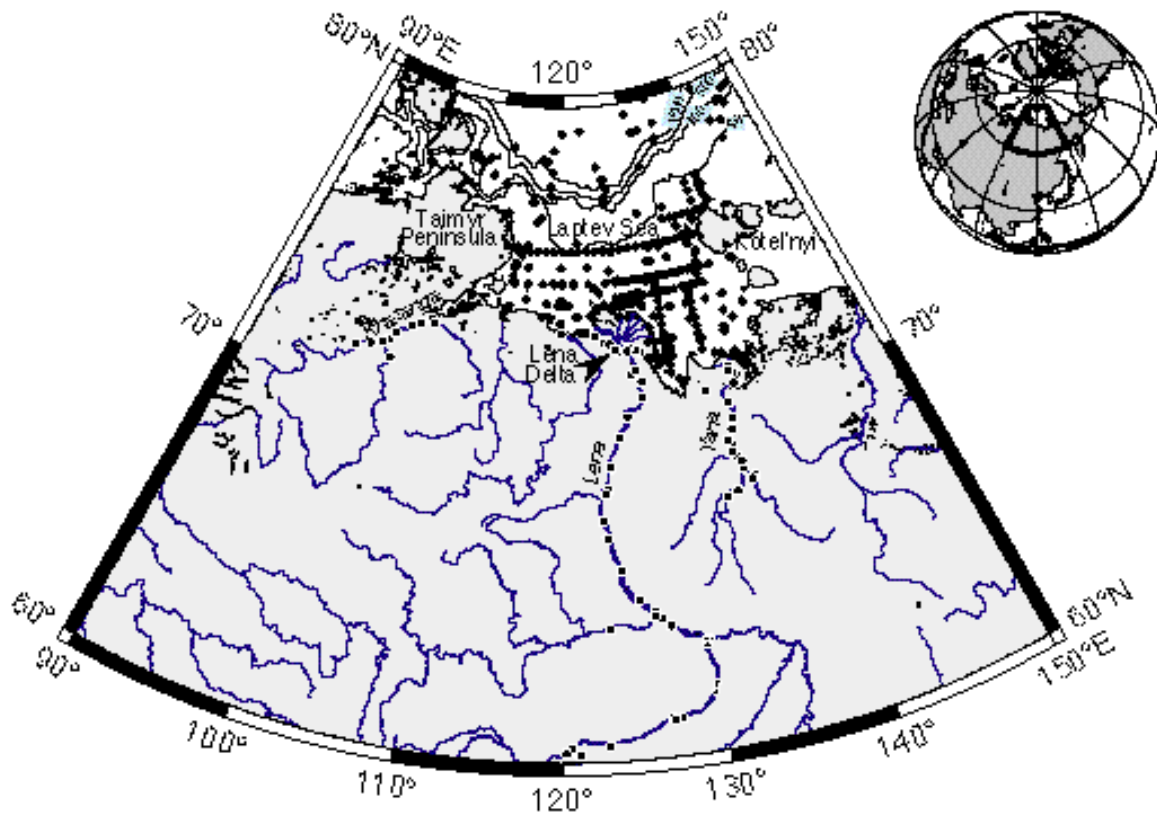


Abb. 1: Verbundvorhaben 'System Laptev-See': Stationsnetz in der Laptev-See und in den sibirischen Flusssystemen (1994-1997).

### Planung und Ablauf des Verbundvorhabens

Seit dem 1.1.1998 wurde das Verbundvorhaben „System Laptev-See 2000“ als Nachfolgevorhaben mit aufbauenden Fragestellungen gefördert. Wie beantragt wurden im Laufe des Verbundvorhabens drei Landexpeditionen und vier Schiffsexpeditionen in die ostsibirische Arktis, zwei große internationale Arbeitstreffen in Russland sowie ein ständiger Austausch von Wissenschaftlern (insgesamt 86 mehrmonatige Gastaufenthalte vor allem von

jungen russischen Nachwuchswissenschaftlern) durchgeführt. In vielen nationalen und internationalen Veröffentlichungen sowie Vorträgen auf wissenschaftlichen Tagungen stellten die WissenschaftlerInnen ihre Forschungsergebnisse einer breiten Fachöffentlichkeit vor. Insgesamt wurden alle Teilziele des Verbundvorhabens erreicht. Dies führte zu einer weiteren Vertiefung der bilateralen Zusammenarbeit, so dass die Forschungsarbeiten bis August 2002 in einer Synthesephase („System Laptev-See 2000 – Synthese“, FKZ 03G0569) fortgeführt werden. Auch die gemeinsame Gründung des deutsch-russischen Otto-Schmidt-Labors für Polar- und Meeresforschung in St. Petersburg ist als ein Erfolg des Verbundvorhabens zu werten.

### **Wissenschaftlicher und technischer Stand bei Projektbeginn**

Der wissenschaftlich-technische Stand bei Projektbeginn findet sich ausführlich im Abschlussbericht des Verbundvorhabens „System Laptev-See“ (FKZ 03G0517, 1.3.1994 - 28.2.1997 und Aufstockung 1.3.1997 – 31.12.1997).

### **Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Im Rahmen des Verbundvorhabens wurden die Forschungsarbeiten wie geplant mit den folgenden Partnerinstitutionen durchgeführt (Abbildung 2).

## Russisch-Deutsche Zusammenarbeit: System Laptev-See 2000

### Verbund- und Kooperationspartner

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| <b>Koordination</b>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung / GEOMAR</li> <li>• Staatliches Institut für Arktis- und Antarktischforschung, St. Petersburg</li> </ul>   |
| <b>Paläoklima und Sedimentologie</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• GEOMAR, Kiel</li> <li>• Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Potsdam</li> <li>• Leibniz-Labor, Kiel</li> <li>• Bergakademie Freiberg</li> <li>• Permafrost Institut, Yäkutsk</li> <li>• Staatliche Universität, Moskau</li> <li>• VNIIOkeanogeologia, St. Petersburg</li> <li>• PP Shirshov Institut für Ozeanologie, Moskau</li> <li>• Institut für Geologie und Ressourcen, Moskau</li> <li>• Staatliche Universität St. Petersburg</li> </ul> |
| <b>Ökologie</b>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Institut für Polarökologie</li> <li>• Zoologisches Institut St. Petersburg</li> <li>• Lena Delta Reservat, Tiksi</li> <li>• PP Shirshov Institut für Ozeanologie, Moskau</li> </ul>   |
| <b>Permafrost</b>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg</li> <li>• Institut für Polarökologie, Kiel</li> <li>• GEOMAR, Kiel</li> <li>• Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Potsdam</li> <li>• Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven</li> <li>• Permafrost Institut, Yäkutsk</li> <li>• Staatliche Universität, Moskau</li> <li>• Komarov Botanisches Institut, St. Petersburg</li> </ul>                                     |
| <b>System- und Prozeßmodellierung</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Staatliches Institut für Arktis- und Antarktischforschung, St. Petersburg</li> <li>• GEOMAR, Kiel</li> <li>• Institut für Polarökologie, Kiel</li> <li>• PP Shirshov Institut für Ozeanologie, Moskau</li> </ul>  |
| <b>Eisphysik</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Staatliches Institut für Arktis- und Antarktischforschung, St. Petersburg</li> <li>• Universität Fairbanks</li> </ul>   |
| <b>Meeres- und Geochemie</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Staatliches Institut für Arktis- und Antarktischforschung, St. Petersburg</li> <li>• GEOMAR, Kiel</li> <li>• Leibniz-Labor, Kiel</li> <li>• Heidelberger Akademie der Wissenschaft</li> <li>• Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Potsdam</li> <li>• Krylov Institut, St. Petersburg</li> </ul>   |
| <b>Ozeanographie</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Staatliches Institut für Arktis- und Antarktischforschung, St. Petersburg</li> <li>• GEOMAR, Kiel</li> <li>• Bergakademie Freiberg</li> </ul>   |
| <b>Meteorologie</b>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Staatliches Institut für Arktis- und Antarktischforschung, St. Petersburg</li> </ul>  |
| <b>Fernerkundung</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Staatliches Institut für Arktis- und Antarktischforschung, St. Petersburg</li> <li>• GEOMAR, Kiel</li> <li>• Universität Fairbanks</li> </ul>   |
| <b>Logistik</b>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• GEOMAR, Kiel</li> <li>• Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung</li> <li>• Staatliches Institut für Arktis- und Antarktischforschung, St. Petersburg</li> <li>• Lena-Delta-Reservat, Tiksi</li> <li>• Permafrost Institut, Yäkutsk</li> <li>• Staatliche Universität, Moskau</li> </ul>  |

Abb. 2: Verbund- und Kooperationspartner im Verbundvorhaben „System Laptev-See 2000“.

## II. SCHLUSSBERICHT – EINGEHENDE DARSTELLUNG

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen des Verbundvorhabens „Russisch-deutsche Zusammenarbeit: System Laptev-See 2000“ konnten sehr vielversprechende und z.T. einzigartige Ergebnisse erzielt werden. Die Voraussetzung dafür bildeten die wissenschaftlichen Arbeiten während der marinen und terrestrischen Expeditionen TRANSDRIFT und LENA. Durch den regen Austausch von Wissenschaftlern konnte die kooperative Auswertung sichergestellt werden. Ein Teil der wissenschaftlichen Auswertungen des Probenmaterials wurde bereits im 1999 eröffneten Otto-Schmidt-Labor für Polar- und Meeresforschung (Förderkennzeichen: 03PLO26A) in St. Petersburg durchgeführt. Die Ergebnisse wurden auf vielen internationalen Fachtagungen sowie während der bilateralen Arbeitstreffen und Statusseminare des Verbundvorhabens (1999 und 2000) in St. Petersburg vorgestellt und in internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht.

Die weitere Auswertung wissenschaftlich besonders relevanter Themenbereiche wird derzeit im Rahmen des Synthesevorhabens „System Laptev-See 2000 – Synthesephase“ (Förderkennzeichen: BEO 03G0569; Laufzeit 1.1.2001-31.8.2002) durchgeführt. Im Rahmen dieser Synthesephase wird auch die Abschlussbegutachtung des Verbundvorhabens stattfinden (8.-11. Mai 2002 in Kiel). Tabelle 1 zeigt die Struktur des Verbundvorhabens und seiner Teilprojekte. Im Anschluss daran folgt eine Übersicht der wichtigsten Ergebnisse der Teilprojekte des Verbundvorhabens.

Tab. 1: Themen der Teilprojekte mit TeilprojektleiterInnen und beteiligten Institutionen

| <b>WISSENSCHAFTLICHE STEUERGRUPPE</b>   |                             |   |
|---|-----------------------------|---|
| Prof. Dr. J. Thiede, Dr. H. Kassens (Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven (AWI)/GEOMAR Kiel), Dr. K. Tuschling (Institut für Polarökologie Kiel (IPÖ)/GEOMAR Kiel) und Prof. Dr. H.-W. Hubberten (Alfred-Wegener-Institut Potsdam (AWI)) |                             |   |
| <b>Teilprojekte</b>   | <b>TeilprojektleiterIn</b>  | <b>Institut</b>   |
| <b>Teilprojekt 1:</b> Bilanzierung von Treibhausgasen und Prozessstudien zum Methankreislauf in Permafrostgebieten  | Priv.-Doz. Dr. E.M Pfeiffer | Alfred-Wegener-Institut Potsdam (AWI)                   |
| <b>Teilprojekt 2:</b> Mikrobielle Lebensgemeinschaften und CO <sub>2</sub> -Fluss in Permafrostlandschaften   | Prof. Dr. M. Bölter         | Institut für Polarökologie Kiel (IPÖ)                   |
| <b>Teilprojekt 3:</b> Marine Umweltreaktionen und Stoffumsätze  | Prof. Dr. J. Thiede         | Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven (AWI) / GEOMAR Kiel |

| Teilprojekte  | TeilprojektleiterIn                            | Institut   |
|---|--|--|
| <b>Teilprojekt 4:</b> Atmosphärischer Eintrag von natürlichen Radioisotopen                   | Prof. Dr. A. Mangini                           | Heidelberger Akademie der Wissenschaften (HAW)                               |
| <b>Teilprojekt 5:</b> Sensibilität mariner arktischer Ökosysteme                              | Prof. Dr. M. Spindler                          | Institut für Polarökologie Kiel (IPÖ)  |
| <b>Teilprojekt 6:</b> Umwelt- und Sedimentationsgeschichte des Lena-Deltas                    | Prof. Dr. H.-W. Hubberten                      | Alfred-Wegener-Institut Potsdam (AWI)  |
| <b>Teilprojekt 7:</b> Partikeltransport im Delta-Schelf-System                                | Priv.-Doz. Dr. P.G. Dietrich                   | TU Bergakademie Freiberg (BAF)   |
| <b>Teilprojekt 8:</b> Terrestrische Klimasignale in eisreichen Permafrostabfolgen             | Dr. C. Siegert                                 | Alfred-Wegener-Institut Potsdam (AWI)  |
| <b>Teilprojekt 9:</b> Ursachen und Auswirkungen von Umweltveränderungen in Permafrostgebieten | Prof. Dr. J. Thiede,<br>Prof. Dr. P.M. Grootes | Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven (AWI) / GEOMAR Kiel / Leibniz-Labor Kiel |
| <b>Teilprojekt 10:</b> Akustische Signale von submarinem Permafrost                           | Dr. F. Niessen                                 | Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven (AWI)                                    |
| <b>Teilprojekt TK:</b> Terrestrische Koordination   | Prof. Dr. H.-W. Hubberten                      | Alfred-Wegener-Institut Potsdam (AWI)  |
| <b>Teilprojekt MK:</b> Marine Koordination  | Prof. Dr. J. Thiede                            | Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven (AWI) / GEOMAR Kiel                      |

#### ❖ **Teilprojekt 1: Bilanzierung von Treibhausgasen (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>) und Prozessstudien zum Methankreislauf in Permafrostgebieten**

Die kleinräumige Variabilität der Boden- und Vegetationseigenschaften, bedingt durch das Mikrorelief, hat großen Einfluss auf die Methanflüsse in den Permafrostböden. Die mittlere Methanfreisetzung im Polygonzentrum beträgt 52,5 mg CH<sub>4</sub> d<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> sowie 6,9 mg CH<sub>4</sub> d<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> für den Polygonwall. Die zu Grunde liegenden mikrobiologischen Prozesse werden in erster Linie durch die Bodenfeuchte, den Gehalt an organischem Kohlenstoff und die Bodentemperatur gesteuert. Dabei wird die Methanbildungsaktivität vor allem über die Art und Menge des zur Verfügung stehenden Substrates gesteuert, während die Methanoxidation im Wesentlichen von der Bodenfeuchte abhängig ist. Feld- und Laborexperimente haben gezeigt, dass in den durch niedrige *in situ* Temperaturen gekennzeichneten



Permafrosthorizonten oberhalb der Permafrosttafel eine an kalte Temperaturen angepasste Bakteriengemeinschaft (psychrophile Organismen) existiert. Im Oberboden hingegen, der zum Teil deutlich höhere Temperaturen als 10 °C aufwies, überwiegt eine mesophile Bakteriengemeinschaft, die eine mittlere Temperatur zum Wachstum benötigt. Die Anpassung der Organismen an die extremen Bedingungen des Permafrostes führt zu einer kontinuierlichen Methanbildung auch bei niedrigen Temperaturen.

### ❖ **Teilprojekt 2: Mikrobielle Lebensgemeinschaften und Kohlendioxid-Fluss in Permafrostlandschaften**

Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes beeinflussen physikalische, biologische und chemische Prozesse im Boden. Vor diesem Hintergrund wurde das Verhältnis zwischen Bodentemperatur, Bodenwassergehalt und Bodentextur während des Gefrierens und Auftauens an Bodensäulen untersucht. Mit Hilfe von zyklischen Gefrier- und Auftauphasen können Aussagen über frostinduzierte Strukturveränderungen und Strukturentwicklungen getroffen werden, auch hinsichtlich ihrer ökologischen Bedeutung auf den Gasfluss im Boden.

Feinkörniges (32% Tonanteil), unstrukturiertes Bodenmaterial mit einem geringen Wassergehalt (<25 Gew.-%) reagiert auf Abkühlungen unterhalb des Gefrierpunktes mit einer Volumenreduzierung, ausgelöst durch Wasserbewegungen in Richtung der Kältezonen. Laborversuche zeigen, dass im mittleren Säulenbereich eine zunehmende Austrocknung erfolgt, die zu einer Aggregation der Partikel führt. Auslöser für Wasserbewegungen sind thermische und hydraulische Gradienten. Aufgrund des hohen Feinanteils verbleiben größere Mengen des Bodenwassers auch unterhalb von 0°C im flüssigen Zustand. Dieses Bodenwasser kann durch die hohe ungesättigte Wasserleitfähigkeit des Bodensubstrates in Richtung Eisfront wandern. Die Folge ist, dass sich das Bodenvolumen beim Gefrieren mit abnehmendem Wassergehalt verringert. Die vom Ausgangswassergehalt unabhängigen Aggregationen korrelieren mit der Gefrierate. Aggregationen wirken sich auf das Porensystem des Bodens aus und können die Gasemission des Bodens beeinflussen, besonders während des Wiedergefrierens.

Das Gefrierverhalten sandiger Substrate weicht stark von dem lehmiger Substrate ab. In Abhängigkeit von Bodenwassergehalt und Gefriertemperatur kommt es zu starken Druckentwicklungen während des Gefrierens. Strukturveränderungen infolge von Aggregationen sind, aufgrund mangelnden Feinanteils und geringer organischer Gehalte, vernachlässigbar. Größere Auswirkungen auf das Porensystem und auf die Gasleitbahnen des Bodens sind nicht zu erwarten.

Messungen der Kohlendioxid-Produktion durch Mikroorganismen wurden auf der Insel Samoylov an zwei Leitprofilen mittels eines Infrarot-Gasanalytators durchgeführt. Die

Kohlendioxid-Produktion ist abhängig von der Bodentemperatur, dem Bodenwasserhaushalt und der Nährstoffverfügbarkeit und weist große Heterogenitäten auf. Die Profile wurden horizontweise beprobt und Respiationsdaten wurden unter Berücksichtigung der Lagerungsdichte für das gesamte Profil ermittelt. Beim Betrachten eines Sandkeilpolygons treten sehr hohe Respiationswerte in den ersten Bodenzentimetern auf. Untersuchungen eines Eiskeilpolygons liefern jedoch generell über das gesamte Profil höhere Respiationswerte als die eines Sandkeils. Hierfür verantwortlich sind in erster Linie die höheren Gehalte an organischer Substanz. Für den Gasfluss vom Boden an die Atmosphäre ist das Porensystem des Bodens verantwortlich. Die Messergebnisse zeigen, dass die Kohlendioxidproduktion saisonalen Temperaturschwankungen unterliegt. Daher beeinflusst das Gefrierverhalten der Böden entscheidend den Lebensraum der Mikroorganismen und somit die Produktion von Kohlendioxid.

### ❖ **Teilprojekt 3: Marine Umweltreaktionen und Stoffumsätze**

Im Zeitraum August 1998 bis September 1999 wurden Meeresobservatorien an Schlüsselpositionen der Laptev-See verankert. Dadurch konnten erstmals in der wissenschaftlichen Erforschung der Laptev-See Daten über den Jahresgang von Temperatur, Salinität, Sauerstoff im bodennahen Wasserkörper und das Strömungsregime in der gesamten Wassersäule erhoben werden. Im Rahmen von vier Expeditionen (TRANSDRIFT V bis VIII) wurden weitere ozeanographische, sedimentologische und geochemische Messungen durchgeführt. Darüber hinaus wurde in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern am AARI (Staatliches Forschungsinstitut für Arktis- und Antarktisforschung) in St. Petersburg ein hydrodynamisches Modell für die Laptev-See entwickelt. Die Interpretation der Datensätze und Modellierungen führte zu folgenden neuen Ergebnissen:

- 1.) Im Bereich des mittleren Schelfs wurden starke, nicht periodische südöstliche Strömungen erfasst. Im Winter 98/99 verursachten diese Strömungsereignisse die Advektion von wärmeren Wassermassen aus dem Bereich des Kontinentalhanges in den Bereich der Lena-Rinne. Dieser Wärmetransport auf den Schelf hat direkte Konsequenzen für die Dynamik der Eisproduktion und Ausbildung der Polynja, der offenen Wasserflächen in der meereisbedeckten Laptev-See.
- 2.) Die Umweltbedingungen am Meeresboden im Bereich des mittleren und äußeren Laptev-See-Schelfes sind nicht nur durch den saisonal variablen Flusswassereintrag, sondern im Wesentlichen durch die atmosphärische Zirkulation und den daran gekoppelten Eintrag von atlantischem Zwischenwasser geprägt.
- 3.) Das wichtigste saisonale Ereignis für den Eintrag und den Transport von gelösten Partikeln auf dem Schelf ist der Flussaufbruch der sibirischen Ströme im Frühjahr. Dabei kommt es durch Wechselwirkungen zwischen Partikeln und der Wassersäule zu erhöhten Konzentrationen von Metallen in der gelösten Phase.

Diese Partikel werden in dem deutlich geschichteten Wasserkörper der eisbedeckten östlichen Laptev-See in einer oberflächennahen Nepheloidlage weit auf den Schelf transportiert, wo sie dann absinken und in einer bodennahen Nepheloidlage weiter transportiert werden.

4.) In einem numerischen Experiment wurden die Strömungen mit verschiedenen atmosphärischen Druckfeldern für das Jahr 1998 errechnet. Dabei zeigte sich eine komplexe räumliche Struktur mit sehr unterschiedlichen Transportrichtungen für verschiedene atmosphärische Antriebsbedingungen.

#### ❖ **Teilprojekt 4: Atmosphärischer Eintrag von natürlichen Radioisotopen**

Im Rahmen des Teilprojekts 4 wurden die paläoklimatischen Bedingungen in der Laptev-See anhand von Sedimentkernen rekonstruiert. Am Anfang stand dabei die Aufgabe, die Datierung der Sedimentkerne auf eine sichere Basis zu stellen. In hohen Breiten ist eine Erstellung einer Sauerstoffisotopen-Stratigraphie aufgrund fehlenden biogenen Karbonats in den Sedimentkernen oft schwierig. Ferner kann es zu einer Verfälschung des  $^{18}\text{O}$ -Signals durch Schmelzwassereinflüsse kommen. Daher war es erforderlich, andere Datierungsmethoden anzuwenden. Insbesondere eignen sich radioaktive Isotope, um tondominierte Sedimente zeitlich einzuordnen. Neben den Radionukliden  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{230}\text{Th}$  lag das Hauptaugenmerk auf der Datierung mittels  $^{10}\text{Be}$ . Die Sedimentkerne aus der Laptev-See zeigen hohe  $^{10}\text{Be}$ -Konzentrationen während der Interglazialstadien und eine deutlich geringere Konzentration während der Glazialstadien.

Der Eintrag von kontinentalem  $^{10}\text{Be}$  mit den Flusssystemen wurde detailliert untersucht. Hierzu wurden die rezenten  $^{10}\text{Be}$ -Depositionsflussdichten der Schelfsedimente mit rezenten atmosphärischen  $^{10}\text{Be}$ -Flussdichten (Referenzdaten aus Grönland) in Beziehung gesetzt. Zusätzlich wurden die  $^{10}\text{Be}$ -Konzentrationen in den Wasserproben aus dem Schelfgebiet der Laptev-See mit den ermittelten Konzentrationen im zentralen Arktischen Ozean und in der Norwegischen und Grönländischen See verglichen. Dies diente der Evaluation des Anteils von kontinentalem  $^{10}\text{Be}$  im Schelfgebiet der Laptev-See. Die  $^{10}\text{Be}$ -Depositionsflussdichte und die  $^{10}\text{Be}$ -Wasserkonzentrationen bilden weiterhin die Datenbasis für ein mathematisches Modell rezenter Transportwege des  $^{10}\text{Be}$  in hohen nördlichen Breiten.

#### ❖ **Teilprojekt 5: Sensibilität mariner arktischer Ökosysteme**

Der fluviale Eintrag der Lena sowie die Eisbedeckung sind die bestimmenden Größen für die Lebensgemeinschaften der östlichen Laptev-See. Die Verteilung und Zusammensetzung der Gemeinschaften im Pelagial und Benthos wird direkt oder indirekt durch diese Faktoren gesteuert. Phytoplankton- und Zooplanktongemeinschaften zeichnen sich durch hohe Anteile neritischer, d.h. küstennaher, euryhaliner Arten aus. Bei einigen Gattungen gibt es einen

deutlichen Wechsel von Brackwasser-Arten zu rein marinen Arten, je weiter man nach Norden in höher salines Wasser kommt. Diesen Trend beobachtet man, wenn auch weniger deutlich, ebenfalls im Benthos. So sind einige Muschelarten besonders tolerant gegenüber verschiedenen Salzgehalten. Es ist zu vermuten, dass die faunistische Zusammensetzung im flachen Bereich insbesondere durch physikalische Störungen verursacht wird, beispielsweise durch den Süßwasser- und Sedimenteintrag der großen sibirischen Flüsse Lena und Yana bzw. durch eine direkte Eiseinwirkung aufgrund von Ankereis oder „strandender“ Eisschollen. Die z.T. hohe Primärproduktion wird vom Zooplankton zur frühzeitigen Speicherung (August/September) von energiereichen Wachstern (Copepoden) und Triacylglycerinen (Amphipoden, Mysidaceen, Chaetognaten) genutzt. Trotzdem erreicht ein nicht geringer Teil der Phytoplanktonproduktion unverändert den Meeresboden und kann als energiereiche Nahrung direkt vom Benthos genutzt werden. Diese direkte Kopplung zwischen Wasser und Sediment erlaubt die Aufrechterhaltung einer reichhaltigen Benthosfauna. Kurze Perioden pelagischer Primärproduktion, tiefe Temperaturen und eine fast ganzjährige Eisbedeckung haben direkte Auswirkungen auf die Organismen, die als Integrator Umweltveränderungen über mehrere Jahre abbilden.

#### ❖ **Teilprojekt 6: Umwelt- und Sedimentationsgeschichte des Lena-Deltas**

Während der Expeditionen LENA 1998 und LENA 1999 wurde an Schlüssellocalitäten des Lena-Deltas aus Permafrost-Bohrungen, natürlichen Aufschlüssen und Seesedimenten Probenmaterial gewonnen, das mit Hilfe von  $^{14}\text{C}$ -AMS und IR-OSL datiert und im Hinblick auf sedimentologische, mineralogische und geochemische Parameter analysiert wurde. Diese Arbeiten wurden durch geophysikalische Untersuchungen (Bodenradar und Flachseismik) ergänzt. Basierend auf den Ergebnissen kann die Sedimentationsgeschichte des Lena-Deltas seit dem Jungpleistozän entschlüsselt werden. Das Lena-Delta ist aus Erosionsresten von Eiskomplex-Ablagerungen und fluvialen Sedimenten spätpleistozänen Alters sowie Delta-Ablagerungen holozänen Alters zusammengesetzt. Die tatsächliche Delta-Sedimentation begann vor ca. 6000 Jahren, nachdem der Meeresspiegel in der Region in etwa sein heutiges Niveau erreicht hatte. Das heutige Lena-Delta wirkt als Filter für die Bodenfracht der Lena, bildet aber keinen Akkumulationsraum für die Schwebfracht der Lena.

Durch Untersuchungen von Schlüssellocalitäten entlang der Küstenlinie der Laptev-See während der Expeditionen LENA 1999 und LENA 2000 und den Vergleich mit Luftbildern der Region konnten Küstenerosionsraten ermittelt und der Sedimenteintrag in die Laptev-See durch Küstenerosion quantifiziert werden. Dadurch konnte gezeigt werden, dass die Erosion permafrost-dominierter Küsten einen entscheidenden Beitrag zum Sedimenthaushalt der Laptev-See leistet. Durch den Küstenrückgang wird ebensoviel Material in die Laptev-See eingespült wie durch die Flüsse, möglicherweise sogar mehr. Eine Bilanzierung des

Sedimenthaushaltes der Laptev-See befindet sich derzeit noch in Arbeit und wird im Abschlussbericht der Synthesephase vorgestellt werden.

#### ❖ **Teilprojekt 7: Partikeltransport im Delta-Schelf-System**

Mittels geologisch-geomorphologischer sowie hydrologisch-ozeanographischer Methoden erfolgten die Inventarisierung und Charakterisierung der sedimentdynamischen Prozesse im regionalen und lokalen Maßstab des Lena-Deltas und die Abschätzung der Sedimentbilanz des Delta-Schelf-Systems der Laptev-See.

Trotz vielgestaltigem Partikeltransport innerhalb des Lena-Deltas sind selbst im aktiven Delta-Bereich (Zentral-, Ost- und Nordteil) lediglich wenige Akkumulationsbereiche wirksam. Überwiegend wird Material nach seinem Weg durch das Delta im Küstenbereich der Laptev-See erneut aufgearbeitet. Durch weitere Mechanismen des Materialexportes in erheblicher Größenordnung im westlichen Delta-Bereich (v.a. thermoabrasiver und äolischer Abtrag) ist die Sedimentbilanz des Deltas zur Zeit deutlich negativ. Der Partikelumsatz im Lena-Delta unterliegt klimabedingt starken jahreszeitlichen Schwankungen.

Flusseintrag und flachmarine Transportdynamik spiegeln sich im saisonal und lokal veränderlichen Gehalt an suspendiertem partikulärem Material in den Wassermassen des Laptev-See-Schelfes wider. Auf dem Schelf dominieren strömungsinduzierte Resuspensionsvorgänge am Meeresboden.

Auf der Grundlage eines Geo-Informationssystems (GIS Lena Delta) wurde eine Datenbank für den terrestrischen Forschungsbereich geschaffen, deren digitalen Höhenmodelle gleichzeitig zur Visualisierung von Ergebnissen in Kartenform oder als Perspektivansichten dienen. Damit steht eine Datenbank zur Erfassung bisheriger und künftiger Feld- und Labordaten zur Verfügung, welche durch ihre Struktur und Erweiterbarkeit als Grundlage künftiger Klima- und Bilanz-Modellierungen dienen kann.

#### ❖ **Teilprojekt 8: Terrestrische Klimasignale in eisreichen Permafrostabfolgen**

In drei Gebieten (Bykovsky-Halbinsel, Große-Lyakhov-Insel, westliches Lena-Delta) wurden an Schlüsselprofilen mit Hilfe multidisziplinärer Untersuchungen neue umfangreiche Daten zur Paläoumweltentwicklung in der Laptev-See-Region gewonnen. Die Untersuchungen beinhalteten: geokryologische, sedimentologische, mineralogische und geochemische Untersuchungen von Sedimenten und Paläoböden, isotopengeochemische und hydrochemische Analysen des Grundeises, paläobotanische (Pollen, Makropflanzenreste) und paläontologische (Säugetier-Fauna, Insekten, Ostrakoden, Schalenamöben) Untersuchungen. In Verbindung mit Altersdatierungen ( $^{14}\text{C}$ , IR-OSL, U/Th) erlauben die dabei gewonnenen Daten, ein komplexes Bild der zeitlichen und räumlichen Umweltentwicklung des Laptev-

See-Schelfes seit dem mittleren Pleistozän, insbesondere für die letzten 60. 000 Jahre, zu erstellen. Die gewonnenen sedimentologischen, geochemischen und mineralogischen Daten zeigen, dass sich während des Pleistozäns in diesen Landschaften spezifische kryolithogenetische und pedogene Prozesse vollzogen haben, die zur Bildung der extrem eisreichen Permafrostabfolgen geführt haben. Die Bildungsbedingungen dieser Ablagerungen garantierten einen außerordentlich guten Erhaltungszustand der in ihnen enthaltenen Floren- und Faunenreste. Die Ergebnisse der paläo-ökologischen Untersuchungen zeigen, dass bereits seit dem mittleren Pleistozän ein kontinentales Klima vorherrschte, das zur Entstehung der für Tundra und Steppe charakteristische Organismen- und Pflanzengesellschaften geführt hat. Ihre maximale Verbreitung erlangten diese im späten Pleistozän. Die Tundra-Steppen-Bioregionen zeichnen sich durch Vegetations-Komplexe, Insektenfaunen und eine reiche Säugetierfauna, wie sie heute lediglich in Relikten in bestimmten Tieflandsgebieten Jakutiens vorkommen, aus. Die gewonnenen Datensätze werden zu Paläoklimarekonstruktionen genutzt.

#### ❖ **Teilprojekt 9: Ursachen und Auswirkungen von Umweltveränderungen in Permafrostgebieten**

Als westlicher Teil der beringischen Landmasse unterlag der Laptev-See-Schelf seit dem Beginn des globalen Meeresspiegelanstiegs vor ca. 20. 000 Jahren besonders starken dynamischen Veränderungen. Das Schelfgebiet ist durch die allmähliche Umwandlung von terrestrischem Permafrost in ein marines Ablagerungsmilieu gekennzeichnet. Diese Veränderungen bedingten zum einen die zeittransgressive Erosion der glazialen Küstenlandschaft durch den nach Süden vordringenden Meeresspiegel und eine Überdeckung von glazialen Permafrostböden durch marine Sedimente. Zum anderen veränderten sich während und nach Ende der Transgressionsphase zunehmend auch die hydrologischen und kryologischen Bedingungen auf dem sich neu formenden Schelf, d. h. die Abflussraten der mittelsibirischen Flüsse und die Meereisbildungsraten auf dem Schelf. Beide Prozesse sind ein integraler Bestandteil des modernen gesamtarktischen Systems und nehmen direkten Einfluss auf das Klimageschehen außerhalb der arktischen Region. Der Meeresspiegelanstieg, bedingt durch die globale Erwärmung seit dem letzten Glazial, ging einher mit einer massiven Veränderung der nordsibirischen Landvegetation. Diese klimatischen Veränderungen spiegeln sich in den palynologischen Sedimentprofilen auf dem Schelf wider. Auch die mikropaläontologischen und isotopischen Untersuchungen zeigen, dass die holozäne Variabilität des sibirischen Flusswasserausstoßes, bzw. die Veränderung der hydrologischen Bedingungen der Laptev-See ein Ausdruck überregionaler Klimaschwankungen sind.

**❖ Teilprojekt 10: Akustische Signale von submarinem Permafrost**

Mittels seismischer Daten wird für die obersten 200 m der Ablagerungen der Lena-Rinne ein Dreischichtmodell beschrieben. Dies setzt sich aus einer holozänen Deckschicht (meist wenige Meter) über eis- und gashaltigen Sedimenten (Mächtigkeiten von 50 – 70 m) auf Permafrost oder stärker konsolidierten Sedimenten zusammen. Keine der drei seismischen Analyseverfahren kann die für Permafrost typischen hohen Geschwindigkeiten ( $<2000$  m/s) an oder nahe der Sedimentoberfläche nachweisen, obwohl an vielen Lokalisationen der Laptev-See in den obersten 20 m morphologische Strukturen in PARASOUND-Profilen zu interpretieren sind, die charakteristisch für Permafrostgebiete sind (Thermokarst, Pingos, Eiskomplexe). Zahlreiche akustische Anzeiger deuten Gaseinschlüsse unter der holozänen Deckschicht an. Dazu gehören Diffraktionshyperbeln, ‘acoustic voids’ und Phasenumkehrungen bei Reflektoren, die durch synthetische Seismogramme bei Zugrundelegung von Geschwindigkeiten typisch für gashaltige Sedimente (1. 300 m/s) bestätigt werden. Eislagen, Eiskristalle und Gaseinschlüsse in Sedimenten unterhalb der holozänen Deckschicht wurden durch die Bohrungen der Expedition TRANSDRIFT VIII bestätigt. Es kann nicht abschließend geklärt werden, ob die gas- und eishaltigen Sedimente der obersten 50 bis 70 m Relikte eines in Glazialzeiten gebildeten Permafrostes sind oder typische Taliks darstellen, in deren Sedimenten es nach der Transgression durch veränderte Umweltbedingungen zur Gasfreisetzung und Eisbildung gekommen ist. Eisfurchen treten in der Laptev-See gehäuft an Stellen auf, wo im Holozän Eisberge durch Strömungen in flachere Meeresgebiete getrieben wurden und Sedimentfurchen bis zu 8 m Tiefe zogen. Es ergeben sich keine Hinweise, dass diese Eisfurchen einen Einfluss auf die Stabilität des darunterliegenden Permafrostes haben.

**❖ Teilprojekt TK: Koordination der terrestrischen Arbeiten**

Das Ziel des Teilprojektes terrestrische Koordination war die Planung und Organisation der Landexpeditionen zur Durchführung der Arbeitsprogramme der im Rahmen des Verbundvorhabens beantragten terrestrischen Teilprojekte (TP 1, 2, 6, 7 und 8). Dazu gehörte die Organisation der Expeditionen gemeinsam mit den russischen Partnern sowie die Abstimmung der Arbeiten zwischen den deutschen Teilprojekten und ihren russischen Partnerprojekten.

Mit der Durchführung von vier erfolgreichen Expeditionen in den Jahren 1998-2001 wurde das Gesamtziel des Teilprojektes TK nicht nur erreicht, sondern übertroffen. Die hervorragende Zusammenarbeit im Rahmen der deutsch-russischen Kooperation äußert sich auch in der Expeditionsteilnahme von insgesamt 42 deutschen und 56 russischen WissenschaftlerInnen und TechnikerInnen.

Grundlage für die erfolgreichen Expeditionen war die Unterstützung durch russische Institutionen und Kollegen aus St. Petersburg (AARI), Moskau (MSU), Yakutsk (PFI) und Tiksi, die uns trotz der derzeitigen schwierigen Verhältnisse in Russland optimales Arbeiten vor Ort ermöglichten. Die Expeditionen LENA 2000 und LENA 2001 wurden mit finanzieller Unterstützung des Alfred-Wegener-Institutes (AWI) ermöglicht, da keine oder nur sehr geringe Projektmittel zur Verfügung standen.

#### ❖ **Teilprojekt MK: Koordination der marinen Arbeiten**

Im Mittelpunkt des Arbeitsprogramms der marinen Koordination standen die Expeditionen TRANSDRIFT V - VIII, das 5. und 6. internationale Arbeitstreffen in St. Petersburg und 9 nationale Arbeitstreffen. Darüber hinaus wurden 86 Gastaufenthalte von russischen WissenschaftlerInnen in Deutschland betreut. Alle Expeditionen wurden wie beantragt durchgeführt. Insgesamt haben 115 russische und deutsche WissenschaftlerInnen an den gemeinsamen Expeditionen teilgenommen.

Zudem wurde der Syntheseantrag des Verbundvorhabens abgefasst, um die vorhandenen einzigartigen Datensätze aus der Laptev-See und dem sibirischen Hinterland optimal auszuwerten.

Die wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen den deutschen und russischen Verbundpartnern wurde durch die enge Abstimmung und Kooperation mit dem Otto-Schmidt-Labor für Polar- und Meeresforschung weiter vertieft. So konnten erweiterte oder vertiefende Fragestellungen der Themenfelder des Verbundvorhabens „System Laptev-See 2000“ im Rahmen von Stipendien durch russische WissenschaftlerInnen bearbeitet werden und nach der Expedition TRANSDRIFT VIII (2000) erste Proben direkt in St. Petersburg analysiert werden.





## Teilprojekt 1: Bilanzierung von Treibhausgasen (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>) und Prozessstudien zum Methankreislauf in Permafrostgebieten

### Zielsetzung

Klimamodellierungen postulieren, dass bei einer globalen Erwärmung der stärkste Effekt für die Ökosysteme der hohen Breiten zu erwarten ist. Mehr als 25% des Bodenkohlenstoffs der Erde sind in arktischem und subarktischem Permafrost gespeichert. Die Dynamik der mikrobiellen Abbauprozesse der organischen Bodensubstanz, die zur Bildung und Freisetzung von Treibhausgasen (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>) führt, und die Wechselwirkungen mit dem Temperatur- und Feuchteregime der Permafrostböden sowie deren Kopplung an das Klima sind bis heute nicht vollständig verstanden. Ziel der interdisziplinären Arbeiten des Teilprojektes 1 ist die Erfassung bodenmikrobieller, bodenchemischer und -physikalischer sowie hydrologischer und thermischer Prozesse in der oberen aktiven Bodenzone. Die Reaktion und Rückkopplung der sensiblen Permafrostböden und -landschaften auf mögliche Klimaänderungen soll abgeschätzt werden.

### Arbeitsprogramm

In den permafrostbeeinflussten Niederungslandschaften des südlichen Lena-Deltas (72° Nord, 126° Ost) wurden die wichtigsten Steuergrößen der mikrobiell beeinflussten Gas- und Stoffflüsse sowie die Energie- und Wasserdynamik analysiert. Das Teilprojekt umfasste für vier repräsentative Messfelder auf der Insel Samoylov folgendes Arbeitsprogramm:

- Erfassung der klimatischen, pedogenen und bodenmikrobiologischen Einflussgrößen, die die Prozesse der Methanflüsse (Bildung, Oxidation, Emission) in Permafrostböden steuern
- Bodenmikrobiologische Prozessstudien zum Methankreislauf
- Bilanzierung der Treibhausgase CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> aus typischen arktischen Tundrenstandorten des Lena-Deltas
- Bestimmung der Energie- und Wasserflüsse in der Auftauzone
- Mikrobiologische Systemuntersuchungen zum Methan aus submarinen Permafrostsedimenten und Eisproben der Laptev-See. Diese Untersuchungen erfolgten in enger Zusammenarbeit mit Teilprojekt 3

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes „System Laptev-See 2000“ wurden in den Jahren 1998–2001 insgesamt 4 Expeditionen (Expedition in 2001 finanziert durch Haushaltsmittel des AWI) in das Lena-Delta durchgeführt. Während dieser Sommerexpeditionen wurden umfangreiche Feldstudien zur Spurengasfreisetzung verschiedener Landschaftseinheiten (Polygontundra, Seen

mit und ohne Vegetation, Eiskeile) und zu den steuernden mikrobiologischen Prozessen durchgeführt. Diese wurden durch bodenchemische, bodenphysikalische, mikro- und molekularbiologische Laboruntersuchungen ergänzt.

Das Mikrorelief großer Gebiete des Lena-Deltas ist durch das Frostmuster der „Eiskeilpolygone“ charakterisiert. Bedingt durch dieses Mikrorelief variieren die Boden- und Vegetationseigenschaften auf engem Raum. Die torfreichen Böden im Polygonzentrum (*Typic Historthels*, Horizontierung: Oi, A, Bg, Bf) sind durch einen hochanstehenden, oberflächennahen Wasserspiegel und die rezente, vorwiegend anaerobe Akkumulation organischer Substanz gekennzeichnet. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff betragen im Oi-Horizont 22,1% und im A-Horizont 12,6%. Die trockeneren Böden des Polygonwalls (*Glacic Aquiturbel*, Horizontierung: Ajj, Bjjg1, Bjjg2, Bjjg3, Bjjf) sind durch einen deutlich unter der Geländeoberfläche liegenden Wasserspiegel, eine geringe rezente Akkumulation organischer Substanz und ausgeprägte Kryoturbationsmerkmale gekennzeichnet. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff sind um ein Vielfaches geringer als in den nassen Böden der Polygonzentren: Sie betragen im Ajj-Horizont nur etwa 1,7% und in den Bjjg-Horizonten bis zu 3,4%. Die Wasserhaushalts- und Redoxbedingungen sowie die Gehalte und die Art der organischen Substanz sind in den *Historthels* des Polygonzentrums hinsichtlich der Methanbildung deutlich günstiger als in den *Aquiturbels* des trockeneren Polygonwalls.

Diese kleinräumige Variabilität hat großen Einfluss auf die Methanflüsse in den Permafrostböden. So ist die Methanfreisetzung mit durchschnittlich  $6,9 \text{ mg CH}_4 \text{ d}^{-1} \text{ m}^{-2}$  für die Polygonwalle deutlich geringer als für die Polygonzentren, die im Mittel  $52,5 \text{ mg CH}_4 \text{ d}^{-1} \text{ m}^{-2}$  beträgt (Abbildung 1). Weitere typische Landschaftseinheiten (Tiefland, Eiskomplexe, Seen mit und ohne Vegetation) verdeutlichen die Bedeutung der Boden- und Vegetationseigenschaften. Die Tundravegetation beispielsweise spielt für den Methantransport insbesondere aus den Polygonseen eine wichtige Rolle. In Feldstudien konnte gezeigt werden, dass etwa 72% des gebildeten Methans über den pflanzenvermittelten Transport freigesetzt werden. Das auf diesem Wege transportierte Methan unterliegt keinen Oxidationsprozessen, die beispielsweise in der Wassersäule auftreten können. Dies zeigt sich in den hohen Emissionswerten der Polygonseen mit Vegetation von bis zu  $307 \text{ mg CH}_4 \text{ d}^{-1} \text{ m}^{-2}$  niederschlägt.

Die zugrunde liegenden mikrobiologischen Prozesse werden in erster Linie von der Bodenfeuchte bestimmt, während die Bodentemperatur den saisonalen Verlauf steuert. Vor allem die Methanoxidation, die sauerstoffabhängig stattfindet, wird durch hoch anstehendes Grundwasser gehemmt, was zu einer stärkeren Methanfreisetzung führt. Eine Reduzierung der Methanfreisetzung konnte im Sommer 1999 besonders deutlich beobachtet werden. Durch die ungewöhnlich hohen Lufttemperaturen von bis zu  $24^\circ\text{C}$  und ausbleibende Niederschläge trockneten die Böden im Juli stark aus. In der Folge halbierte sich die Methanfreisetzung im August aufgrund der ansteigenden Methanoxidationsaktivität verglichen mit den Bedingungen im Juli (vgl. Zwischenbericht 1999).

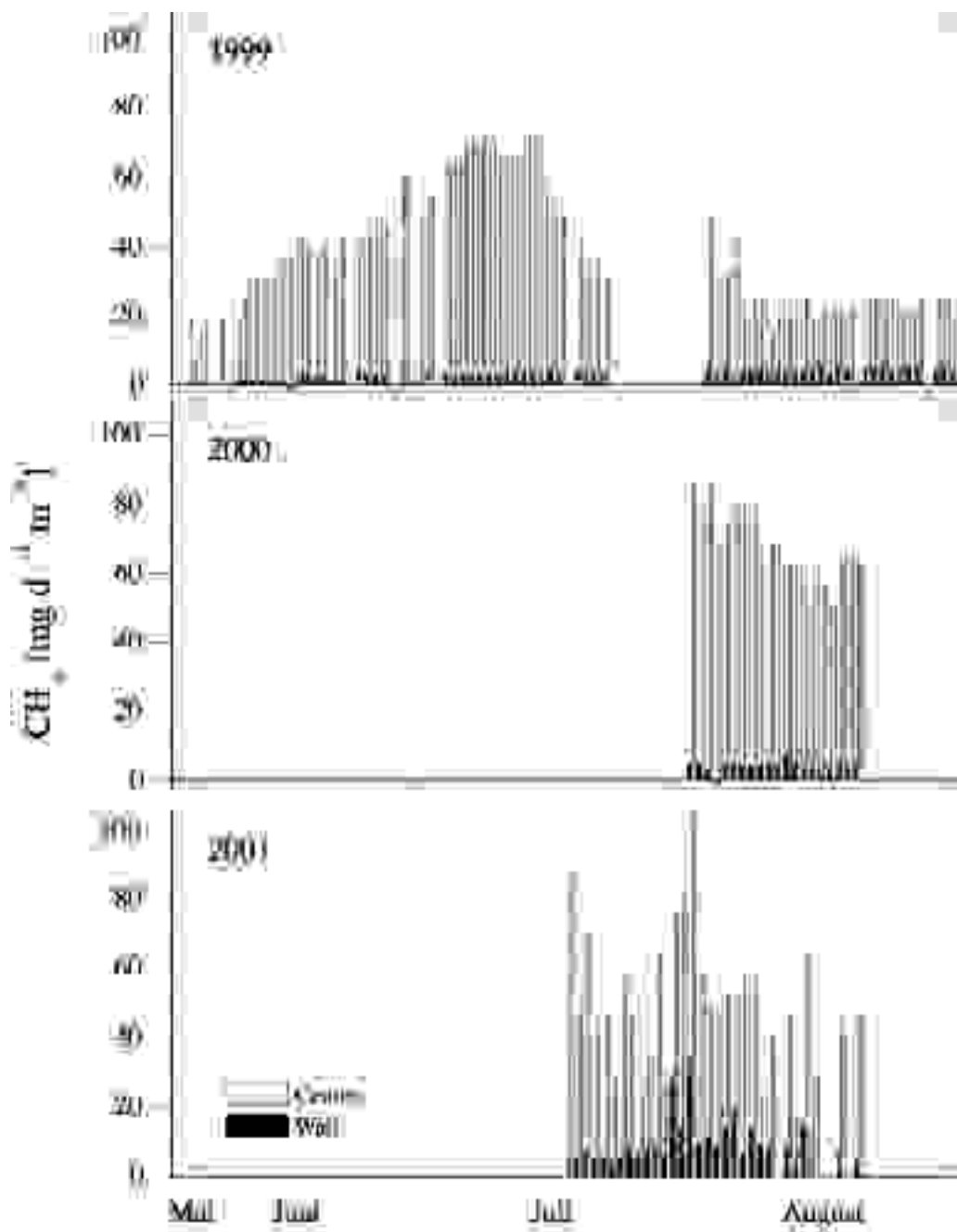


Abb. 1: Saisonaler Verlauf der Methanemission eines „Eiskeilpolygons“ (feuchtes Zentrum, trockener Wall) für den Zeitraum 1999 bis 2001, Samoylov/Lena-Delta.

Die In-situ-Untersuchungen zur Methanbildung und -oxidation zeigen eine deutliche Bakterienaktivität auch bei Temperaturen bis nahe dem Gefrierpunkt (vgl. Zwischenberichte 1999/2000). Vergleiche verschiedener Tiefenprofile zur Methanbildung zeigen, dass die Aktivität der Organismen dabei unabhängig von der Temperatur ist. In weiterführenden Experimenten zur Methanbildung in Abhängigkeit von der Temperatur konnten schon für Temperaturen zwischen  $0^\circ\text{C}$  und  $17^\circ\text{C}$  erhebliche Methanbildungsraten bestimmt werden (Abbildung 2).

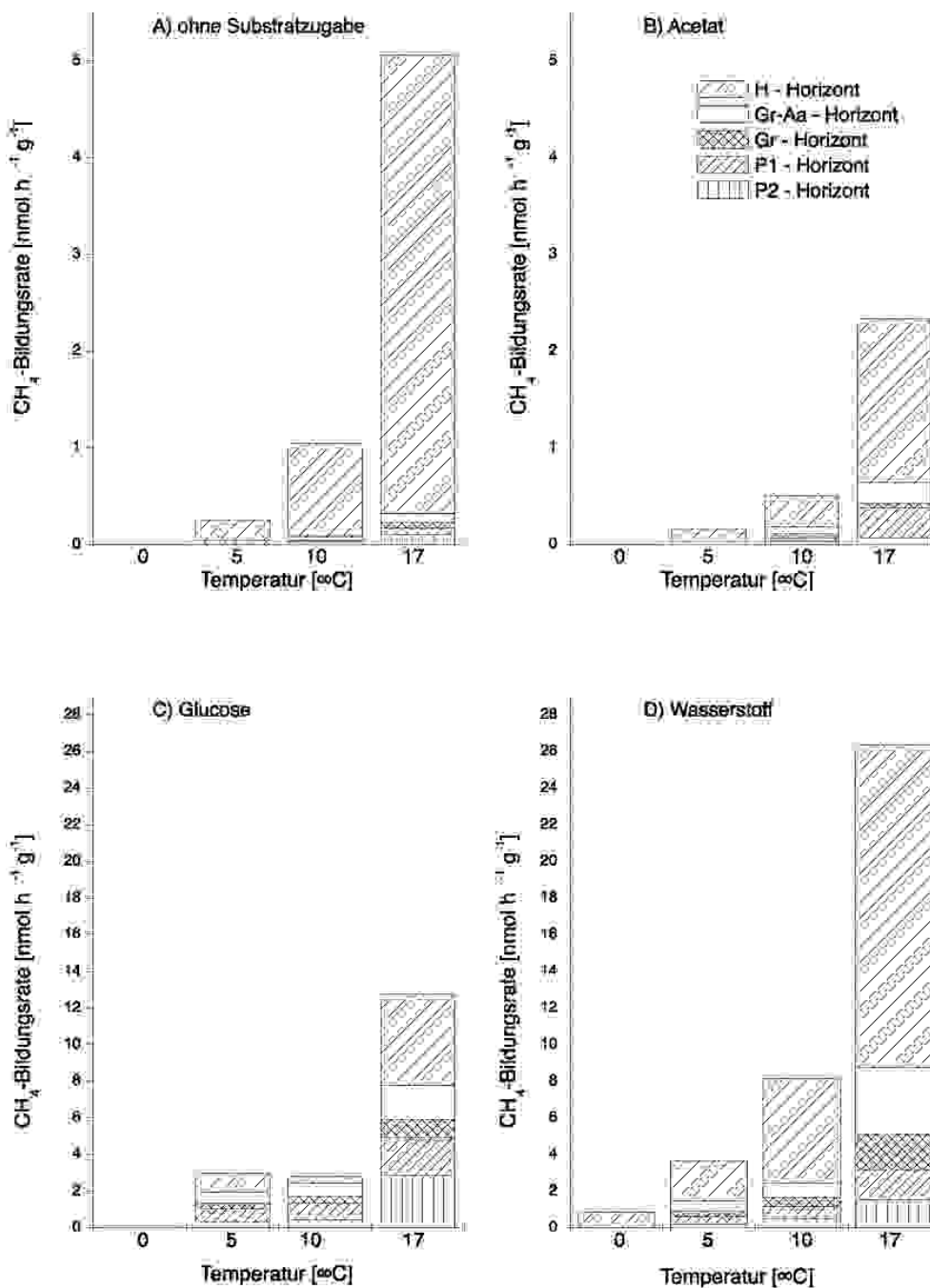


Abb. 2: Methanbildungsraten der einzelnen Horizonte eines *Typic Historthels* (Polygonzentrum) in Abhängigkeit von der Temperatur und dem Substrat. Alle Angaben beziehen sich auf Gramm Trockengewicht des Bodenmaterials.

Die Experimente belegen, dass die niedrige Methanbildung in den Unterbodenhorizonten auf Substratmangel zurückzuführen ist und nicht auf die niedrigen Temperaturen in diesen Horizonten beruht (vgl. Abb. 2A und 2C). Nach Zugabe von Glukose, die gut umsetzbar im Zuge der anaeroben Nahrungskette ist, konnte die Methanbildung in allen Horizonten erheblich gesteigert werden. Noch deutlicher war der Effekt nach Zugabe von Wasserstoff, der direkt von den methanbildenden Organismen genutzt werden kann. Mittels Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung konnten Populationsunterschiede in Abhängigkeit von der Temperatur und dem zur Verfügung stehenden Substrat aufgezeigt werden. Einige der erhaltenen Bakterienreinkulturen scheinen eine Anpassungsfähigkeit an kalte Temperaturen aufzuweisen. Die in der Synthesephase fortgeführte Charakterisierung der Isolate muss diese sich abzeichnende Eigenschaft jedoch noch bestätigen.

Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass in den durch niedrige *insitu* Temperaturen gekennzeichneten Permafrosthorizonten oberhalb der Permafrosttafel eine an kalte Temperaturen angepasste Bakteriengemeinschaft (psychrophile Organismen) existiert, während im Oberboden, der zum Teil deutlich höhere Temperaturen als 10°C aufwies, eine mesophile Bakteriengemeinschaft, die eine mittlere Temperatur zum Wachstum benötigt, überwiegt. Eine genaue Kenntnis über die ökologischen und physiologischen Eigenschaften der Bakteriengemeinschaft stellt die Grundlage für eine Prognose über die Auswirkungen veränderter Klimabedingungen hinsichtlich der Kohlenstoffdynamik in Permafrostböden dar.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Tundren hinsichtlich ihrer Standorteigenschaften durchaus keine gleichförmigen Ökosysteme sind. Für die Abschätzung der CH<sub>4</sub>-Quellenstärke von arktischen Tundren ist eine differenzierte, kleinräumige Betrachtung der einzelnen Standorte und der an der Methanbildung und -oxidation beteiligten Prozesse hinsichtlich ihres Methanfreisetzungspotentials notwendig. Die vorliegenden Ergebnisse werden in der Synthesephase aufgearbeitet und publiziert.





## Teilprojekt 2: Mikrobielle Lebensgemeinschaften und CO<sub>2</sub>- Fluss in Permafrostlandschaften

### Zielsetzung

Mikroorganismen in Permafrostböden sind extremen Umweltbedingungen ausgeliefert. Kurze Vegetationsperioden, niedrige Nährstoffeinträge sowie lange Zeiten sehr niedriger Temperaturen vermindern die Stoffwechselaktivität und Umsatzleistungen. Die Abbauprozesse, insbesondere die Atmung der Bodenorganismen reagieren unter diesen Lebensbedingungen rasch auf Änderungen von Temperatur und Feuchte.

Vorhaben des Teilprojektes 2 sind Untersuchungen zum Permafrostboden in seiner Rolle als Kohlendioxidquelle und Modifikation desgleichen aufgrund zyklischer Gefrier- und Auftauprozesse. Zu dieser Thematik wurden folgende Fragestellungen behandelt: a) welchen Einfluss haben die Bodentemperaturen im Jahresgang auf die mikrobielle Aktivität, b) die Erfassung der potentiellen Kohlendioxidproduktion in der Auftauzone an repräsentativen Messfeldern im Lena-Delta und c) wie verhält sich der Permafrostboden bei Temperaturwechseln hinsichtlich seiner bodenphysikalischen Eigenschaften. Die Felduntersuchungen und Probennahmen wurden auf der Insel Samoylov im südlichen Bereich des Lena-Deltas durchgeführt.

### Arbeitsprogramm

Innerhalb der Projektlaufzeit war es zwischen 1998 und 1999 möglich, an mehreren Expeditionen teilzunehmen. Während der Feldzeiten wurden wichtige abiotische Einflussgrößen (Bodentemperatur, Bodenwassergehalte, Schneebedeckung etc.) für die mikrobiellen Lebensgemeinschaften und die physikalischen Eigenschaften des Bodens erfasst. Die Auswahl und die morphologische Ansprache der Untersuchungsstandorte wurden in Zusammenarbeit mit Teilprojekt 1 durchgeführt. Mit Hilfe der Infrarot-Gaswechsellmessanlage konnte die potentielle Bodenrespiration horizontweise an verschiedenen Standorten auf der Insel Samoylov ermittelt werden. Aus verschiedenen, diskreten Bodenhorizonten wurden hierzu Proben entnommen und in der Messkammer der Gaswechsellmessanlage kurzzeitig bei *in situ* Temperaturen inkubiert. Untersuchungen der Bodenluft erfassten die standortspezifischen und jahreszeitlichen Heterogenitäten der Kohlendioxidkonzentration im Boden.

Weiterführende Laboruntersuchungen ermöglichten die Beschreibung mikrobieller Lebensgemeinschaften (Bakterien, Pilze, Algen) sowie die Erfassung des Kohlenstoffanteils im Boden. Gefrierversuche mit Probenmaterial der Leitprofile erlaubten Aussagen über frostinduzierte Modifikationen der Bodenstruktur und ihre ökologische Bedeutung.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Messungen der potentiellen Bodenrespiration zeigen starke standortspezifische Unterschiede. Hauptgründe hierfür sind die aktuellen Bodentemperaturen und der Bodenwassergehalt. Mächtige organische Auflagenhorizonte reduzieren den sommerlichen Wärmefluss bei den „Eiskeilpolygonen“ von der Atmosphäre in den Boden. Die Folge ist eine geringe Auftauschicht mit relativ hohen Wassergehalten. Den Mikroorganismen steht ein Lebensraum zur Verfügung, der zwar ein gutes Nährstoffangebot aufweist, aber durch die Geringmächtigkeit, die geringen Bodentemperaturen und den Bodenwassergehalt limitiert wird. Höchste Produktionsraten werden daher nur in den ersten Bodenzentimetern erreicht.

Die Profile des „Sandkeilpolygons“ weisen insgesamt niedrigere potentielle Respiationsdaten auf. Hier steht den Mikroorganismen zwar ein insgesamt größerer Bodenbereich zur Verfügung (Auftautiefe ca. 70 cm), der auch aufgrund der fehlenden Isolationsschicht über höhere sommerliche Temperaturen verfügt, aber weniger Nährstoffe bereitstellt, die zu niedrigeren potentiellen Produktionsraten führen.

Betrachtet man die potentiellen Bodenrespiationsdaten im Profilverlauf, lassen sich zwei wesentliche Trends erkennen:

- Eine Erhöhung der Temperatur führt bei allen Proben zu einer Erhöhung der Kohlendioxid-Produktion
- In tieferen Zonen, z.T. unmittelbar vor der Permafrosttafel, lässt sich ein Anstieg der Aktivität nachweisen.

Eine Erhöhung der Aktivität mit der Temperatur bis zu einem Maximum ist in der Regel zu erwarten. Sowohl verschiedene Organismengemeinschaften als auch verschiedene Enzyme werden unter diesen Bedingungen in ihrem Aktivitätsbereich stimuliert werden, was sich in den Aktivitätsparametern, wie der Kohlendioxidproduktion, positiv niederschlägt. Für die Aktivitätserhöhung nahe der Permafrosttafel sind im wesentlichen Variationen in der Substratkonzentration und anderen Umweltbedingungen verantwortlich. Die besondere Verteilung der organischen Substanz und eine entsprechend darauf eingestellte bakterielle Population bedingt eine Erhöhung weiterer Stoffwechsellleistungen, insbesondere eine verstärkte Produktion eigener Biomasse. Diese These findet auch Bestätigung in der Analyse der bakteriellen Populationsgrößen, die häufig eine Zunahme in der Nähe der Permafrosttafel erfährt. Unter Einbeziehung der Temperaturverläufe während des Messzeitraumes und im Jahresgang (1997 bis 1999, Daten wurden von dem GAME-Projekt zur Verfügung gestellt) lassen sich aus den Respiationsdaten Modelle erstellen, mit denen sich sowohl die respiratorische als auch allgemein die mikrobielle Aktivität beschreiben lässt.

Die bodenmikrobiologischen Untersuchungen zeigen in einem Transekt durch den Apex eines „Eiskeilpolygons“ einen konstanten Verlauf, der bei ca. 10 cm durch eine extreme Abnahme um fast eine Zehnerpotenz unterbrochen wird. In zunehmender Tiefe steigen die Zellzahlen bis zur Permafrosttafel wieder leicht an. Im Polygonzentrum sind Zellzahlen zu finden, die leicht unterhalb von  $10^8$  Zellen/g Boden liegen. Dieser Wert ist weitestgehend konstant. Auch im



gefrorenen Boden sind keine größeren Veränderungen in der Zellzahl festzustellen. Auffallend ist die Tatsache, dass in allen Profilen im „Eiskeilpolygon“ ähnlich hohe Gesamtbakterienzahlen im gefrorenen Boden auftreten. Zwischen Zellzahl und Korngröße des Bodens besteht eine Korrelation. Generell nehmen die Zellzahlen mit steigendem Anteil an der Schlufffraktion zu. Grund hierfür ist, dass der von den Mikroorganismen besiedelte Raum – die Mittelporen – bei einem erhöhten Schluffanteil zunimmt.

Die Ergebnisse der Gefrierversuche zeigen, wie komplex sich der Gefriervorgang auf den Boden ausübt. Unabhängig vom Wassergehalt weisen feinkörnige Bodensubstrate ein völlig unterschiedliches Gefrierverhalten im Vergleich zu grobkörnigen Bodensubstraten auf. Verantwortlich hierfür sind im wesentlichen Aggregierungseffekte. Signifikante Mengen des Bodenwassers verbleiben auch unterhalb von 0°C im flüssigen Zustand. Je größer die Temperaturspanne ist, in der Anteile des Bodenwassers in einem gefrierenden Boden in flüssiger Form vorliegen, desto länger kann in Abhängigkeit von der hydraulischen Leitfähigkeit und der Wasserspannung ein Wassertransport in Richtung der Eisfronten stattfinden. Je sandiger das Bodensubstrat ist, desto mehr treten frostinduzierte Aggregierungseffekte in den Hintergrund. Je weniger luftgefüllte Poren der Boden aufweist, d.h. je höher der Wassergehalt ist, desto höher wird der Druck, der beim Gefrieren im Boden hervorgerufen wird. Starke Eisdrücke infolge von hohen Wassergehalten erniedrigen den Schmelzpunkt des Bodeneises, daraus resultierend kann der Tauprozess in der Probenmitte und nicht an den Enden beginnen.

Die Ergebnisse belegen, wie vielseitig Gefrier- und Tauprozesse physikalische und biologische Bodeneigenschaften beeinflussen können, und verdeutlichen, dass die Betrachtung einzelner Prozesse nicht isoliert erfolgen darf. Die Interaktionen aus biotischen und abiotischen Faktoren charakterisieren den Standort Boden und entwickeln ihn zu einem komplexen System. So wird z.B. die Emission von Bodengasen durch Prozesse gesteuert, die von der Bodenzusammensetzung (Textur, Gehalt an organischer Substanz etc.) abhängig sind, aber durch Auswirkungen des Bodenwassergehaltes und der Bodentemperatur auf den Gefrierprozess starken Schwankungen unterworfen sind.





### Teilprojekt 3: Marine Umweltreaktionen und Stoffumsätze

#### Zielsetzung

Umweltveränderungen in Sibirien können zu einschneidenden Störungen der Land-Meer-Wechselwirkungen und der Energie- und Süßwasserbilanz im Arktischen Ozean führen. Wichtige, für die Arktis spezifische Wechselwirkungen sind dabei an Prozesse gekoppelt, die auf den flachen und ausgedehnten sibirischen Schelfen ablaufen. Eine genauere Erfassung dieser Prozesse und ihrer Variabilität bildet daher die Grundlage für das Verständnis der Ursachen und Auswirkungen von Umweltveränderungen in dem extremen Geomilieu der sibirischen Arktis und stellt damit die Basis für eine wirklichkeitsnahe Interpretation natürlicher Klimaarchive sowie für die Erarbeitung von prognosefähigen Umweltmodellen.

Schelfgebiete nehmen eine Fläche von ungefähr 35% des Arktischen Ozeans ein. Das saisonale Abtauen der Eisdecke in den flachen Randmeeren hat zur Folge, dass hier die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Ozean am intensivsten sind. Darüber hinaus muss der gesamte, an den immensen Frischwassereintrag gekoppelte Energie- und Stofffluss von Land in die ozeanischen Becken die breiten sibirischen Schelfgebiete passieren. Die im Bereich dieser Schelfgebiete - die bis zu zehn Monaten unter Eisbedeckung liegen können - ablaufenden physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse, die diese Stoff- und Energieflüsse erheblich modifizieren können, sind im Wesentlichen noch unbekannt. Dabei kommt der Laptev-See aufgrund der ozeanographischen, geologischen und ökologischen Gegebenheiten eine Schlüsselrolle in der Erforschung dieser komplexen Wechselwirkungen zu. Erste Ergebnisse der Expeditionen TRANSDRIFT III und IV lassen vermuten, dass wichtige systemsteuernde Prozesse während der kurzen jahreszeitlichen Übergänge im Herbst (intensive Eisbildung) und Frühjahr (hoher Süßwassereintrag) ablaufen. Daher ist die Erfassung der saisonalen und jährlichen Variabilität des Frischwassereintrages und der systemsteuernden Schelfprozesse ein Schlüssel zum Verständnis des Gesamtsystems "Arktischer Ozean" und der Land-Meer-Wechselwirkungen in der Laptev-See.

Wissenschaftliche Ziele im Teilprojekt 3 konzentrierten sich auf:

- Die Erfassung der zeitlichen und räumlichen Variabilität physikalischer und chemischer Schlüsselprozesse im terrestrisch-marinen System der sibirischen Arktis mit Hilfe von geochemischen Indikatoren.
- Die Untersuchung der Ursachen und Folgen von Änderungen im Stoff- und Energietransport im Land-Meer-System während der letzten 100 Jahre mit Hilfe von numerischen Modellen.
- Beschreibung und Modellierung des Strömungssystems und der saisonalen und jährlichen Variabilität der Lage und Ausdehnung der offenen Wasserflächen der meereisbedeckten Laptev-See, der so genannten Laptev-See-Polynja.

### Arbeitsprogramm

Im Zentrum des wissenschaftlichen Interesses standen die Beschreibung, Modellierung und Simulation dieser komplexen Wechselwirkung und deren zeitlicher Variabilität (~ 100 Jahre). Erst die Erarbeitung von Simulationsmodellen und der Vergleich mit Felddaten ermöglichen eine genauere Interpretation historischer Datenaufzeichnungen und der Anzeiger klimatischer Veränderungen (Proxies) in natürlichen Datenarchiven wie den Sedimentkernen (Teilprojekt 9). Dieses Ziel konnte nur durch eine direkte Zusammenarbeit der russischen ozeanographischen Arbeitsgruppe mit den Mitarbeitern des Teilprojektes 3 erreicht werden. Die Kooperation umfasste dabei: a) die Planung der Messstrategie mit der gemeinsamen Nutzung von Messgeräten und der Auswertung identischer Proben- und Messdatensätze und b) die Auswertung der ozeanographischen, geochemischen und sedimentologischen Datensätze in Hinblick auf ihre Nutzung als Quelldatensätze für numerische Modelle. Die Weiterentwicklung des bereits bestehenden hydrodynamischen Basismodells durch den erfahrenen russischen Projektpartner (AARI) bildeten hierfür die Grundlage.

Für die Erstellung detaillierter Modelle innerhalb der Laptev-See fehlten bei Beginn des Verbundvorhabens Messungen und Beobachtungen des Strömungsfeldes, der Eisbildung und der Sedimentinkorporationsprozesse im Bereich der Polynja während der Wintermonate sowie die Beschreibung der jahreszeitlichen und jährlichen Variabilität einzelner biogeochemischer Schlüsselprozesse. Für Feldmessungen in der eisbedeckten Laptev-See wurde daher eine Winterexpedition durchgeführt (TRANSDRIFT VI).

Während der Expeditionen TRANSDRIFT V und VII konnten in den gleichen Untersuchungsgebieten die aktiven physikalischen und chemischen Prozesse während der eisfreien Sommermonate erfasst werden. Der Vergleich zwischen der Sommer- und Wintersituation ermöglicht eine genauere Beschreibung der jahreszeitlichen Variabilität der physikalischen und chemischen Prozesse innerhalb der südöstlichen Laptev-See. Die Entwicklung wirklichkeitsnaher Modelle verlangt jedoch Messungen bzw. Quelldaten, die längere Zeiträume (mindestens ein Jahresgang) mit einer für die Erfassung kurz- und mesoskaliger (Stunden bis Wochen) Variabilität ausreichenden Auflösung abdecken. *In situ* Messungen mit zwei automatischen Messstationen am Meeresboden lieferten im Rahmen der Expedition TRANSDRIFT V die Datengrundlage. Die Messstationen wurden an Schlüsselpositionen innerhalb der südöstlichen Laptev-See verankert. Die Lokationen wurden in Zusammenarbeit mit L. Timokhov und I. Dmitrenko ausgewählt und lagen a) in einer ca. 20 m tiefen Rinne 30 Seemeilen vor dem Hauptausstrom der Lena und b) in 50 m Tiefe in der nördlichen Yana-Rinne nordwestlich der Insel Belkovskiy. Beide Systeme wurden während der Expedition TRANSDRIFT VII wieder geborgen. Mit Beendigung der Expedition war somit die Datenerhebung abgeschlossen.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Alle im Arbeitsprogramm für 2000 aufgeführten Aufgaben konnten termingerecht und im Rahmen der beantragten Mittel durchgeführt werden:

#### *Erfassung der zeitlichen und räumlichen Variabilität physikalischer Schlüsselprozesse*

Im Zeitraum August 1998 bis September 1999 wurden Meeresobservatorien an Schlüsselpositionen der Laptev-See verankert. In den Meeresobservatorien waren sowohl eine Breitband-ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) als auch eine CTD (Conductivity Temperature Density Meter) installiert. Dadurch konnten erstmals in der wissenschaftlichen Erforschung der Laptev-See Daten über den Jahresgang von Temperatur, Salinität, Sauerstoff im bodennahen Wasserkörper und das Strömungsregime in der gesamten Wassersäule erhoben werden.

Die bisherige Auswertung der Daten der Meeresbodenobservatorien verdeutlicht die Bedeutung der atmosphärischen Antriebsbedingungen für das Strömungsregime und die Transportprozesse in der Laptev-See. An der Station YANA (vergl. Zwischenbericht 1998 und 1999) wurden starke, nicht periodische südöstliche Strömungen mit Geschwindigkeiten bis zu 59 cm/s erfasst. Diese im Laufe des Beobachtungszeitraumes 28mal auftretenden Strömungsereignisse - die durchschnittlich 3 bis 7 Tage andauerten - haben einen starken Einfluss auf das gesamte Strömungsregime im Beobachtungsgebiet und treten auch im Winter auf, wenn die Polynja im Bereich der Laptev-See deutlich ausgeprägt ist. Das Meeresbodenobservatorium LENA (vergl. Zwischenbericht 1998 und 1999) zeigt diese Strömungsereignisse dagegen nur während der Wintersaison.

Diese Strömungen werden durch südöstliche Winde verursacht, die den Meeresspiegel in der südöstlichen Laptev-See bis zu 84 cm senken. Die Strömungen unterhalb der Dichtesprungschicht versuchen die durch den Wind verursachte Deformation des Meeresspiegels auszugleichen und verlaufen daher in die dem Windschub entgegengesetzte Richtung, wobei sie auch von der Topographie des Meeresbodens stark beeinflusst werden.

Im Winter 98/99 verursachten diese Strömungsereignisse die Advektion von wärmeren Wassermassen aus dem Bereich des Kontinentalhanges (atlantisches Zwischenwasser) in den Bereich der Lena-Rinne, wo sich die Bodenwasser-Temperatur innerhalb von wenigen Tagen um 0,2 bis 0,3 °C auf –1,3 °C erhöhte. Dieser Wärmetransport auf den Schelf hat vermutlich direkte Konsequenzen für die Dynamik der Eisproduktion und Ausbildung der Polynja in der Laptev-See haben.

#### *Erfassung der zeitlichen und räumlichen Variabilität chemischer Schlüsselprozesse*

Es konnte gezeigt werden, dass Schlüsselprozesse im Bereich der Laptev-See eine starke saisonale und räumliche Variabilität aufweisen.

Das wichtigste Ereignis für den Eintrag und den Transport von gelösten und partikulären Substanzen auf dem Schelf ist der Flussaufbruch der sibirischen Ströme im Frühjahr. Allein im

Juni schüttet die Lena 35 Prozent ihres jährlichen Süßwassereintrages in die noch eisbedeckte Laptev-See. Während dieses Ereignisses werden zirka 10 Millionen Tonnen an Sedimenten – über 50 Prozent des jährlichen Eintrages - in den Bereich der östlichen Laptev-See transportiert. Dabei kommt es durch Wechselwirkungen zwischen Partikeln und der Wassersäule zu erhöhten Konzentrationen von Metallen in der gelösten Phase. Bisherige Modelle für den Transport von Metallen in den Arktischen Ozean haben diesen Prozess nicht berücksichtigt und unterschätzen daher den Transport von Spurenmetallen in den Arktischen Ozean (Hölemann et al., in prep.). Die neuen Ergebnisse zeigen, dass die partikulären Substanzen in dem deutlich geschichteten Wasserkörper in der eisbedeckten östlichen Laptev-See in einer oberflächennahen Nepheloidlage weit auf den Schelf transportiert werden können, wo sie dann absinken und in einer bodennahen Nepheloidlage weiterbewegt werden. Die räumliche Ausdehnung dieser Nepheloidlage und die geochemische Signatur der Oberflächensedimente in der Laptev-See (Hölemann et al., 1999) zeigen, dass der Sedimenteintrag durch Küstenerosion nur für die Küstengebiete von größerer Bedeutung ist. Ein Eintrag von feinkörnigen Sedimenten in den Bereich des mittleren Schelfs ist nur während Sturmphasen im Laufe der eisfreien Sommermonate (August und September) wahrscheinlich.

Die erstmalige Beschreibung der Bedeutung des Einstromes von atlantischem Mischwasser auf die biogeochemischen und sedimentologischen Prozesse im Bereich des mittleren und äußeren Schelfs ist ein weiteres wichtiges wissenschaftliches Ergebnis, das im Teilprojekt 3 erzielt wurde. Es konnte gezeigt werden, dass auf dem Schelf in Wassertiefen unterhalb von 50 m die Temperatur, Salinität und der Nährstoffgehalt deutlich durch die Advektion von atlantischem Mischwasser aus dem Bereich des Kontinentalhangs beeinflusst werden. Dabei ist die Ausdehnung dieses wärmeren, salzigeren und nährstoffreichen Wasserkörpers stark von den atmosphärischen Antriebsbedingungen und der Eisbedeckung - insbesondere der Öffnung der Küsten-Polynja während der Wintermonate – abhängig. Die Umweltbedingungen am Meeresboden im Bereich des mittleren und äußeren Laptev-See-Schelfes sind daher nicht nur durch den saisonal variablen Flusswassereintrag, sondern im Wesentlichen durch die atmosphärische Zirkulation und den daran gekoppelten Eintrag von atlantischem Mischwasser geprägt.

#### *Modellierung des Strömungssystems und der saisonalen und jährlichen Variabilität der Lage und Ausdehnung der Laptev-See-Polynja*

Ein wichtiges wissenschaftliches Ziel des Teilprojektes 3 ist die Zusammenarbeit mit russischen Wissenschaftlern bei der Entwicklung prognosefähiger Modelle für die Laptev-See. In der ersten Phase dieses Vorhabens steht die Modellierung des Strömungssystems im Vordergrund. Für die Dateneingabe und die Nutzung der Rechenanlage am AARI wurde ein Gewerk vergeben.

Hauptziel der modellierenden Arbeitsgruppe im Jahr 2000 waren die Simulation des dreidimensionalen Strömungssystems der Laptev-See und der Vergleich der Ergebnisse des mathematischen Modells mit den tatsächlich von den ADCPs erfassten Strömungsbedingungen. In einem ersten numerischen Experiment wurden Strömungen auf der Basis der beobachteten Salzgehalts- und Temperaturverteilungen in der Laptev-See und unter konstanten Windgeschwindigkeiten aus verschiedenen Richtungen errechnet. Dabei zeigten sich im Bereich der submarinen Rinnen im bodennahen Bereich Strömungen, die gegen die Windrichtung und die Strömungen im Oberflächenwasser verlaufen. Das Ergebnis dieser Simulation ist von besonderer Wichtigkeit, weil gezeigt werden konnte, dass das numerische Modell in der Lage ist, die in den Rinnen von den ADCP-Meeresbodenobservatorien erfassten Gegenströmungen zu reproduzieren.

In einem zweiten numerischen Experiment wurden die Strömungen mit verschiedenen atmosphärischen Druckfeldern für das Jahr 1998 errechnet. Dabei zeigte sich eine komplexe räumliche Struktur mit sehr unterschiedlichen Transportrichtungen für verschiedene atmosphärische Antriebsbedingungen. Mit diesen Arbeiten wurden ein wichtiger Schritt für die Verbesserung des dreidimensionalen Strömungsmodells erreicht und die Basis für die Kopplung verschiedener Modelle geschaffen (z.B. Integration eines Sedimenttransport-Moduls).







## Teilprojekt 4: Atmosphärischer Eintrag von natürlichen Radioisotopen

### Zielsetzung

Das Ziel des Teilprojekts 4 ist die Rekonstruktion paläoklimatischer Bedingungen im Schelf- und Kontinentalgebiet der Laptev-See. Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen liegt dabei auf der Quantifizierung und Rekonstruktion der Transportprozesse des kosmogenen Nuklids  $^{10}\text{Be}$ . Die  $^{10}\text{Be}$ -Konzentration in der Wassersäule und den Sedimenten soll es ermöglichen, den Eintrag von kontinentalem  $^{10}\text{Be}$  mit Flusssystemen aus dem sibirischen Hinterland in das Schelfgebiet der Laptev-See zu bestimmen.

Ferner dient die  $^{10}\text{Be}$ -Konzentrationsmessung dazu, an Sedimentkernen aus dem Schelfgebiet der Laptev-See Altersdatierung vornehmen zu können.  $^{10}\text{Be}$  hat sich als wichtigstes Datierungswerkzeug erwiesen, da in den hohen nördlichen Breiten aufgrund fehlenden biogenen Karbonats eine konventionelle Sauerstoffisotopenstratigraphie oftmals schwierig ist. Um anhand der ermittelten  $^{10}\text{Be}$ -Profile an Sedimentkernen Altersdatierungen vornehmen zu können, müssen die Quellen und Senken für das Radionuklid bekannt sein.  $^{10}\text{Be}$  wird in der Atmosphäre produziert und gelangt durch Niederschlag auf die Erdoberfläche. Im Gebiet der Laptev-See wird der  $^{10}\text{Be}$ -Eintrag neben der direkten atmosphärischen Komponente zusätzlich durch den Eintrag von auf dem Kontinent abgelagerten „kontinentalem“  $^{10}\text{Be}$  durch die Flusssysteme bestimmt.

Im Rahmen des Projekts wurden  $^{10}\text{Be}$ -Depositionsflussdichten im zentralen eurasischen Teil des Arktischen Ozeans und im Schelf- und Kontinentalhangbereich der Laptev-See untersucht. Vergleicht man die Depositionsflussdichten mit dem atmosphärischen  $^{10}\text{Be}$  Eintrag von  $(0,2-0,5) \cdot 10^6 \text{ at a}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ , so lässt sich im Schelfgebiet der Laptev-See mit  $(20 \pm 5) \cdot 10^6 \text{ at a}^{-1} \text{ cm}^{-2}$  eine deutliche Beeinflussung durch kontinentales  $^{10}\text{Be}$  ausmachen.

Die Ergebnisse der  $^{10}\text{Be}$ -Messungen in den jeweiligen Reservoiren Atmosphäre und Sediment und die Ermittlung der  $^{10}\text{Be}$ -Konzentration in Wasserproben bilden die Grundlage für ein von uns programmiertes Modell. Anhand der gemessenen und modellierten  $^{10}\text{Be}$ -Konzentrationen im Vergleich können die rezenten Transportwege von  $^{10}\text{Be}$  reproduziert und dadurch die Transportwege in den letzten 130.000 Jahren rekonstruiert werden. Mit Hilfe der berechneten  $^{10}\text{Be}$ -Depositionsflussdichten ist es möglich, Ereignisse wie Eisschmelzen oder Änderungen im Flusseintrag zu identifizieren und die vorherrschenden klimatischen Bedingungen zu erfassen.

Arbeitsprogramm

*Rezenter atmosphärischer Eintrag von <sup>10</sup>Be in hohen nördlichen Breiten*

Im Rahmen der Projektes „System Laptev-See 2000“ werden die atmosphärischen <sup>10</sup>Be-Depositionsflussdichten in Grönland, dem zentralen Arktischen Ozean, auf Severnaya Zemlya und in der Laptev-See (Abbildung 1) bestimmt. Hierbei zeigt sich, dass der atmosphärische <sup>10</sup>Be Eintrag im Nordpolarmeer (Tabelle 1) deutlich geringere Werte als in Nordamerika aufweist.

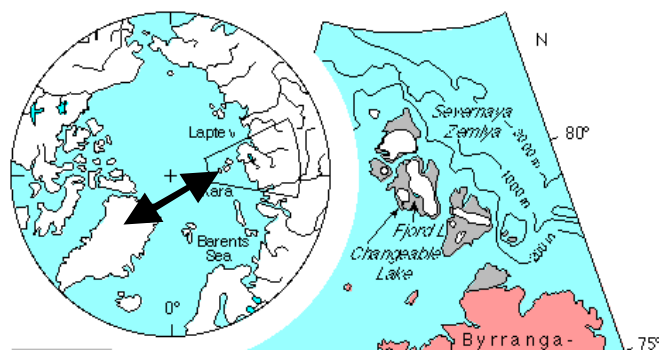


Abb. 1: Lokationen im Nordpolarmeer, an denen der atmosphärische <sup>10</sup>Be-Eintrag bestimmt wurde.

Der atmosphärische <sup>10</sup>Be-Eintrag in den Arktischen Ozean kann durch die Messung der <sup>10</sup>Be-Konzentrationen an 14 Meereisproben (Abbildung 2) bestimmt werden. Der mittlere atmosphärische Eintrag in dieses Gebiet berechnet sich demzufolge unter Berücksichtigung der mittleren <sup>10</sup>Be-Konzentration von  $1,15 \cdot 10^4 \cdot \text{at g}^{-1}$  und einer realistischen Niederschlagsrate von  $1 \text{ mm Tag}^{-1}$  zu  $0,32 \cdot 10^6 \text{ at a}^{-1} \text{ cm}^2$ . Dieser Wert spiegelt den von Stanzick (1996) berechneten Eintrag von  $(0,3 - 0,4) \cdot 10^6 \text{ at a}^{-1} \text{ cm}^2$  wider.

Tab. 1: Atmosphärische <sup>10</sup>Be-Flussdichten

| Lokation          |        | Zeitraum    | Atmosphärischer <sup>10</sup> Be Eintrag [at g <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ] |
|-------------------|--------|-------------|---|
| Grönland (B21)    | 80.0°N | 1994 – 1982 | $0.14 \pm 0.03 \cdot 10^6$  |
| Grönland (B18)    | 76.6°N | 1993 – 1980 | $0.16 \pm 0.03 \cdot 10^6$  |
| Grönland (B16)    | 73.9°N | 1993 – 1979 | $0.27 \pm 0.05 \cdot 10^6$  |
| Severnaya Zemlya  |        | 1998 - 1992 | $0.18 \pm 0.05 \cdot 10^6$  |
| Arktischer Ozean  |        | 1999        | $0.32 \pm 0.15 \cdot 10^6$  |
| Laptev-See-Schelf |        | 1996 – 1997 | $0.50 \pm 0.15 \cdot 10^6$  |
| Nordamerika       |        | 1985        | $1.21 \pm 0.26 \cdot 10^6$  |

<sup>10</sup>Be-Konzentrationen in Wasserproben

Die Laptev-See zeichnet sich durch hohe Flusseinträge von Lena, Yana und Khatanga aus. Ein wesentliches Ziel ist es, den Eintrag von kontinentalem <sup>10</sup>Be über Flusssysteme in das Schelfgebiet der Laptev-See zu untersuchen. Es wurden während der Expeditionen TRANSDRIFT II (Kassens, 1994) und TRANSDRIFT III (Kassens, 1995) Wasserproben entnommen. Die Probenlokationen im Schelfgebiet der Laptev-See sind in der Abbildung 2 dargestellt.

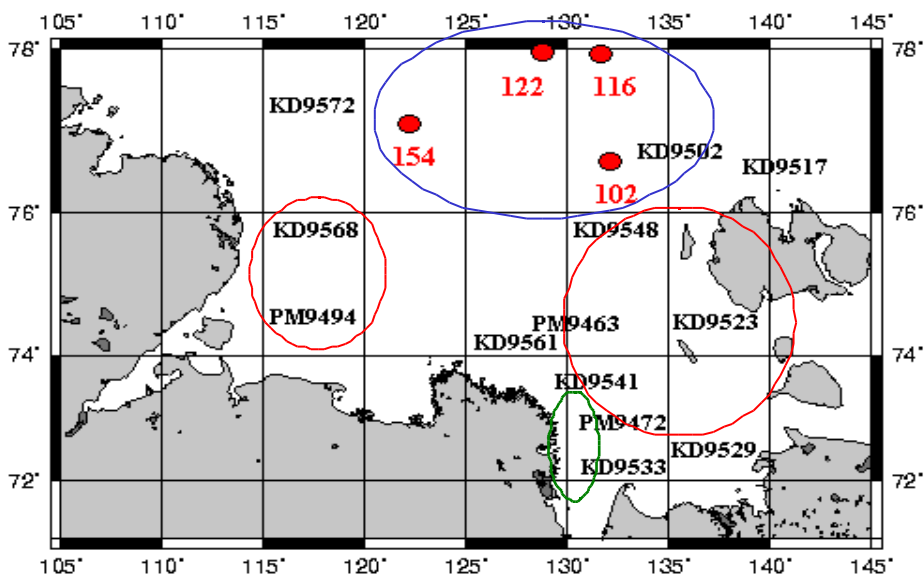


Abb. 2: Lokationen der Wasserprofile aus dem Schelfgebiet der Laptev-See.

Tab. 2: Totale <sup>10</sup>Be-Konzentrationen der bearbeiteten Wasserproben aus dem Mündungsbereich der Lena.

| Lokation  | Wassertiefe (m) | <sup>10</sup> Be (Atom g <sup>-1</sup> ) | Salinität |
|-----------|-----------------|--|-----------|
| PM9472-3  | 2               | 5740 ± 600                               | 5,2       |
| PM9463-1  | 2               | 2150 ± 300                               | 21        |
| PM9463-1  | 30              | 3135 ± 520                               | 31        |
| KD9561-1  | 0               | 1970 ± 150                               | ?         |
| KD9529-16 | 0               | 2430 ± 125                               | 12,6      |
| KD9523-4  | 5               | 1610 ± 200                               | 17,0      |
| KD9523-4  | 10              | 1750 ± 200                               | 19,0      |
| KD9523-4  | 20              | 1880 ± 200                               | 20,0      |
| KD9517-7  | 0               | 2460 ± 130                               | ?         |
| KD9502-8  | 5               | 1910 ± 200                               | 20,2      |

Im Übergangsbereich zwischen Delta und Schelfgebiet ist die größte totale  $^{10}\text{Be}$ -Konzentration aufzufinden. Mit zunehmender Distanz zum Mündungsbereich werden die  $^{10}\text{Be}$ -Konzentrationen noch kleiner, weisen aber bis zum Übergangsbereich zwischen Schelf und Kontinentalhang noch Konzentrationen zwischen 2.000 und 3.000  $\text{at g}^{-1}$  auf. Da die  $^{10}\text{Be}$ -Konzentrationen im Kontinentalgebiet in etwa den  $^{10}\text{Be}$ -Konzentrationen im zentralen Arktischen Ozean entsprechen, ist dies ein deutliches Indiz dafür, dass die Atmosphäre die Hauptquelle für  $^{10}\text{Be}$  im zentralen Bereich der Arktis darstellt. Im Schelf-Gebiet der Laptev-See hingegen überwiegt der Eintrag von kontinentalem  $^{10}\text{Be}$  durch Flüsse den atmosphärischen Eintrag um Größenordnungen. Demzufolge haben selbst drastische Änderungen im Budget von  $^{10}\text{Be}$  im Schelfgebiet der Laptev-See keine Auswirkungen auf die Prozesse im zentralen Arktischen Ozean.

#### *„ $^{10}\text{Be}$ -Stratigraphie“ an Sedimentkernen*

Ziel der Radionukliduntersuchungen in der Laptev-See ist die Datierung von Sedimentkernen sowie die Rekonstruktion der paläoklimatischen Bedingungen. Das kosmogene Radionuklid  $^{10}\text{Be}$  stellt einen sensiblen Indikator für klimatische Veränderungen im Arktischen Ozean während der letzten 1 Million Jahre dar. Untersuchungen an Sedimentkernen aus der Norwegischen und Grönländischen See ergaben eine hohe  $^{10}\text{Be}$  Konzentration im Sediment während der Interglazialstadien. Eine deutlich geringere Konzentration wurde während der Glazialstadien beobachtet (Eisenhauer et al., 1994). Diese deutlichen Konzentrationsänderungen an den Klimaübergängen ermöglichen eine stratigraphische Zuordnung der einzelnen Isotopenstadien. Eine so genannte „ $^{10}\text{Be}$ -Stratigraphie“ kann somit für die Gebiete hoher Breiten erstellt werden.

#### *Depositionsflussdichte gemessener und modellierter $^{10}\text{Be}$ -Konzentration*

Aus der Abhängigkeit zwischen der  $^{10}\text{Be}$ -Konzentration, der Sedimentationsrate, der Trockenraumdichte und der Kerntiefe kann die Depositionsflussdichte im Sediment ermittelt werden. Dadurch wird es möglich, die verschiedenen Depositionsflussdichten an verschiedenen Lokationen in den jeweiligen Isotopenstadien miteinander in Beziehung zu setzen. Neben der Ermittlung der Depositionsflussdichte aus gemessenen  $^{10}\text{Be}$ -Konzentrationen kann die Flussdichte auch anhand eines numerischen Boxmodells reproduziert werden. In dieses Modell gehen Parameter wie atmosphärischer Eintrag, Produktion in der Wassersäule, Flusseinträge, Wassermassenaustausch, radioaktiver Zerfall und Sedimentation ein.

Tab. 3: Mit dem Modell berechnete und gemessene <sup>10</sup>Be-Wasserkonzentrationen und Depositionsflussdichte.

| <b><sup>10</sup>Be Wasserkonzentrationen (at g<sup>-1</sup>)</b>                                  |           |      |         |          |
|---|-----------|------|---------|----------|
| <b>Messung</b>  | 2000-5000 | ???  | 400-600 | 300-1000 |
| <b>Modell</b>   | 4300      | 2500 | 450     | 550      |
| <b><sup>10</sup>Be Depositionsflussdichten 10<sup>6</sup> (at cm<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)</b> |           |      |         |          |
| <b>Messung</b>  | 20,0      | 2,4  | 0,4     | 1,00     |
| <b>Modell</b>   | 21,6      | 4,00 | 0,35    | 0,69     |

Der Vergleich zwischen den Messungen der <sup>10</sup>Be-Wasserkonzentrationen und der Depositionsflussdichten weist eine sehr gute Übereinstimmung mit den Modellergebnissen auf. Dies deutet darauf hin, dass die rezenten <sup>10</sup>Be-Transportwege anhand des numerischen Modells reproduziert werden können. Die Änderungen der Transportwege stellt einen Anzeiger für die vorherrschenden paläoklimatischen Bedingungen dar.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Untersuchungen des Radionuklids <sup>10</sup>Be an Wasserproben und Sedimentkernen aus dem Schelfgebiet der Laptev-See geben einen Einblick, welchen Einfluss die sibirischen Flusssysteme auf die <sup>10</sup>Be-Bilanz im Arktischen Ozean haben. Hierzu werden die ermittelten <sup>10</sup>Be-Depositionsflussdichten in den Schelfsedimenten dem atmosphärischen <sup>10</sup>Be Eintrag in Grönland gegenübergestellt.

In der Laptev-See, im unmittelbaren Ausflussgebiet der Lena, zeigen die <sup>10</sup>Be Depositionsflussdichten einen deutlichen Rückgang mit anwachsender Entfernung vom Ausflussgebiet. In einer Distanz von etwa 200 km erreichen die Depositionsflussdichten nur noch Werte von  $(20 \pm 5) \cdot 10^6$  at a<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup> auf. Vergleicht man diese Flussdichten mit dem atmosphärischen Eintrag von  $(0,2-0,5) \cdot 10^6$  at a<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup> in Grönland (Stanzick, 1996), lässt sich ein deutlicher Eintrag von kontinentalem <sup>10</sup>Be über die sibirischen Flüsse ableiten. Die im Kontinentalgebiet der Laptev-See bestimmten <sup>10</sup>Be-Flussdichten liegen im Bereich von  $(2-7) \cdot 10^6$  at a<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup>. Diese Flussdichten sind gegenüber dem atmosphärischen Eintrag erhöht, während der Eintrag von kontinentalem <sup>10</sup>Be praktisch zu vernachlässigen ist.

Im zentralen Arktischen Ozean liegen die <sup>10</sup>Be-Flussdichten im Bereich zwischen  $(0,2-0,6) \cdot 10^6$  at a<sup>-1</sup> cm<sup>-2</sup> und entsprechen dem rezenten atmosphärischen <sup>10</sup>Be-Eintrag in Grönland. Aus diesen Untersuchungen kann gefolgert werden, dass die sibirischen Flusssysteme wie Lena, Yana und Khatanga große Mengen an kontinentalem <sup>10</sup>Be aus dem sibirischen Hinterland in den Arktischen Ozean transportieren. Diese werden heutzutage zum überwiegenden Teil direkt im Mündungsbereich wieder abgelagert. Die Sedimentkerne aus dem Kontinentalhanggebiet

zeichnen sich hingegen nur durch eine geringe Beeinflussung durch kontinentales  $^{10}\text{Be}$  aus.

### Referenzen

- Eisenhauer, A., R.,F., Spielhagen, M. Frank, G. Hentzschel, A. Mangini, P.W. Kubik, B. Dittrich-Hannen, and T. Billen (1994)  $^{10}\text{Be}$  records of sediment cores from high northern latitudes. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 124, pp. 171-184.
- Kassens, H. and V.Y. Karpiy (1994) Russian-German Cooperation: the Transdrift I expedition to the Laptev Sea. *Reports on Polar Research* 151, 168 pp.
- Kassens, H. (1995) Laptev Sea System: Expeditions in 1994. *Reports on Polar Research* 182, 195 pp.
- Stanzick, A. (1996) räumliche und zeitliche Depositionsvariationen der Radioisotope  $^{10}\text{Be}$  und  $^{210}\text{Pb}$  in Eisbohrkernen Zentralgrönlands. Diplomarbeit, Institut für Umweltphysik Heidelberg.



## Teilprojekt 5: Sensibilität mariner arktischer Ökosysteme

### Zielsetzung

Marine Organismen in der Arktis werden in besonderem Maße durch kurze Perioden pelagischer Primärproduktion, tiefe Temperaturen und eine fast ganzjährige Eisbedeckung beeinflusst. In der Laptev-See ist ein weiterer bestimmender Faktor der stark saisonal gepulste Süßwassereinstrom der Lena. Die Untersuchung mariner Stoffflüsse ist heutzutage Bestandteil jeder ökosystemaren Untersuchung. In der flachen Laptev-See sind Stoffflüsse von besonderer Bedeutung, da durch die geringen Tiefen eine enge Kopplung zwischen Primärproduzenten und Sekundärproduzenten zu erwarten ist. Prozesse an der Oberfläche wirken sich zeitnah bis auf das Benthos, das als sogenanntes „Gedächtnis“ mariner Prozesse bezeichnet wird, aus.

In diesem Teilprojekt 5 wurden die drei Habitate Meereis, Pelagial und Benthos untersucht. Besonderes Augenmerk sollte hierbei auf den Energie- und Kohlenstofffluss durch das marine Nahrungsnetz gerichtet werden. Das Meereis stellt einen einzigartigen Lebensraum für Eisalgen und eisassoziierte Fauna (Sympagial) dar. Bei der Eisschmelze werden diese Organismen in die Wassersäule freigesetzt oder wandern aktiv ab. Dort stellen sie einen Teil der Erstbesiedler im Frühjahr; einige Arten gelangen sogar in das Benthos. Nach der Eisschmelze wird vorwiegend im sehr kurzen Sommer anorganischer Kohlenstoff durch Phytoplankton gebunden (Primärproduktion) und gelangt über die Nahrungskette oder über Sedimentationsprozesse schließlich ins Benthos. Im Einzelnen stellten sich Fragen zu folgenden Themenkomplexen: a.) die Primärproduktion sowie die Artenzusammensetzung und Verteilung der planktischen Algen sollte bestimmt werden, b.) die wichtige Rolle des Epibenthos bei der Transformation organischen Kohlenstoffes sollte mit Hilfe der Respirationsversuche und bildgebender Methoden beschrieben werden, c.) die Stoffflüsse sollten quantifiziert werden.

### Arbeitsprogramm

Im Frühjahr 1999 konnten während der Expedition TRANSDRIFT VI erstmals das „Erwachen“ der kohlenstofffixierenden Algengemeinschaften nach dem polaren Winter und die Aktivität der auf dem Meeresboden lebenden Tiere im Bereich der Polynja beobachtet werden. Neben den biologischen Standardmessungen zur qualitativen und quantitativen Beschreibung der Algen konnte erstmals die Primärproduktion der Eisalgen sowie des Phytoplanktons an der Polynja ermittelt werden. Gleichzeitig wurde die Aktivität der Benthosorganismen anhand des Gesamtsauerstoffverbrauchs bestimmt. Fotografische Aufnahmen der Untereisfauna dienten der Erfassung von Abundanzen und Artenzusammensetzung. Im Sommer 1999 wurden während der Expedition TRANSDRIFT VII umfangreiche Arbeiten zur Nahrungssituation und Entwicklung des Zooplanktons in der Laptev-See durchgeführt. Auf der Grundlage

phytoplanktologischer Basisparameter (Abundanz, Chlorophyll *a*-Gehalt) wurde die Atmungsaktivität charakteristischer Zooplankter mit Hilfe zweier Methoden quantifiziert. Für die Untersuchung der Reservestoffe der Zooplankter (Lipide) wurden Proben genommen, die in Kiel im Rahmen einer Diplomarbeit weiterbearbeitet wurden.

Im Jahr 2000 fand unter Beteiligung des Teilprojektes 5 die Expedition TRANSDRIFT VIII statt. Während der Expedition wurden die Veränderungen in der Vertikalverteilung des Zoo- und Phytoplanktons untersucht. Hierzu wurden an drei Langzeitstationen alle vier Stunden Wasserproben genommen und stratifizierte Netzfänge durchgeführt. Die Auswertung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit E. Abramova vom Lena-Delta Reservat in Tiksi. Erste Ergebnisse wurden von Frau Abramova im Rahmen ihres Otto-Schmidt-Labor-Stipendiums auf dem „European Marine Biology Symposium 2001“ vorgestellt. DNA-Analysen im Sediment als Biomasseindikator vervollständigten die Arbeiten an Bord.

Laborarbeiten umfassten im Rahmen zweier Diplomarbeiten die Auswertung von benthischen und pelagischen Proben. Zooplanktonproben wurden hinsichtlich Artzusammensetzung, Abundanz, Biomasse und Lipidgehalt und –zusammensetzung ausgewertet. Die benthischen Proben wurden für die Artzusammensetzung, die Biomasse und deren Verteilung analysiert und mit abiotischen Parametern wie Salzgehalt, Temperatur, Sedimentstruktur und –zusammensetzung korreliert. Die Untersuchungen zur Struktur der Nahrungsnetze sowie die Bilanzierung der Kohlenstoffflüsse wurde weiter vorangetrieben. Außerdem wurde eine Datenbank erstellt, in der die biologischen Daten zusammengefasst werden. Die Daten werden dann für alle Teilprojekte über das Internet abrufbar sein.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Phytoplanktongemeinschaften der Laptev-See wurden hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und Ökologie im Rahmen der Doktorarbeit von K. Tuschling (1999) untersucht. Es konnten deutliche Unterschiede zwischen den Phytoplanktongemeinschaften der drei Jahreszeiten sichtbar gemacht werden. Im Frühjahr wurden auf den nördlichen Stationen Phytoplanktonblüten unter dem Eis mit maximal  $7,4 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-3}$  beobachtet; an den südlichen Stationen wurden Chl *a*-Konzentrationen von  $0,1\text{-}1,3 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-3}$  angetroffen. Im Sommer war die Biomasse generell höher und zeigte ebenfalls vereinzelt Phytoplanktonblüten. Während des Herbstes war die Phytoplanktonbiomasse weit geringer als während der anderen Jahreszeiten. Zur Gesamtbiomasse der Phytoplankter und Bakterien trugen Bakterien im Mittel mehr als 50% bei.

Die meisten der identifizierten Phytoplanktonarten waren euryhaline Formen, die ein arktisch-boreales Verbreitungsgebiet besitzen. Während des Frühjahrs und Sommers waren Diatomeen hinsichtlich der Abundanz und Biomasse das bedeutendste Taxon der Phytoplankter  $>15 \mu\text{m}$ . Zum Herbst hin nahm der Anteil der Dinoflagellaten zu. Im Bereich des Lena-Deltas waren zu allen Jahreszeiten Chlorophyceen vorhanden.



Die Faktorenanalyse wies deutliche Korrelationen zwischen der Biomasse der Phytoplankter 15 µm, dem Chl *a*-Gehalt und der Primärproduktionsrate nach. Die Entwicklung des Phytoplanktons in der Laptev-See wird ähnlich aus anderen arktischen Gebieten beschrieben. Die aus den Chl *a*-Konzentrationen bestimmten Biomassen dagegen waren im Vergleich zu den Maximalwerten anderer arktischer Untersuchungen eher gering. Die in dieser Untersuchung ermittelten maximalen POC-Gehalte hingegen hoch. Die Bedeutung des Einstroms der Lena in das Untersuchungsgebiet konnte mit der vorliegenden Untersuchung besonders im südlichen Bereich der Laptev-See beschrieben werden. Wie aus anderen Ästuargebieten berichtet, machten hier vermutlich allochthone Algen einen Teil des Phytoplanktons aus.

Die Verteilung der Biomassen und Abundanzen des Zooplanktons, unter besonderer Berücksichtigung kleiner Copepodenarten, sowie der Einfluss steuernder Faktoren wurde im Rahmen einer Diplomarbeit von J. Peters (2001) untersucht. Die Gesamtabundanzen des Zooplanktons schwankten stark zwischen 815 Individuen m<sup>-3</sup> im Osten und 9.177 Individuen m<sup>-3</sup> im Ausstrombereich der Lena. Höchste Zooplanktonbiomassen fanden sich im Südwesten der Laptev-See, die geringsten im Osten. In der Biomassenverteilung der einzelnen Taxa zeigten sich deutliche Unterschiede. Während die westlichen und nördlichen Stationen durch große Copepoden der Gattung *Calanus* geprägt wurden, trugen im Ausstrombereich der Lena kleine neritische Arten, wie *Drepanopus bungei*, *Pseudocalanus major* und *Acartia longiremis* durch extrem hohe Abundanzen wesentlich zur Biomasse bei. Es wurde deutlich, dass die Laptev-See zumindest regional als ein für arktische Verhältnisse sehr produktives Gebiet einzuschätzen ist. Ein Vergleich mit früheren Untersuchungen zeigte eine stabile regionale Abgrenzung der Gemeinschaften. Es lässt sich ein steuernder Einfluss des Flusswassers, gemessen an den Parametern Oberflächensalzgehalt und -temperatur, auf die Zusammensetzung des Zooplanktons vermuten. Weder die Zooplanktonverteilung noch die Abundanzen oder Biomassen des Zooplanktons zeigten einen Zusammenhang zum Chlorophyll *a*-Gehalt.

Lipidklassen- und die Fettsäurezusammensetzung von sieben Copepoden- und drei Amphipodenarten sowie von Mysidaceen und Chaetognathen zur Bestimmung von Ernährungs- und Überwinterungsstrategien wurden untersucht.

Während bei den Copepoden große Mengen Wachsester nachgewiesen wurden, speicherten die Amphipoden, Mysidaceen und Chaetognathen hauptsächlich Triacylglycerine als Reservestoff. Sowohl der über die C:N-Verhältnisse errechnete Gesamtlipidgehalt der Copepoden von 50% bis 60% des Trockengewichtes als auch die hohen Wachsestergehalte zwischen 46% und 90% der Gesamtlipide zeigten, dass bereits eine umfangreiche Lipidanreicherung stattgefunden hat. Die Fettsäureanalyse zeigte bei allen Taxa einen hohen Anteil der trophischen Markerfettsäuren 16:1(n-7) und 20:5(n-3), was auf eine durch Diatomeen dominierte Ernährung der Zooplankter schließen lässt. Es ist zu vermuten, dass die Copepoden, besonders *Acartia longiremis*, neben dem Phytoplankton auch verstärkt bakterivore Protozoen oder terrigenes Material als Nahrung nutzen.

Die Abgrenzung faunistischer Gemeinschaften und die Analyse ihrer räumlichen Verteilung im Zusammenhang mit abiotischen Umweltbedingungen waren Gegenstand einer Diplomarbeit von M. Steffens (2001). Neben der Wassertiefe und den bodennahen Wassertemperaturen und Salinitäten wurden die mittlere jährliche Eisbedeckung sowie die Anteile der Korngrößenfraktionen Sand, Silt und Ton im Oberflächensediment berücksichtigt. Es wurden 265 Arten mit insgesamt 58683 Individuen bestimmt. Die artenreichsten Großtaxa stellten die Gruppen der Crustacea (94 Arten), Polychaeta (67 Arten) und Mollusca (43 Arten) dar. Des Weiteren wurden Arten der Bryozoa (31 Arten), Echinodermata (14 Arten), Cnidaria (7 Arten), Sipunculida (4 Arten), Pycnogonida (3 Arten) und Tunicata (1 Art) gefunden.

Die Abgrenzung faunistischer Gemeinschaften ergab eine deutliche Tiefenzonierung, die sich in der Verteilung der Abundanzen wie auch in der Zusammensetzung der Gemeinschaften widerspiegelt. Die Stationen der Gemeinschaft „FLACH“ wurden durch Mollusken und Crustaceen dominiert. Die Stationen der Gemeinschaft „MITTEL“ waren durch eine deutliche Dominanz der Muschel *Portlandia arctica* gekennzeichnet, während in der Gemeinschaft „TIEF“ neben *Portlandia arctica* die Muschel *Nuculoma bellotii* sowie die Schlangensterne *Ophiocten sericeum* und *Ophiura sarsi* dominierten.

Die Tiefenzonierung der Gemeinschaften wird vermutlich durch mit der Tiefe korrelierte Umweltfaktoren bedingt. Es ist zu vermuten, dass die faunistische Zusammensetzung im flachen Bereich insbesondere durch physikalische Störungen verursacht wird, beispielsweise durch den Süßwasser- und Sedimenteintrag der großen sibirischen Flüsse Lena und Yana bzw. durch eine direkte Eiseinwirkung aufgrund von Ankereis oder „strandender“ Eisschollen. Die geringen Artenzahlen und Diversitäten sowie die hohe Abundanz beweglicher und opportunistischer Tiere wurden als Indiz für die Existenz von physikalischen Störungen in diesem Lebensraum angesehen. Im mittleren und tiefen Schelfbereich scheinen die Gemeinschaften insbesondere durch die Sedimentstruktur sowie die hydrographischen Bedingungen geprägt zu werden. Stationen, die im Bereich fluvialer, d.h. warmer, salzarmer und sedimentreicher Wassermassen lagen, zeigten hohe Feinsedimentgehalte im Oberflächensediment und wurden deutlich durch detritovore Muscheln wie *Portlandia arctica* und *Nuculoma bellotii* dominiert. Es wurde vermutet, dass an diesen Stationen hohe Sedimentationsraten die Existenz suspensionsfressender Organismen beeinträchtigen und die Dominanz detritusfressender Organismen begünstigen. Die höchsten Diversitäten fanden sich auf Stationen, die im Grenzbereich unterschiedlicher Wassermassen lagen. Die Vermischung von Arten aus unterschiedlichen Faunenprovinzen wirkt sich wahrscheinlich positiv auf die Diversität dieser Übergangsregionen aus. Für die Station mit der höchsten Diversität wurde vermutet, dass sich das Vorhandensein von gemäßigten Störungen durch Verringerung der Nischenbreite positiv auf die vorgefundene Diversität auswirkte.

Die Zusammenführung der Daten für die Stoffflüsse in den verschiedenen Habitaten erfolgte parallel zu den laufenden Arbeiten. Die Ergebnisse der Untersuchungen aus dem Pelagial und

Benthal lassen auf eine enge Kopplung zwischen den Habitaten schließen. Die Qualität und Quantität von Nahrung für das Benthos hängt unter anderem von folgenden Faktoren ab: Primärproduktion, Phytoplankton-Sinkraten, Zooplankton-Fressraten und Entfernung zu den von Land stammenden Quellen (z.B. Flussmündungen, Küstenerosionszonen). Die benthische Biomasse reflektiert hierbei die Prozesse der darüberliegenden Wassermassen und integriert diese über saisonale und jährliche Ereignisse.

Im flachen Teil der Laptev-See gibt es reiche benthische Populationen. Es wird deutlich, dass es zusätzliche Nahrungsressourcen geben muss. Diese könnten durch Flusseintrag oder Advektion zur Verfügung gestellt werden. Die Primärproduktion ist in einigen Gebieten auch im Vergleich zu anderen arktischen Regionen hoch ("Lena"). Es zeigt sich, dass in diesem Flachwassergebiet dem Zooplankton eine wichtige Rolle im Energiefluss zukommt.

### Referenzen

- Peters, J. (2001) Zur Ökologie und Ernährungssituation ausgewählter Zooplankter im Laptev-  
Meer. Universität Hamburg, 2001, 92 pp.
- Steffens, M. (2001) Makrobenthische Verbreitungsmuster im Laptev-See in Beziehung zu  
Umweltbedingungen. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2001, 76 pp.
- Tuschling, K. (1999) Zur Ökologie des Phytoplanktons im arktischen Laptev-See - ein  
jahreszeitlicher Vergleich. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 1999, 136 pp. +  
Appendix.





## Teilprojekt 6: Umwelt- und Sedimentationsgeschichte des Lena-Deltas

### Zielsetzung

Die Sedimentationsgeschichte des Lena-Deltas, dessen Bedeutung als fossiles Akkumulationsgebiet sowie die Prozesse, die die laterale Ausdehnung des Lena-Deltas steuern, sind weitgehend unbekannt. Einigkeit besteht lediglich darüber, dass allein der östliche Teil das eigentliche, „aktive“ Delta bildet. Die wissenschaftlichen Zielstellungen dieses Teilprojektes sind

- die Rekonstruktion der Sedimentationsgeschichte des Lena-Deltas sowie
- die Identifizierung der Bedeutung lokaler, regionaler und globaler Klimavariationen für die Sedimentation im Lena-Delta.

Die Entschlüsselung der Sedimentationsgeschichte des östlichen Lena-Deltas soll durch die Erfassung der sedimentären Tiefenstruktur und durch absolute Altersdatierung erreicht werden. Zur Rekonstruktion des lokalen Klimas und dessen Einflusses auf das Wachstum des Deltas sollen Sedimentkerne aus Seen des westlichen Lena-Deltas gewonnen werden. Die Korrelation zwischen Deltawachstum und globalem Klima und regionalen Klimaeffekten des Hinterlandes soll durch den Vergleich der erzielten Ergebnisse mit Literaturdaten erreicht werden. Weiterhin besteht hier ein direkter Bezug zu den Teilprojekten 8 und 9 des Verbundvorhabens und zu anderen Projekten des AWI-Potsdam.

Parallel zu diesen Untersuchungen wird in Zusammenarbeit mit F. Are (Staatliche Universität für Transport und Verkehr), Dr. E. Reimnitz (Menlo Park, USA) und Teilprojekt 7 die Quantifizierung des Materialeintrages durch die Erosion eisreicher Küsten anhand der Auswertung von Satelliten- und Luftbildern angestrebt. Durch die Einbeziehung der Küstenerosion erhoffen wir uns ein vollständiges Bild von der rezenten und fossilen Sedimentbilanz der Laptev-See.

### Arbeitsprogramm

Während einer ersten Expedition im Sommer 1998 wurde entlang von zwei Profillinien, ausgehend von der Basis des holozänen, östlichen Deltas bis zur Küstenlinie, die sedimentäre Tiefenstruktur des Lena-Deltas mittels Bodenradar untersucht. In Zusammenarbeit mit M. N. Grigorjev (Permafrost-Institut) wurden geomorphologische Untersuchungen durchgeführt. Parallel dazu wurden bereits erste Bohrkerne gewonnen, anhand derer die Interpretation und stratigraphische Einstufung der Bodenradar-Daten ermöglicht wurde. Die Kerne wurden sedimentologisch untersucht und mit Hilfe von OSL datiert. Ebenso wurde anhand von Bodenradar sowie Flachseismik eine Vorerkundung der Seen des westlichen Lena-Deltas durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen des Bodenradars und der Flachseismik wurden

geeignete Bohrlokalitäten im östlichen Lena-Delta und für die Seesedimentbohrungen ausgewählt.

Während einer zweiten Expedition im Sommer 1999 wurde die Kernentnahme im östlichen Delta durchgeführt. Parallel dazu wurden aus den Seen des westlichen Lena-Deltas Sedimentkerne erbohrt. Das gewonnene Material aus dem östlichen Lena-Delta wurde daraufhin im Labor sedimentologisch untersucht (Korngrößen) und mit OSL datiert. Die Seesedimentkerne wurden zum Methodenabgleich und zur Parallelisierung mit den Deltasedimenten sowohl mit  $^{14}\text{C}$ -AMS als auch mit OSL datiert. Die Analytik umfasste sedimentologische, palynologische, geochemische und isotopengeochemische Untersuchungen. Das dritte Jahr wurde im Wesentlichen für die Analyse des gewonnenen Probenmaterials und für die Auswertung und Interpretation der ermittelten Daten genutzt. Während einer dritten Expedition im Sommer 2000 wurden, falls notwendig, letzte Bohrkerne aus dem östlichen Lena-Delta gewonnen. Die im Rahmen dieses Teilprojektes gewonnenen Erkenntnisse wurden mit den Ergebnissen der rezenten Untersuchungen (Teilprojekt 7) und den Daten zur Küstenerosion verknüpft.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

#### *Sedimentationsgeschichte des Lena-Deltas*

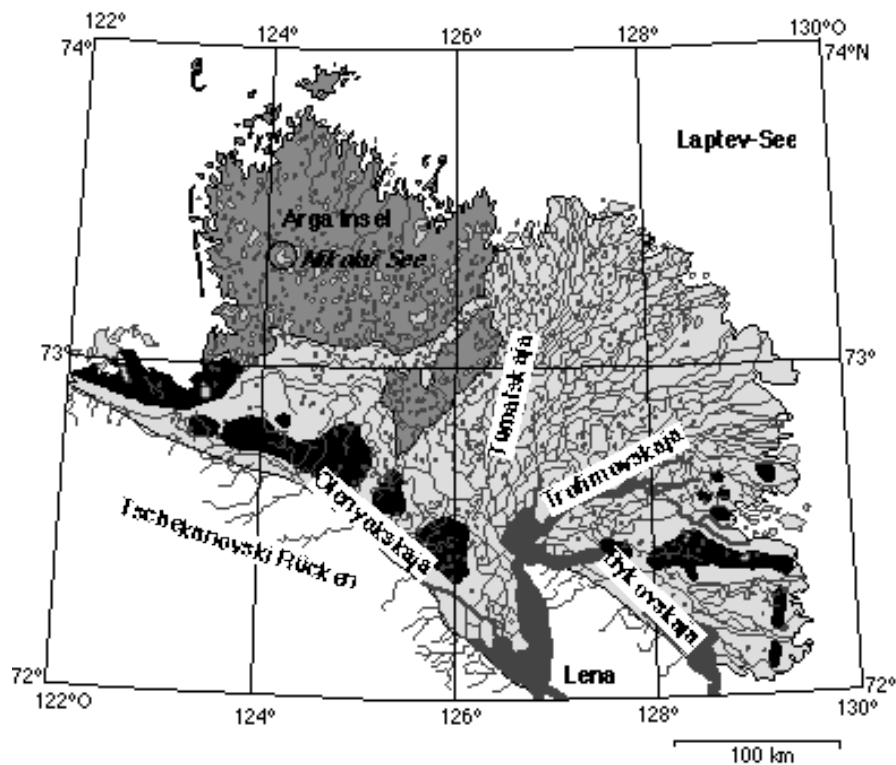
Basierend auf  $^{14}\text{C}$ -AMS und IR-OSL-Datierungen und auf sedimentologischen und mineralogischen Untersuchungen von repräsentativen Schlüssel lokalitäten des Lena-Deltas (Aufschlüsse und Bohrungen) konnte das folgende Modell zur Genese des Deltas entwickelt werden (Abbildung 1 und Abbildung 2).

Die ältesten Ablagerungen des Deltas (ca. 88.000-43.000 Jahre vor heute) sind sandige Sequenzen, die unterhalb des Eiskomplexes liegen und die dritte Terrasse aufbauen. Sedimentologische und mineralogische (Schwerminerale) Daten belegen, dass die Sedimente fluvialen Ursprungs sind und einer Überflutungsebene (floodplain) der Paläo-Lena zuzuordnen sind.

Der darüberliegende Eiskomplex wurde im Zeitraum 43.000-14.000 Jahre vor heute gebildet. Die Schwermineraldaten belegen, dass die Bergregionen des Tschekanovski-Rückens das Liefergebiet darstellten. Da der Eiskomplex unter subaerischen Bedingungen gebildet wurde (Siegert et al., 1999), ist davon auszugehen, dass die Lena in diesem Sektor zu dieser Zeit inaktiv war. Diese Veränderungen in den Haupt-Ausstromrichtungen der Lena lassen sich durch tektonische Bewegungen erklären (Drachev et al., 1998; Hinz et al., 1998; Franke et al., 2000).

Nach der Phase der Inaktivität der Lena wurden die Sande der Arga-Insel (zweite Terrasse des Lena-Deltas) abgelagert. IR-OSL-Datierungen belegen, dass diese Sande, die aus sedimentologischer Sicht mit der modernen Lena-Bodenfracht vergleichbar sind, während einer sehr kurzen Phase (15.000-11.000 Jahre vor heute) sedimentierten.

Extrem hohe Sedimentationsraten und sedimentologische Parameter deuten auf ein hochenergetisches Ablagerungsmilieu hin, wie es auch für europäische periglaziale Flusssysteme (braided river) dieser Zeit beschrieben wurde (Allen, 1970; Panin et al., 1999; Sidorchuk and Borisova, 2000; Sidorchuk et al., 2000). Zur gleichen Zeit (13.000 Jahre vor heute) wurde im zentralen Arktischen Ozean, in der Fram-Straße und in der Laptev-See anhand eines Sauerstoff-Isotopen-Minimums ein Süßwasser-Impuls dokumentiert (Spielhagen et al., 1998), der möglicherweise mit der Bildung der Arga-Sande in Verbindung steht.



| Geomorphologische Einheiten<br>(nach Grigoriev 1993) | Genese   | Alter ( <sup>14</sup> C oder R-OSL)  |
|--|--|--|
| erste Terrasse<br>(1-12 m a.s.l.)                    | Delta-Sedimente<br>„aktives Delta“                   | Holozän (<6 kyBP)  |
| zweite Terrasse<br>(20-30 m a.s.l.)                  | fluviatile Sedimente                                 | post Weichsel<br>(ca. 15-11 kyBP)  |
| dritte Terrasse<br>(30-55 m a.s.l.)                  | fluviatile Sedimente<br>überlagert vom<br>Eiskomplex | Früh- bis Mittel-Weichsel<br>(ca. 88-43 kyBP)<br>Mittel- bis Spät-Weichsel<br>(ca. 43-14 kyBP) |

Abb. 1: Überblick der Morphologie und Genese des Lena-Deltas (aus Schwaborn et al., in press).

Die Arga-Insel erreicht heute eine topographische Höhe von mehr als 20 m, was nur durch eine tektonische Hebung des westlichen Delta-Sektors zu erklären ist. Neotektonische Bewegungen sind in der Region auch heute noch dokumentiert (Avetisov, 1999).

Während des gesamten bisher diskutierten Zeitintervalls (80.000-11.000 Jahre vor heute) war die Region des heutigen Lena-Deltas aufgrund des deutlich niedrigeren Meeresspiegels weit

entfernt von der Küstenlinie und damit keinem marinen Einfluss ausgesetzt. Erst nachdem die Küstenlinie der Laptev-See ca. 6.000 Jahre vor heute in etwa ihre heutige Position erreicht hatte, begann die tatsächliche Delta-Sedimentation.

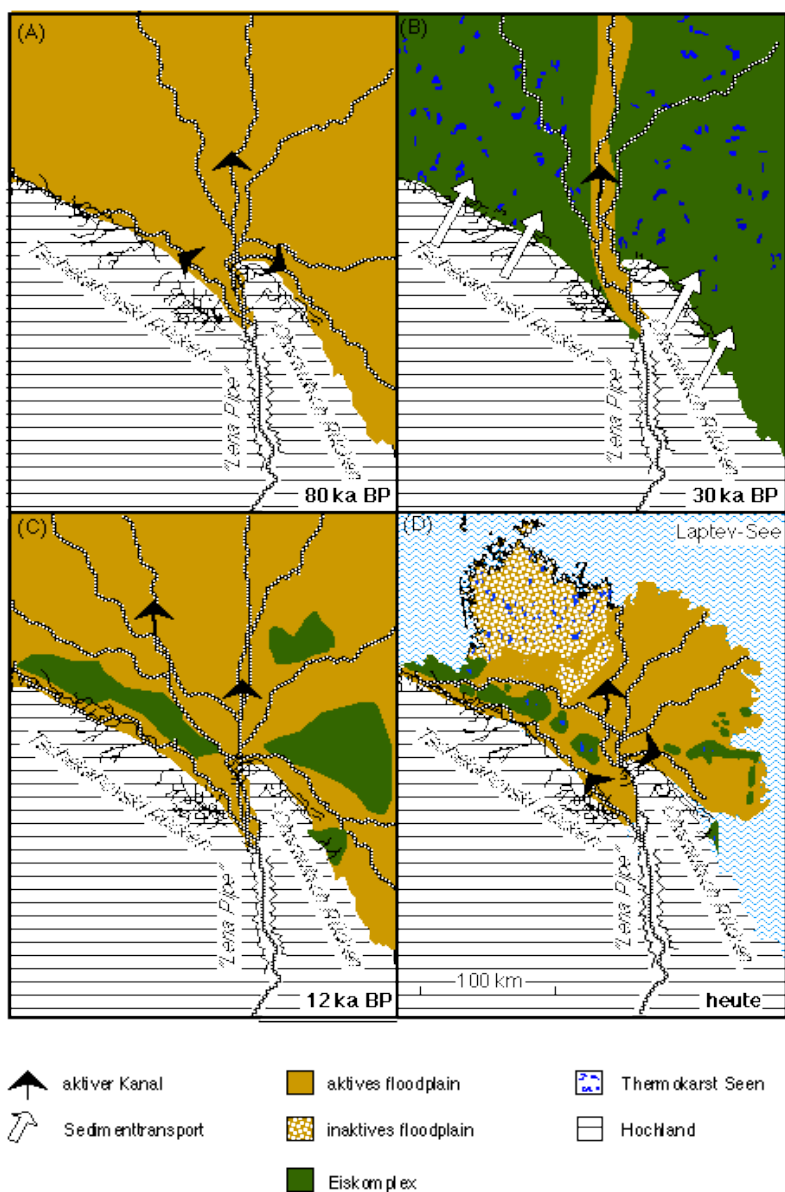


Abb. 2: Paläogeographischer Überblick des Lena-Deltas. (A) Trockenliegender Laptev-See-Schelf und Lena-Ausstrom in Richtung Norden, sowie durch den Bykovskaya- und Olenjokskaya-Kanal. (B) Phase der Eiskomplex-Entwicklung, Lena-Ausstrom lediglich in Richtung Norden. (C) Akkumulation der Arga-Sande. (D) Bildung des eigentlichen Lena-Deltas nach Erreichen des heutigen Meeresspiegels (aus Schwamborn et al., in press).

Daher besteht nur die erste Terrasse des Lena-Deltas aus Delta-Ablagerungen. Geophysikalische Untersuchungen (Bodenradar) und Analysen an Seesedimentkernen der tiefen Seen der Arga-Insel (Nikolay-See, Abbildung 1) belegen, dass die Ablagerung der Arga-Sande im frühen Holozän endete. Aufgrund der holozänen Klimaerwärmung traten verstärkt Thermokarstprozesse auf, die zur Bildung der Seen führten. Die Thermokarst-Genese der Seen



konnte durch geophysikalische Untersuchungen (Flachseismik) und Modellierung der Talik-Entwicklung unterhalb der Seen belegt werden. Das regionale holozäne Klimaoptimum, das in den Seesedimenten deutlich erkennbar ist, war ca. 7.000 Jahre vor heute erreicht.

#### *Moderne Sedimentation im Lena-Delta*

Im Gegensatz zu früheren Vorstellungen (z. B. Alabyan et al., 1995) konnte gezeigt werden, dass das heutige Lena-Delta keinen Akkumulationsraum für die Schwebfracht der Lena bildet, sondern lediglich als Filter für die Bodenfracht wirkt. (1) Die Deltafront schreitet lediglich in einigen Segmenten in Richtung Meer, während größere Abschnitte sogar erodiert werden. Das Wachstum des Deltas bildet daher keine wesentliche Senke für die Schwebfracht der Lena. (2) Der Vergleich von Geländebefunden mit alten Luft- und Satellitenbilder zeigt, dass sich die Oberfläche der 400-1000 Jahre alten, ca. 3 m hohen Insel im „aktiven“ Teil des Lena-Deltas seit ca. 50 Jahren nicht verändert hat. Eine Akkumulation von Schwebfracht in den subaerischen Teilen des Deltas lässt sich daher ausschließen. (3) Die Oberflächensedimente der Delta-Kanäle bestehen nahezu ausschließlich aus sandigem Material, so dass auch sie keinen Akkumulationsraum für die Schwebfracht darstellen können.

#### *Küstendynamik im Bereich der Laptev-See*

Die Küstendynamik spielt eine wesentliche Rolle für den Sediment- und Kohlenstoffgehalt des Arktischen Ozeans. In bisherigen Bilanzierungen wurde die Küstenerosion allerdings bisher kaum berücksichtigt. Zur Erfassung von Küstenerosionsraten und zur Quantifizierung des mit der Erosion verbundenen Sediment- und Kohlenstoffeintrags wurden während der Expeditionen LENA 1999 und LENA 2000 Schlüssel lokalitäten entlang der gesamten Küste der Laptev-See untersucht. Die Arbeiten beinhalteten:

- die Vermessung der Küstenlinie zur Erfassung von Erosionsraten
- sedimentologische, geochemische und geokryologische Untersuchungen der Küstensedimente
- bathymetrische Untersuchungen zur Erfassung des küstennahen Reliefs
- sedimentologische Analysen der Flachwassersedimente entlang der gemessenen Profile
- flachseismische Untersuchungen
- sowie die Luft- und Satellitenbilddauswertung zur Erfassung der Küstendynamik entlang der gesamten Küste.

Anhand der ermittelten Küstenerosionsraten, der Morphologie der Küsten sowie der Zusammensetzung und des Eisgehaltes der Sedimente konnte der Sediment- und Kohlenstoffeintrag quantitativ erfasst werden. Es konnte gezeigt werden, dass durch Küstenerosion zumindest ebensoviel Sediment in die Laptev-See eingetragen wird wie durch Flüsse. Im Rahmen der Synthesephase wurde basierend auf den Ergebnissen eine Bilanzierung des Sedimenthaushaltes der Laptev-See sowie eine Quantifizierung des Kohlenstoffeintrages erstellt (s. Abschlussbericht der Synthesephase, Teilprojekt 2).

Die gewonnenen Ergebnisse werden zur Zeit in internationale, zirkumarktische Datenbanken und GIS-basierte Karten integriert, die im Rahmen eines vom International Arctic Sciences Committee (IASC) geförderten Projektes mit dem Titel Arctic Coastal Dynamics (ACD) erstellt werden (<http://www.awi-potsdam.de/www-pot/geo/acd.html>).

### Referenzen

- Alabyan, A.M., R.S. Chalov, V.N. Korotaev, A.U. Sidorchuk, and A.A. Zaitsev (1995) Natural and technologic water and sediment supply to the Laptev Sea. In: Kassens, H., D. Piepenburg, J. Thiede, L. Timokhov, H.-W. Hubberten, and S. Priamikov (eds.) Reports on Polar Research, 176, pp. 265-271.
- Allen, J.R.L. (1970) Physical processes of sedimentation. Elsevier, New York, 248 pp.
- Avetisov, G.P. (1999) Geodynamics of the zone of continental continuation of Mid-Arctic earthquakes belt (Laptev Sea). Physics of the Earth and Planetary Interiors, 114, pp. 59-70.
- Drachev, S.S., L.A. Savostin, V.G. Groshev, and I.E. Bruni (1998) Structure and geology of the continental shelf of the Laptev Sea, eastern Russian Arctic. Tectonophysics, 298, pp. 357-393.
- Franke, D., F. Krüger, and K. Klinge (2000) Tectonics of the Laptev Sea - Moma 'Rift' Region: investigation with seismologic broadband data. Journal of Seismology, 4, pp. 99-116.
- Hinz, K., M. Block, B. Cramer, D. Franke, M. Kosko, H. Meyer, S. Neben, C. Reichert, and H.-A. Roeser (1998) Die Laptev-See - russ. Arktis: neue geowissenschaftliche Erkenntnisse über den geologischen Bau und die Entwicklung des riesigen Schelfes der Laptev-See. Geo-Berlin 1998, Gemeinsame Jahrestagung von DGG, DMG, GGW und Pal. Ges., Berlin, Programme and Abstracts.
- Panin, A.V., A.Y. Sidorchuk, and A.V. Chernov (1999) Historical background to floodplain morphology: examples from the East European Plain. In: Marriott, S.B. and J. Alexander (eds.) Floodplains: Interdisciplinary Approaches. Geological Society, London, Special Publication, 163, pp. 217-229.
- Schwamborn, G., A. Andreev, V. Rachold, H.-W. Hubberten, M.N. Grigoriev, V. Tumskoy, E.Yu. Pavlova, and M.V. Dorozhkina (in press) Evolution of Lake Nikolay area, Arga Island, Western Lena River delta. Polarforschung.
- Sidorchuk, A.Y. and O.K. Borisova (2000) Method of paleogeographical analogues in paleohydrological reconstructions. Quat. Intern., 72, pp. 95-106.
- Sidorchuk, A.Y., A.V. Panin, O.K. Borisova, S.A. Elias, and J.P. Syvistki (2000) Channel morphology and river flow in the northern Russian Plain in the Late Glacial and Holocene. Intern. J. Earth Sci., 89, pp. 541-549.

Siegert, C., L. Schirrmeister, V. Kunitsky, and A. Sher (1999) Paleoclimate signals of ice-rich permafrost. In: Rachold, V. and M.N. Grigoriev (eds.) The Lena Delta Expedition 1998. Reports on Polar Research, 315, pp. 145-152.

Spielhagen, R., H. Erlenkeuser, and J. Heinemeier (1998) Deglacial freshwater outflow from Lena River (Siberia). Second QUEEN Workshop, St. Petersburg, Program and Abstracts.





## Teilprojekt 7: Partikeltransport im Delta-Schelf-System

### Zielsetzung

Gesamtziel dieses Teilprojektes war die Erfassung ablaufender sedimentologischer Prozesse im regionalen und lokalen Maßstab des Lena-Deltas und deren Einfluss auf die Sedimentbilanz der Laptev-See. Die Prozesse, welche das Wachstum bzw. den Rückgang des Lena-Deltas steuern, waren weitgehend unbekannt. Weiterhin wurde der Materialeintrag durch die Erosion eisreicher Küsten für die Sedimentbilanz der Laptev-See bisher nicht berücksichtigt. Neben der zuverlässigen Mengenabschätzung des verfrachteten Materials sollte ein wesentlicher Beitrag zum Verständnis von in geologischer Vergangenheit abgelaufenen Prozessen geleistet werden. Im Rahmen dieses Teilprojektes sollten folgende Fragen gelöst werden:

- Erfassung rezenter Prozesse im Wechselspiel von Akkumulation, Transport und Erosion sowie Quantifizierung des Materialflusses
- Einfluss jahreszeitlicher Schwankungen auf die Sedimentation im Lena Delta
- Erstellung einer Datenbank für Feld- und Labordaten

### Arbeitsprogramm

Drei gemeinsame Geländeeinsätze mit den Teilprojekten 1, 2, 6, 9 und 11 (Expeditionen LENA 1998-2000) wurden durchgeführt und waren unmittelbar mit den absolvierten Arbeiten zur Umwelt- und Sedimentationsgeschichte (Teilprojekt 6) verknüpft.

Teilprojektspezifische Untersuchungen weiterer vier Expeditionen im marinen Bereich waren wissenschaftlich und logistisch eng mit den Aktivitäten der Teilprojekte 3, 5, 10 und MK sowie den ozeanographischen Forschungen russischer Kollegen vom Arktischen und Antarktischen Forschungsinstitut (AARI) verkettet (Expeditionen TRANSDRIFT V bis VIII 1998-2000).

Arbeiten zur Quantifizierung des Schwebstofftransports (SPM) wurden durchgeführt. Dazu erfolgte die horizontweise Entnahme/Filterung von Wasserproben aus der Wassersäule. Wiederholungsmessungen an gleichen Lokationen wurden angestrebt, um interannuelle Unterschiede zu dokumentieren. In ausgewählten Deltabereichen erfolgten geomorphologische Untersuchungen (Fotodokumentation, Vermessung, Kartographie etc. mit TP 6), wodurch Auswirkungen rezenter Materialumlagerung dokumentiert wurden. Außerdem erfolgte die Boden-Langzeitverankerung von Minilog-Sensoren zur Messung von Wassertiefe und Wassertemperatur in den Hauptkanälen. Leider konnten diese Sensoren nach einer Verankerungsdauer von zwei Jahren nicht geborgen werden.

## Zusammenfassung der Ergebnisse

### *Hauptmechanismen des Partikeltransports*

Während der Expeditionen LENA 1998, 1999 sowie 2000 wurden umfangreiche geomorphologische Studien und aktuogeologische Untersuchungen durchgeführt, die folgende wesentliche Mechanismen des Partikeltransports innerhalb des Lena-Deltas erkennen lassen:

- Fluvialer Suspensions- und Bedload-Transport in den Hauptkanälen
- Mäanderbildung im aktiven Deltateil
- gravitative Landmassenrutschung und Fließerden
- Materialtransport durch Flusseis

Mechanismen des Materialexports sind in der Hauptsache:

- Küsten- und Gezeitenströmung mit (Re-)Suspension entlang des äußeren Deltasaumes
- windwellengesteuerte Remobilisierung von Partikeln der Lena-Delta-Küstenlinie
- thermoabrasiv bedingte Küstenregression
- fluvialer Suspensions-Export auf dem südlichen Laptev-Schelf
- äolischer Partikeltransport auf Deflationsebenen im Delta

Die moderne Sedimentbilanz des Lena-Deltas ist auf Grund der Dominanz erosiver und umlagernder Prozesse gegenüber wenigen Bereichen tatsächlicher Deposition als negativ einzustufen (Rachold et al., 2000; Rachold and Grigoriev, 2000).

### *Geoinformationssystem Lena-Delta*

Mit Hilfe eines Geoinformationssystems (GIS) lassen sich die Auswirkungen landschaftsprägender Prozesse innerhalb der Land-Meer-Schnittstelle sowohl im Kartenbild als auch echt drei-dimensional darstellen und durch die relationale Verknüpfung gezielter Informationen neuartige Kenntnisse über das Geosystems Laptev-See gewinnen.

Die kartographische Basis des GIS liefern 12 vektorisierte Kartenblätter der Delta-Region. Die einzelnen Basiskarten im Maßstab 1:200.000 wurden erfolgreich georeferenziert. Die geschaffenen digitalen Höhenmodelle wurden miteinander verknüpft (Nord-/Westteil sowie Zentral-/Ostteil des Deltas). Damit existiert ein digitaler Atlas des Lena-Deltas (Röhr, 2001a).

Als Anwendungsbeispiele wurden Untersuchungen zur Morphologie und Flutung ausgewählter Deltabereiche vorgenommen (Röhr, 2001b). Weitere thematische Verknüpfungen des GIS erfolgten mit den Verteilungen von Boden- sowie Vegetationstypen. In Verbindung mit weitflächig durchgeführten Geländeaufnahmen (Erosions- bzw. Akkumulationsgebiete) sowie der Hinzuziehung bilanzierter Akkumulationsraten (Teilprojekt 3 und 6) für Delta- und Schelfsedimente wird die Zweiteilung des Lena-Deltas in einen aktiven östlichen und retrogradierenden Teil (westlich, nördlich und zentral) deutlich.

### *Partikuläres suspendiertes Material im Schelfbereich*

Die suspensionsdynamischen Prozesse werden im Sommer hauptsächlich über den Eintrag der Flüsse in das Oberflächenwasser und die submarine Erosion in größeren Wassertiefen, insbesondere in den Rinnen, gesteuert. Auch wird Material von kleineren Plateaus auf dem Schelf erodiert und in tiefere Meeresbereiche verfrachtet. Es besteht eine Korrelation zwischen Schwebstofffracht und den in unterschiedlichen Wassertiefen *in situ* ermittelten Strömungsverhältnissen (Hass et al., 1995) sowie den Temperatur- und Salinitätsmessungen (Dmitrienko et al., 1995). Zur Kennzeichnung von Transportmechanismen und -richtungen fanden umfangreiche Datensätze von drei Expeditionen (TRANSDRIFT V, VI und VII) Anwendung (Binder, 2001). Die herausgestellten Transportpfade korrespondieren gleichfalls mit den nach Dethleff et al. (2000) aufgrund der Tonmineralverteilung ermittelten Sedimentationsprovinzen des Schelfes der Laptev-See.

Messungen an einer Langzeitstation dokumentierten die kurzfristige Veränderung in der Schwebstoff-Konzentrationen in der Wassersäule. Ein Zyklus von ca. sieben Stunden korrespondiert möglicherweise mit vertikaler Bewegung von Plankton. Direkt über dem Meeresboden weist eine zeitliche Verlagerung des Suspensions-Maximums auf die Bildung von Trübeströmen an den Flanken der Rinnen hin. Beobachtungen mit der Unterwasserkamera zeigten die Ausbildung einer bodengebundenen Trübeschicht (Nepheloidlage). Diese erreicht ihre höchsten Konzentrationen in der Bucht von Buor Khaya und im Prodelta-Bereich sowie in den Rinnen der zentralen und östlichen Laptev-See (Abbildung 1). Die Mächtigkeit der Trübeschicht unterliegt vermutlich täglichen und saisonalen Veränderungen.

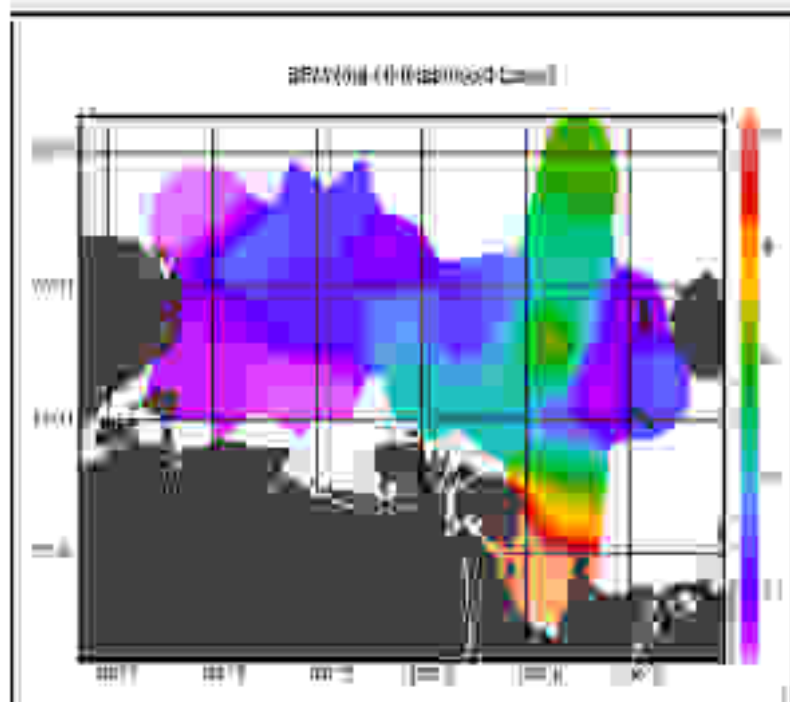


Abb.1: Bodengebundene Nepheloidlage des Schelfes der Laptev-See (aus Binder, 2001).

Im Winter spielt die Polynja durch windinduzierte Strömungen eine zentrale Rolle bei der Verteilung der Suspensionsfracht. Auch während dieser Zeit wirken submarine Erosionsprozesse. Der Zusammenhang zwischen oberflächen- und meeresbodennah wirkenden Mechanismen im Sommer (Dmitrienko et al., 1995, 2000) und im Winter (Dethleff, 1995a, 1995b) konnte bestätigt werden.

Die Sedimentbilanz des Laptev-See-Schelfes ist positiv. Hier lagerte sich - durch Küstenabtrag und Flusseintrag bereitgestellt - innerhalb der letzten 5.000 Jahre eine deutlich größere Partikelfracht ab als die durch Eisinkorporation und Resuspension mobilisierte und exportierte Materialmenge.

### Referenzen

- Binder, B. (2001) Suspensionsdynamik auf dem Schelf der Laptev-See (Russische Arktis): Erste Ergebnisse anhand von Filtrationsanalysen (1998-2000). TU Bergakademie Freiberg, 2001, 87 pp. + Appendix.
- Dethleff, D. (1995a) Sea ice and sediment export from the Laptev Sea flaw lead during 1991/92 winter season. In: Kassens, H., D. Piepenburg, J. Thiede, L. Timokhov, H.-W. Hubberten, and S.M. Priamikov (eds.) Russian-German Cooperations: The Laptev Sea System, Reports on Polar Research, 176, pp. 78-93.
- Dethleff, D. (1995b) Die Laptewsee – eine Schlüsselregion für den Fremdstoffeintrag in das arktische Meereis. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 111 pp. + Appendix.
- Dethleff, D., V. Rachold, M. Tintelnot, and M. Antonow (2000) Sea-ice transport of riverine particles from the Laptev Sea to Fram Strait based on clay mineral studies. Int. Journ. Earth Sciences, 89, pp. 496-502.
- Dmitrenko, I.A. and Transdrift II Shipboard Scientific Party (1995) The distribution of river run-off in the Laptev Sea: the environmental effect. In: Kassens, H., D. Piepenburg, J. Thiede, L. Timokhov, H.-W. Hubberten, and S.M. Priamikov (eds.) Russian-German Cooperations: The Laptev Sea System, Reports on Polar Research, 176, pp. 114-120.
- Dmitrienko, I.A., J.A. Hölemann, S.A. Kirillov, S.L. Berezovskaya, H. Kassens, and H. Eicken (2000) Wind-forced currents: linkage between the eastern Laptev Sea and the Arctic Ocean. Terra Nostra, 2000/8, pp. 31-32.
- Hass, H.C., M. Antonow, and Shipboard Scientific Party (1995) Movement of Laptev Sea shelf waters during the Transdrift II expedition. In: Kassens, H., D. Piepenburg, J. Thiede, L. Timokhov, H.-W. Hubberten, and S.M. Priamikov (eds.) Russian-German Cooperations: The Laptev Sea System, Reports on Polar Research, 176, pp. 121-134.
- Rachold, V., M.N. Grigoriev, F.E. Are, S. Solomon, E. Reimnitz, H. Kassens, and M. Antonow (2000) Coastal erosion vs riverine sediment discharge in the Arctic shelf seas. Int. Journ. Earth Sciences, 89, pp. 450-460.



- Rachold, V. and M.N. Grigoriev (2000) Modern and ancient coastal processes in the Laptev Sea region. *Terra Nostra*, 2000/8, pp. 61-62.
- Röhr, C. (2001a) Die Erstellung eines digitalen Atlas der arktischen Region Lena Delta (Nordjakutien), TU Bergakademie Freiberg, Diplomkartierung, 40 pp. + Appendix.
- Röhr, C. (2001b) GIS-basierte geomorphologische Bewertung des Lena-Deltas (Russische Arktis): Die Beschaffenheit von Landschaftskomplexen. TU Bergakademie Freiberg, 94 pp. + Appendix.





## Teilprojekt 8: Terrestrische Klimasignale in eisreichen Permafrost-Abfolgen

### Zielsetzung

Das wissenschaftliche Ziel des Teilprojektes war die Rekonstruktion der spätquartären Klima- und Umweltgeschichte der Laptev-See-Region mit Hilfe multidisziplinärer Untersuchungen an eisreichen Permafrostabfolgen. Paläoumweltinformationen wurden dafür sowohl aus den Eigenschaften der Sedimente, Paläoböden und Grundeiskörper, als auch durch die Analyse der in ihnen enthaltenen fossilen Tier- und Pflanzenreste gewonnen. Die ausgewählten Untersuchungsgebiete sollten es ermöglichen, regionale Variationen in der Umweltentwicklung zu beurteilen. Die durch absolute Alterdatierungen chronologisch eingebundenen geokryologische, sedimentologische, mineralogische und geochemische Daten dienen vor allem zur Lösung des noch immer recht konträr diskutierten Problems der spätpleistozänen Umweltentwicklung NE Sibiriens. Die Untersuchungsergebnisse aus dem terrestrischen Periglazialraum sollen die Datenbasis verbessern, die sowohl für die Modellierung der Permafrost-Dynamik in der Laptev-See-Region (Gruppe N. Romanovsky, Moskau) als auch für die Modellierung der Verbreitung des Eurasischen Eisschildes im Letzten Glazialen Maximum (LGM) benötigt werden (EU-Projekt „Eurasian Ice Sheets“). Des weiteren sind diese Daten für die Interpretation der aus dem angrenzenden marinen Bereich vorliegenden Befunde wichtig.

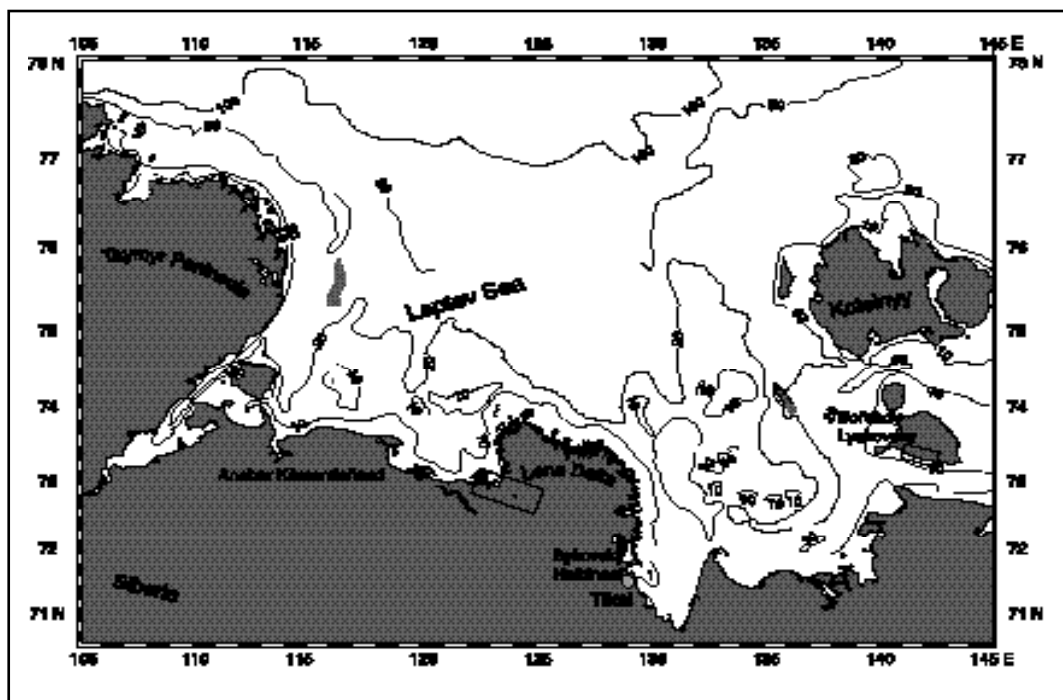


Abb. 1: Untersuchungsgebiete des Teilprojektes 8: Bykovsky-Halbinsel, Große-Lyakhov-Insel, Olenek-Kanal (westliches Lena-Delta).

### Arbeitsprogramm

Zur Erlangung der wissenschaftlichen Zielsetzung wurden Felduntersuchungen auf der Bykovsky-Halbinsel (1998, 1999, 2000), der Großen-Lyakhov-Insel (1999) und im westlichen Lena-Delta (2000) durchgeführt (Abbildung 1). Die Felduntersuchungen beinhalteten:

- geokryologische Untersuchungen an natürlichen Aufschlüssen in den Uferregionen der Laptev-See und im westlichen Lena-Delta
- geodätische Vermessung von Schlüsselprofilen
- Beprobung für sedimentologische und geochemische Untersuchungen, Radiokarbondatierung und IR-OSL-Altersbestimmung
- Beprobung des Grundeises, der Oberflächenwässer und atmosphärischer Niederschläge für isotopengeochemische Untersuchungen
- Entnahme und Aufbereitung von Großproben (ca. 40 kg) für die Gewinnung von fossilen Insekten-, Kleinsäuger- und Makropflanzen-Resten
- Sammlung und Dokumentation von fossilen Säugetierknochen
- Untersuchung von rezenten Thermokarst- und nivalen Prozessen in Bezug auf ihre Rolle für Reliefentwicklung und Sedimentgenese

Die in deutschen und russischen Labors durchgeführten Untersuchungen umfassten sedimentologische, mineralogische, geochemische, palynologische, paläokarpologische und mikropaläontologische Analysen, paläontologische Untersuchungen an Insektenresten und Säugetierknochen, AMS- und konventionelle Radiokarbondatierungen von Pflanzenresten, Insektenresten und fossilen Knochen, IR-OSL-Datierungen, erste U/Th-Datierungen an fossilen Torfen.

Die Ergebnisse wurden in gemeinsamen Publikationen ausgewertet und auf Fachtagungen vorgestellt.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Die vom Schlüsselprofil „Mamontovy Khayata“ auf der Bykovsky-Halbinsel vorliegenden Datensätze ermöglichen eine chronologisch gesicherte Umweltrekonstruktion der letzten ca. 60.000 Jahre. Für diese Zeitspanne des Pleistozäns konnte ein extrem kontinentales Klima, meistens mit wärmeren Sommertemperaturen und niedrigeren Wintertemperaturen als heute, belegt werden. Diese Klimabedingungen führten zur Ausbildung spezifischer Tundra-Steppen-Biome. In den extremsten Klimaetappen haben sich spezifische artenarme Kaltsteppen-Organismengesellschaften (Zwerg-Seggen-Steppen) entwickelt, die heute nur noch lokal in Jakutien als Reliktlandschaften auftreten. Die zeitliche Verteilung der Besiedlungsdichte und der Artenzusammensetzung der Großsäugetierfauna (Kuznetsova et al., 2001; Schirrmeyer et al., 2001) belegt eine ausreichend hohe Produktivität dieser Landschaften in den relativ günstigen

Interstadialzeiten und eine Verarmung der Fauna während des LGM (um 20.000-15.000 vor heute).

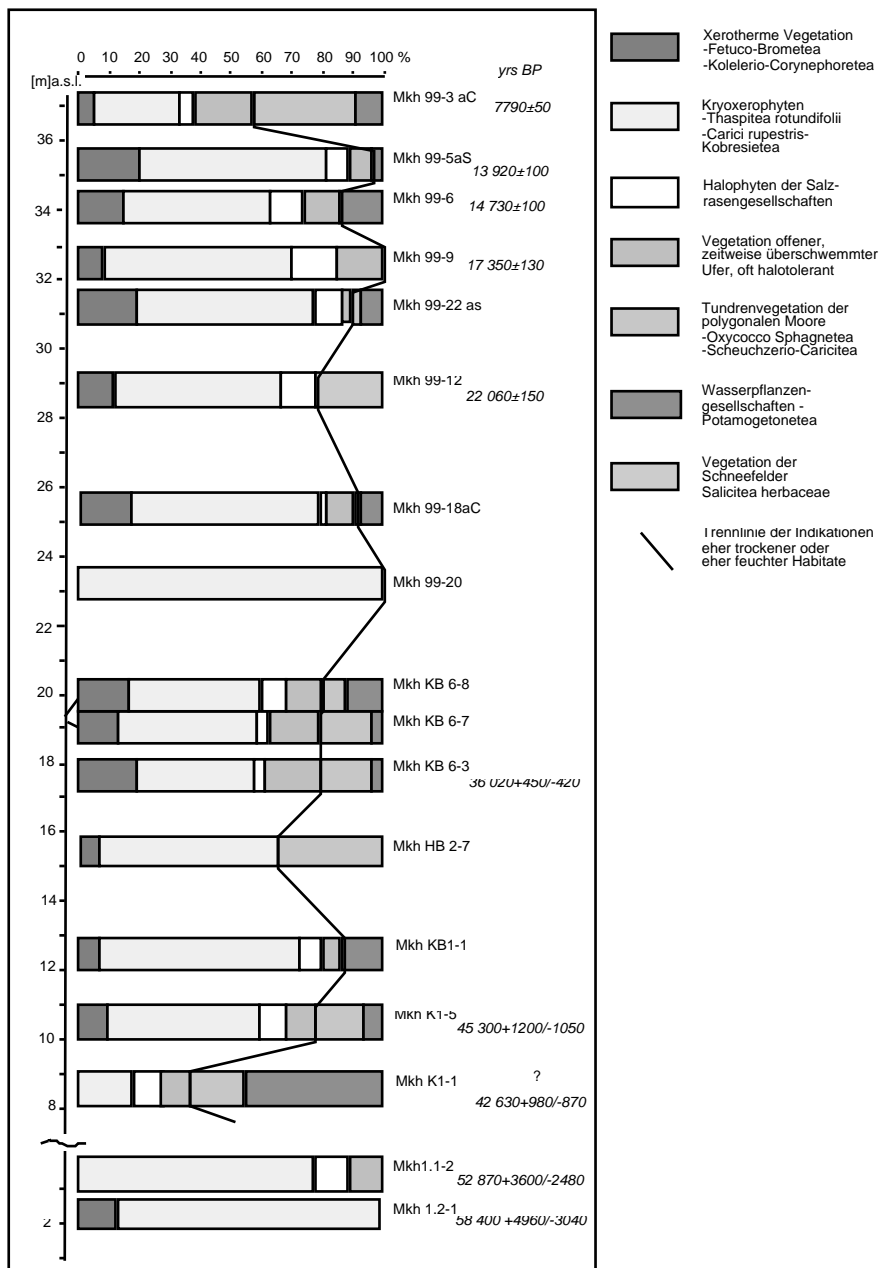


Abb. 2: Verteilung der fossilen Pflanzenassoziationen in der Eiskomplex-Sequenz vom Mamontovy Khayata auf der Bykovsky-Halbinsel. Ergebnisse karpologischer Untersuchungen.

Auf der nördlicher gelegenen Großen-Lyakhov-Insel konnten Permafrostabfolgen untersucht werden, die mindestens eine Zeitspanne von 200 000 Jahren umfassen. Obwohl in diesem Gebiet die Tundra-Steppen-Organismengesellschaften weniger ausgeprägt auftreten, sind bestimmte Kalt-Steppenelemente bereits in den ältesten untersuchten Ablagerungen nachweisbar. Die reichen Funde von Großsäugetierresten in diesem Gebiet belegen für das späte Pleistozän ebenfalls extrem kontinentale Klimabedingungen mit einer höheren Produktivität der

Landschaften als heute. Im Unterschied zu der südlicheren Bykovsky-Halbinsel entwickelten sich die Tundra-Steppen- Organismengesellschaften mit einer zeitlichen Verschiebung und nach den Insektenfaunen in anderer Variation.

Die Bioindikatoren belegen, dass die Amplitude der Umweltveränderungen während der weichselzeitlichen Interstadialperioden im Untersuchungsgebiet weniger ausgeprägt war als in der glazial geprägten eurasischen W-Arktis. Auch ein deutliches Vordringen von Waldvegetation wie in der östlichen Kolymaniederung konnte nicht nachgewiesen werden (Andreev et al., in press; Kuzmina, 2001; Schirrmeister et al., 2001). Erst zu Beginn des Holozäns – im Borealen Klimamaximum - konnte das Vordringen von Taiga-Biomen im Gebiet des Lenadeltas nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse der isotopechemischen Untersuchungen an den Grundeiskörpern insgesamt belegen ähnlich wie die Bioindikatoren eine relativ stabile Klimaentwicklung in der untersuchten pleistozänen Zeitspanne. Die Wintertemperaturen waren stets niedriger als heute. Der stärkste Temperatur-Abfall wird für die Periode angezeigt, in der der Kuchchugyusker Horizont auf der Großen-Lyakhov-Insel gebildet wurde (nach OSL-Datierungen wahrscheinlich das frühe Weichselglazial). Die Ergebnisse der isotopegeochemischen Untersuchungen erlauben außerdem Aussagen zu regionalen Unterschieden in den Liefergebieten der Niederschläge sowie zu deren wahrscheinlichen zeitlichen Verlagerungen (Meyer et al., in press).

Die sedimentologische, mineralogische und geochemische Zusammensetzung der Ablagerungen der untersuchten Eiskomplexe zeigt ihre polygenetische Entstehung – d.h. verschiedene Prozesse nahmen an Transport und Ablagerung des Materials teil. Bodenbildungsprozesse bestimmten wesentlich die geochemische Variabilität der Ablagerungen innerhalb der Sequenzen (Siegert et al., in press). Die günstigeren Klimaperioden treten deutlich durch erhöhte Torf-Akkumulation hervor. Es konnte nachgewiesen werden, dass in allen drei Untersuchungsgebieten die benachbarten Gebirgs- oder Hügelregionen als Hauptliefergebiete fungierten. Dieses bestätigt, dass Hangprozesse im weiteren Sinne eine bedeutende Rolle bei der Bildung der Eiskomplexe gespielt haben. Dabei kann angenommen werden, dass vor allem in den Glazialperioden nivale Prozesse einen bedeutenden Einfluss auf Mobilisierung und Transport des klastischen Materials ausgeübt haben.

Die im westlichen Lena-Delta gewonnenen Daten werden zur Zeit im Rahmen des Teilprojektes 2 „System Laptev-See 2000 – Synthese“ ausgewertet.

## Referenzen

- Andreev, A.A., I. Schirrmeister, Ch. Siegert, A.A. Bobrov, D. Demske, M. Seiffert, and H.-W. Hubberten (in press) Paleoenvironmental changes in Northeastern Siberia during the Upper Quaternary - evidence from pollen records of the Bykovsky Peninsula. *Polarforschung*.
- Kuzmina, S. (2001) Quaternary insects of coastal lowlands in Yakutia. Institute of Paleontology, RAS, Moscow, 450 pp. (in Russian).
- Kuznetsova, T.V., L.D. Sulerzhitsky, Ch. Siegert, and L. Schirrmeister (2001) New data on the mammoth fauna of the Laptev shelf land (Arctic Siberia). Proceedings of 1<sup>st</sup> International Congress “The world of Elephants”, Rome, October 16-20, 2001.
- Meyer, H., A.Yu. Dereviagin, Ch. Siegert, L. Schirrmeister, and H.-W. Hubberten (in press) Hydrogene and Oxygene isotopes in ground ice – a valuable tool for paleoclimate studies on Big Lyakhovsky Island, Northern Siberia. *Permafrost and Periglacial Processes*.
- Schirrmeister, L., V.V. Kunitsky, T.V. Kuznetsova, G. Grosse, S.V. Kuzmina, and D. Bolshianov (2001) Late Quaternary and recent environmental situation around the Olenyok Channel (western Lena Delta) and on Bykovsky Peninsula. In: Rachold, V. and M.N. Grigoriev (2001) Russian-German Cooperation System Laptev Sea 2000: the Expedition LENA 2000. Reports on Polar Research, 388, pp. 85-135.
- Siegert, Ch., L. Schirrmeister, and O.A. Babiy (in press) The sedimentological, mineralogical and geochemical composition of Late Pleistocene permafrost deposits from the Ice Complex on the Bykovsky Peninsula, Northern Siberia. *Polarforschung*.







## **Teilprojekt 9: Ursachen und Auswirkungen von Umweltveränderungen in Permafrostgebieten**

### Zielsetzung

Im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Zielsetzung von Teilprojekt 9 standen Untersuchungen zu lang- und kurzfristigen Auswirkungen und Ursachen von Umweltveränderungen in der sibirischen Arktis. Dies umfasst die Entwicklung der Sedimentationsdynamik auf dem Laptev-See-Schelf (seit der letzten Vereisungsphase und älter) sowie die Veränderlichkeit und Auswirkungen des mittelsibirischen Flusswasserausstoßes auf das arktische Klimasystem.

### Arbeitsprogramm

Detaillierte Analysen wurden mit Hilfe von isotopen-geochemischen, mikropaläontologischen und sedimentologischen Methodiken sowohl an konventionell genommenem (Schwerelote) als auch erbohrtem (Bohrkerne) Sedimentmaterial durchgeführt.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Basierend auf den aus unterschiedlichen Wassertiefen entnommenen Sedimentkernen konnte im Zusammenhang mit Radiokarbondatierungen und den daraus errechneten Sedimentationsraten sowie geochemischen Analysen am organischem Material ( $^{13}\text{C}$ -Signatur) der postglaziale Meeresspiegelanstieg für die Laptev-See-Region für den Zeitraum seit ca. 11.000 Jahren vor heute detailliert rekonstruiert werden. Demnach errechnet sich für den mittleren und inneren Schelfbereich ein Meeresspiegelanstieg von 5,4 mm/a zwischen 11.200 und 9.800 Jahren vor heute, 16,3 mm/a zwischen 9.800 und 9.000 Jahren vor heute sowie ein Anstieg von 7,5 mm/a zwischen 9.000 und 5.000 Jahren vor heute (Müller-Lupp et al., 2000; Bauch et al., 2001a; Bauch et al., 2001b; s.a., <http://www.geomar.de/~hbauch/king/html/Highlights.html>).

Die im Spätsommer 2000 erfolgreich durchgeführte Bohrexpedition in die östliche Laptev-See belegte zum ersten Mal, dass marine holozäne Sedimente mit einer Mächtigkeit von ca. 10-15 m ältere, gefrorene und mit Eiskristallen durchsetzte terrestrische Sedimente überlagern. Dieses Erkenntnis ist ein eindeutiger Beweis für das Vorkommen von glazialen Permafrost auf den mittelsibirischen Schelfen und folglich das Nichtvorhandensein eines spätpleistozänen Eisschildes.

Wie vorherige mikropaläontologische Studien an Oberflächensedimenten der Laptev-See aufzeigen konnten, weisen die Sedimente der Laptev-See aufgrund ihres hohen Gehaltes an organischem Kohlenstoff ein gutes Erhaltungspotenzial für klimatisch relevante Palynomorphe, d.h. Pollen und Sporen, auf (Naidina und Bauch, 1999). Detaillierte Untersuchungen an

radiokarbondatierten Sedimentkernen für den Zeitraum seit ca. 10.000 Jahren vor heute erlauben, Aussagen über die terrestrische Klimaentwicklung machen zu können (Naidina und Bauch, 2001). Demnach hat sich das Klima Nordsibiriens grundlegend nach ca. 9.000 Jahren vor heute erwärmt, bzw. die Baumgrenze sich nach Norden ausgedehnt. Der Transfer von Baumpollen auf den Schelf während der letzten 10.000 Jahren vor heute wurde durch die Entwicklung der Abflussraten der Flüsse und der atmosphärischen Zirkulation während des Holozäns geprägt. Demnach blieb dieser konstant hoch zwischen ca. 7.500 und 3.000 Jahren vor heute. Danach kam es zu einer steten Reduzierung des Eintrags von Baumpollen auf den Schelf, der zeitlich einherging mit einer Veränderung (d.h. Abkühlung) in der Vegetationszusammensetzung im nördlichen Sibirien (Pisaric et al., 2001).

Bisherige Untersuchungen von sowohl Diatomeen- als auch aquatischen Palynomorphen konnten das gute Anwendungspotential dieser Gruppen für die zeitlichen Veränderungen der Schelfwassermassen (Salinitäten) aufzeigen (Cremer, 1999; Kunz-Pirring, 2001). Neue und weitergehende Ansätze zeigen zudem auch deren Verwendbarkeit zur Rekonstruktion von paläohydrologischen-kryologischen Veränderungen im System Flusswasser-Meereis. Demnach zeigen die Diatomeenvergesellschaftungen in Oberflächensedimenten der Laptev-See auch einen kausalen Zusammenhang mit der Position der Polynja, die sich alljährlich in der eisbedeckten Phase ausbildet. Anhand eines Sedimentkernes, dessen heutige Position nahe der Polynja liegt und der in etwa die letzten 3000 Jahre abdeckt, konnte die zeitliche Beziehung zwischen Flusswasserausstoß und durchschnittlicher geographischer Position der Polynja für das Gebiet nördlich des Lena-Deltas herausgearbeitet werden (Bauch und Polyakova, 2000). Da ozeanographische Daten andeuten, dass die Position der Polynja als Grenze zwischen Festeis und Drifteis in Abhängigkeit zur nördlichen Ausdehnung des sommerlichen Flusswasserausstoßes steht, konnte somit die zeitliche Fluktuation in der Hydrologie relativ zur Kernposition aufgezeigt werden. Zudem konnten die Anteile von marinen Diatomeen zu Süßwasserarten zur Rekonstruktion von Paläosalinitäten herangezogen werden (Bauch et al., 2000).

Detaillierte Isotopenmessreihen entlang von Wachstumsprofilen mariner Bivalvenschalen aus der Laptev-See zeigen deutliche zyklische Amplituden, die als saisonale hydrographische Veränderungen interpretiert werden (Müller-Lupp, in press). Aufgrund der Abhängigkeit der Sauerstoffisotopenzusammensetzung im Karbonat der Bivalvenschalen, der isotopischen Signatur des umgebenen Wassers sowie der Umgebungstemperatur ist es möglich, diese Amplituden den sommer- und winterlichen hydrographischen Bedingungen in der Laptev-See zuzuordnen. Isotopenveränderungen innerhalb der Schale sind hauptsächlich den Variationen in der Isotopensignatur des Wassers zuzuschreiben, die wiederum eine lineare Abhängigkeit zur Salinität aufweist. Jahreszeitlich bedingte Temperaturänderungen im Bodenwasser können bezüglich der Sauerstoffisotopenvariation in den Bivalvenschalen der Laptev-See vernachlässigt werden. Mittels der hochaufgelösten Isotopenprofile an Bivalvenschalen lassen sich momentan Veränderungen der Bodenwassersalinität in verschiedenen Bereichen der Laptev-See zwischen

1983 und 1998 rekonstruieren (Abbildung 1). Die rekonstruierten Salinitäten zeigen eine gute Übereinstimmung mit gemessenen hydrographischen Werten an den jeweiligen Fundorten.

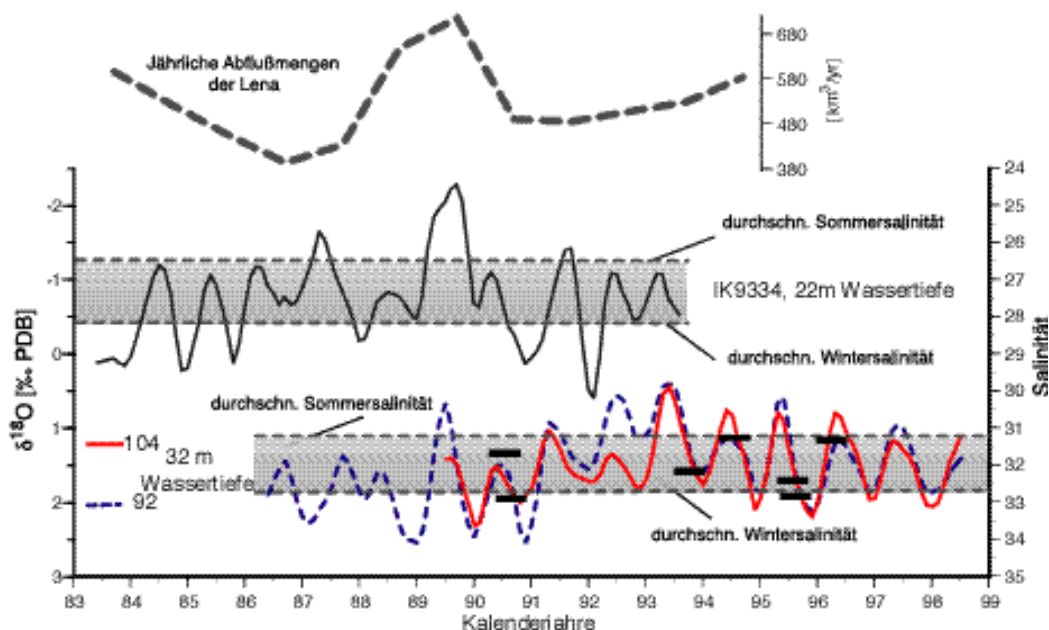


Abb. 1: Geglättete  $^{18}\text{O}$ -Profile dreier Bivalven und der daraus rekonstruierten Bodenwassersalinitäten für den Zeitabschnitt 1983-1998. Durchschnittliche Sommer- und Wintersalinitäten für die jeweiligen Stationen sind dem „Joint US-Russian Arctic Ocean Atlas for winter and summer period“ (EWG, 1998) entnommen. Einzelmessungen verschiedener Expeditionen in die Laptev-See, markiert mit einem schwarzen Balken wurden von I. Dmitrenko und S. Kirillov, Arktisches und Antarktisches Forschungsinstitut, St. Petersburg zur Verfügung gestellt; jährliche Abflussmengen der Lena aus dem Global Runoff Data Center (1998).

Die gute Übereinstimmung der aus rezenten Bivalvenschalen rekonstruierten Salinitäten mit hydrographischen Messungen bietet die Möglichkeit, aus Isotopenprofilen von fossilen Schalen in Sedimentkernen Informationen über vergangene hydrographische Bedingungen und deren Veränderungen zu erhalten.

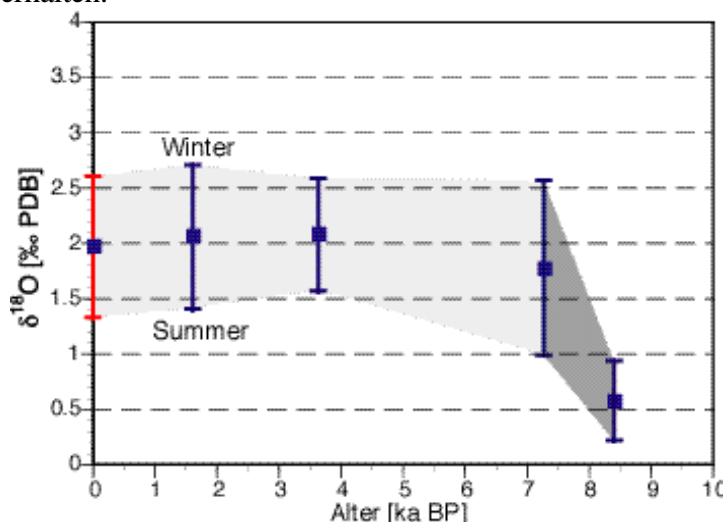


Abb.2: Durchschnittlicher  $^{18}\text{O}$ -Werte der Bivalvenschalen (PS51/92-12) und ihre saisonale Variabilität während verschiedener Zeitfenster.

Die Isotopenprofile von datierten Bivalvenschalen aus einem Sedimentkern nordöstlich des Lena-Deltas zeigen einen deutlichen Trend von leichten Werten hin zu schwereren (Abbildung 2). Zeitlich ist dieser Verlauf mit der Transgression des Laptev-See-Schelfes in Verbindung zu bringen und spiegelt den abnehmenden Einfluss des Flusswassers an dieser Station über die Zeit wider. Die leichten Isotopenwerte zum Zeitpunkt 8.4 ka BP zeigen, dass verglichen zu heute die Station PS51/92 einem erhöhten Flusswassereinfluss unterworfen war. Dieser erhöhte Einfluss von Flusswasser ist in der damaligen Nähe der Station zur Küste und zur ehemaligen Flussmündung der Lena zu suchen. Aufgrund des kontinuierlichen Rückschreitens der Küstenlinie infolge der Transgression verlagerte sich auch die Flussmündung relativ zur untersuchten Station nach Süden und führte zu einem erhöhten Einfluss von isotopisch schwererem, salzreicherem Bodenwasser zum Zeitpunkt 7.300 Jahren vor heute. Die Zeitfenster 3,6 und 1,6 ka BP repräsentieren hydrographische Bedingungen, wie sie heutzutage an der untersuchten Station zu finden sind.

#### Referenzen:

- Bauch, H.A., T. Mueller-Lupp, R.F. Spielhagen, E. Taldenkova, H. Kassens, P.M. Grootes, J. Thiede, J. Heinemeier, and V.V. Petryashov (2001a) Chronology of the Holocene transgression at the northern Siberian margin. *Global and Planetary Change*, 31 (1-4), pp. 123-137.
- Bauch, H.A., H. Kassens, O.D. Naidina, M. Kunz-Pirrung, and J. Thiede (2001b) Composition and flux of Holocene sediments on the eastern Laptev Sea shelf, Arctic Siberia. *Quaternary Research*, 55 (3), pp. 344-351.
- Bauch, H.A. and Y.I. Polyakova (2000) Late Holocene variations in Arctic shelf hydrology and sea-ice regime: Evidence from north of the Lena Delta. *International Journal of Earth Sciences*, 89 (3), pp. 569-577.
- Bauch, H.A., H. Cremer, and M. Kunz-Pirrung (2000) Siberian shelf sediments contain clues to paleoclimate forcing. *EOS Transactions*, 81, pp. 233 and 238.
- Cremer, H. (1999) Distribution patterns of diatom surface sediment assemblages in the Laptev Sea (Arctic Ocean). *Marine Micropaleontology*, 38, pp. 39-67.
- EWG (Environmental Working Group) (1998) Joint U.S.-Russian Arctic Ocean atlas for winter and summer period (1950-1990). NSIDC, University of Colorado.
- Global Runoff Data Center (1998) Bundesanstalt für Gewässerkunde, D - 56002 Koblenz, Germany.
- Kunz-Pirrung, M. (2001) Dinoflagellate cyst assemblages in surface sediments of the Laptev Sea region (Arctic Ocean) and their relationship to hydrographic conditions. *Journal of Quaternary Science*, 16 (7), pp. 637-649.

- Müller-Lupp, T., H.A. Bauch, H. Erlenkeuser, J. Hefter, H. Kassens, and J. Thiede (2000) Changes in the deposition of terrestrial organic matter on the Laptev Sea shelf during the Holocene: evidence from stable carbon isotopes. *International Journal of Earth Sciences*, 89 (3), pp. 563-568.
- Müller-Lupp, T. (in press) Short- and longterm environmental change in the Laptev Sea/Siberian Arctic during the Holocene. *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*.
- Naidina, O.D. and H.A. Bauch (2001) A Holocene pollen record from the Laptev Sea Shelf, Northern Yakutia. *Global and Planetary Change*, 31 (1-4), pp. 139-151.
- Naidina, O.D. and H.A. Bauch (1999) Distribution of pollen and spores in surface sediments of the Laptev Sea. In: Kassens, H., H.A. Bauch, I. Dmitrenko, H. Eicken, H.-W. Hubberten, M. Melles, J. Thiede, and L. Timokhov (eds.) *Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History*. Berlin: Springer, pp. 577-586.
- Pisaric, M.F.J., G.M. MacDonald, A.A. Velichko, and L.C. Cwynar (2001) The late-glacial and post-glacial vegetation history of the northwestern limits of Beringia based on pollen, stomate and tree stump evidence. *Quaternary Science Reviews*, 20 (1-3), pp. 235-245.





## Teilprojekt 10: Akustische Signale von submarinem Permafrost

### Zielsetzung

Submarine Permafrostabfolgen können an Steuerungsmechanismen des arktischen Umweltsystems wesentlich beteiligt sein, weil beispielsweise im und unterhalb des gefrorenen Bodens eingeschlossene Treibhausgase bei einer Freisetzung in Folge von Meeresspiegel- und Temperaturveränderungen drastische Auswirkungen auf das globale Umweltsystem erwarten lassen. Über die Verbreitung, Mächtigkeit und Struktur von submarinen Permafrostabfolgen in der Laptev-See gab es bei Projektbeginn nur wenige Felddaten und Modellrechnungen. Übergeordnetes Ziel war es, die These zu überprüfen, dass sich kontinuierliche, bis zu 1000 m mächtige Permafrostabfolgen über das gesamte Schelfgebiet der Laptev-See erstrecken und, basierend auf wenigen Bohrungen, gefrorene, mit Eiskristallen durchsetzte Sedimente bereits wenige Zentimeter unter der Meeresbodenoberfläche auftreten. Teilprojekt 10 konzentriert sich auf die Erfassung und Charakterisierung der gegenwärtigen Eigenschaften der obersten 200 m des Permafrostbodens in der Laptev-See mit Hilfe von seismischen Methoden. Dies ist eine Grundvoraussetzung für die Beurteilung der Bedeutung arktischer Permafrostgebiete im Umweltsystem. In diesem Zusammenhang war es auch von Interesse, holozäne Eisfurchen in der Laptev-See aus PARASOUND-Profilen zu erfassen, da Eiserosion die ungefrorene holozäne Deckschicht verändert und damit pleistozänen Permafrost am Meeresboden exponieren kann.

### Arbeitsprogramm

- Aufzeichnung von ca. 2.000 km seismischer und sedimentechographischer Profile während der „Polarstern“-Expedition TRANSDRIFT V (ARK-XIV/1b)
- Prozessieren der seismischen Mehrkanaldaten: CDP-Sortierung, Bandpass-Filterung, NMO-Korrektur, CDP-Stapelung
- Geschwindigkeitsanalysen aus seismischen Streamer- und Sonobojendaten
- Erfassung und Kartierung der Oberfläche des submarinen Permafrostes mit seismischen Methoden
- Erbohrung der Permafrostoberfläche in Schlüsselregionen und Erfassung physikalischer Parameter an Bohrkernen
- Korrelation und Vergleich der mehrkanaligen seismischen Profile mit hochauflösenden PARASOUND-Profilen und Bohrkernen
- Auswertung und Interpretation von Furchen in holozänen Sedimenten der Laptev-See aus PARASOUND-Profilen der Expeditionen ARK-IX/4, -XI/1 und -XIV/1b.

Mit Ausnahme der im letzten Punkt genannten und vom Teilprojektleiter durchgeführten Arbeiten wurden die Fragestellungen im Rahmen der Dissertation A. Gierlichs bearbeitet. Die jeweiligen Bearbeitungsschritte und die dabei aufgetretenen Probleme sowie deren Lösungen sind in den vorliegenden Zwischenberichten zu Teilprojekt 10 detailliert beschrieben.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Hinweise auf oberflächennahen Permafrost in der Laptev-See ergeben sich aus den hochauflösenden Sedimentecholotdaten des PARASOUND-Systems. Es handelt sich um morphologische Strukturen, die als sedimentgefüllte Thermokarstsenken, Pingos oder Eiskomplexe zu interpretieren sind und als typische Merkmale einer terrestrischen Permafrostlandschaft gelten.

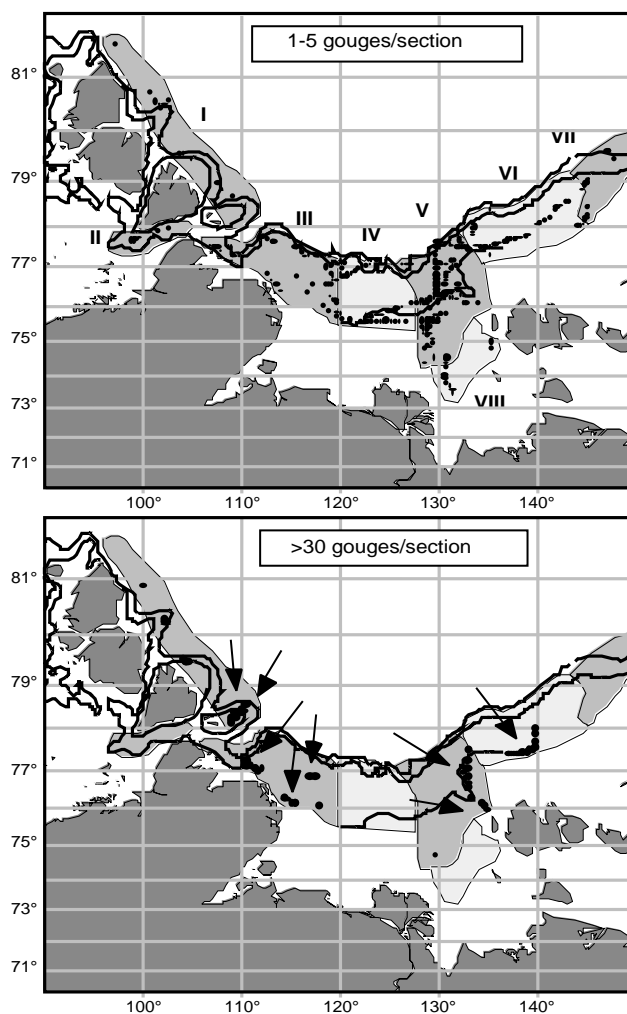


Abb. 1: Verteilung von Eisfurchen („gouges“) in der Laptev-See (ausgewertet aus PARASOUND-Profilen der „Polarstern“-Expeditionen ARK-IX/4, -XI/1 und XIV/1b, Niessen and Eicken, in prep.). „Section“ entspricht 5 km Länge. Die Ziffern I bis VIII unterscheiden charakteristische Areale in der Laptev-See und angrenzen Gebieten (I: Enger Schelf vor Severnaya Zemlya, II: Vilkitsky Straße, III: Paläotal des Khatanga, IV: Zentrale Laptev-See, V: Paläotäler von Lena und Yana, VI: östliche Laptev-See, VII: äußerer Schelf mit oberem Kontinentalhang der Ostsibirischen See, VIII: Paläotäler von Lena und Yana, jedoch südlich der winterlichen Festeisüberdeckung). Die Pfeile markieren Hauptdriftrichtungen und Auflaufgebiete von Eisbergen.



Diese Befunde werden dadurch unterstützt, dass die als Permafrost interpretierten Bereiche, wenn sie direkt bis an die Sedimentoberfläche heranreichen, möglicherweise aufgrund ihres gefrorenen Zustands nicht oder nur unwesentlich von Eisfurchen durchpflügt sind, während benachbarte Gebiete bei Überdeckung durch unverfestigte holozäne Sedimente z.T. tiefgründige Furchen aufweisen. Permafrosterscheinungen sind verstärkt in Gebieten zu beobachten, die zwischen den Paläotälern der großen Flüsse Khatanga, Lena und Yana liegen. Diese sind vermehrt Profilschnitte der West-Ost-Traversen der früheren Expeditionen ARK-IX/4 und ARK-XI/1 und sind selten in den Profilen von TRANSDRIFT V, die überwiegend in den Paläotälern von Lena und Yana lokalisiert sind. Eisfurchen sind gehäuft dort zu finden, wo Eisberge von den vorherrschenden Strömungen in der Laptev-See in flachere Meeresgebiete getrieben werden, auflaufen und Furchen bis zu 8 m tief ins Sediment ziehen (Abbildung 1). Wegen der geringen Sedimentationsraten im mittleren und äußeren Schelfbereich seit ca. 6000 Jahren handelt es sich wahrscheinlich um ein akkumuliertes Erosionsmuster von Eisbergen über Jahrtausende. Es ergeben sich keine Hinweise, dass diese Eisfurchen einen Einfluss auf die Stabilität des darunterliegenden Permafrosts haben.

Einige der Bohrungen der Expedition TRANSDRIFT VIII haben gezeigt, dass Eislagen und idiomorphe Eiskristalle tatsächlich in den oberflächennahen Schichten enthalten sein können und z.T. jeweils dort einsetzen, wo anhand der PARASOUND-Profile die Oberfläche des Permafrosts zu erwarten ist. Aufgrund der geringen Anzahl und Länge der Kerne kann zunächst aber nicht geklärt werden, ob es sich dabei tatsächlich um Relikte des Permafrosts der letzten Glaziale handelt oder um vereinzelte Eisneubildungen über einem Talik aufgrund der gegenwärtig unter 0 °C befindlichen Temperaturen am Meeresboden und in den Sedimenten.

Die Resultate der Refraktions- und Reflexionsseismik ergeben ein differenzierteres Bild. Für Permafrost typische Geschwindigkeiten (>2000 m/s) wurden nicht an oder nahe der Sedimentoberfläche bestimmt, sondern erst in Horizonten 50 bis 70 m unter dem Meeresboden. Dieser Befund ist in allen drei angewendeten Methoden zur Geschwindigkeitsbestimmung, nämlich Auswertung von Sonobjendaten, Einzelschüssen entlang des 300-m-Streamers und Reflexionshyperbeln in CDP-Sortierungen konsistent. Die letztgenannte Methode erbringt zwar den größten Datensatz, ist aber mit größerer Vorsicht zu betrachten, weil in den CDP-Sortierungen der Laptev-See häufig Überlagerung von Untergrundreflexionen und Multiplen zu beobachten sind und damit auch Geschwindigkeiten bestimmt werden können, die nichts mit der Realität zu tun haben. Nichts desto trotz muss für das seismische Untersuchungsgebiet der Expedition TRANSDRIFT V (weitestgehend die Paläotäler über den Grabenstrukturen von Lena und Yana) aus den Geschwindigkeitsdaten geschlussfolgert werden, dass in den obersten 50 bis 70 m Sediment entweder kein kontinuierlicher Permafrost vorhanden ist und/oder gefrorene Sedimente mit erheblichen Einschlüssen von Gas assoziiert sind. Dies erklärt die niedrigen Geschwindigkeiten. Auch in einige Gebiete der Laptev-See, wo in PARASOUND-Profilen permafrosttypische Morphostrukturen auftreten, kann das oben beschriebene Phänomen beobachtet werden.

Evidenzen über das Vorkommen von Gaseinschlüssen in den oberflächennahen Sedimenten ergeben sich aus der Reflexionsseismik, PARASOUND und aus den Bohrungen der Expedition TRANSDRIFT VIII. Bei den seismischen Untersuchungen handelt es sich um Diffraktionen in Reflexionsprofilen in Assoziation mit ‘acoustic voids’ in PARASOUND-Profilen, die auf Gas zwischen etwa 20 und 5 m Sedimenttiefe deuten. Zusätzlich sind in einigen reflexionsseismischen Profilen in oberflächennahen Schichten Phasenumkehrungen zu beobachten, die auf einen negativen Geschwindigkeitsgradienten zum Liegenden hinweisen. Synthetische Seismogramme, die an entsprechender Lokalität eine Geschwindigkeit von 1300 m/s unterhalb von 8 m Sedimenttiefe zugrundelegen, simulieren den seismischen Befund aus dem Untergrund am besten und unterstützen damit die These von sehr niedrigen Geschwindigkeiten in den obersten 50 bis 70 m des Untergrundes, die durch Anreicherungen von Gas erklärt werden. Letztlich stimmen diese Betrachtungen mit den Geschwindigkeitsdaten aus Reflexionshyperbeln in CDP-Sortierungen überein, die nach wie vor als unsicher einzustufen sind. Aus den CDP-Geschwindigkeiten ergibt sich in der Fläche des Untersuchungsgebietes der Expedition TRANSDRIFT V eine klare Dominanz von niedrigen Geschwindigkeiten in den obersten 50 bis 70 m Sediment (Abbildung 2) und damit ein nicht nur lokales, sondern großräumiges Vorkommen von Gas in oberflächennahen Sedimenten.

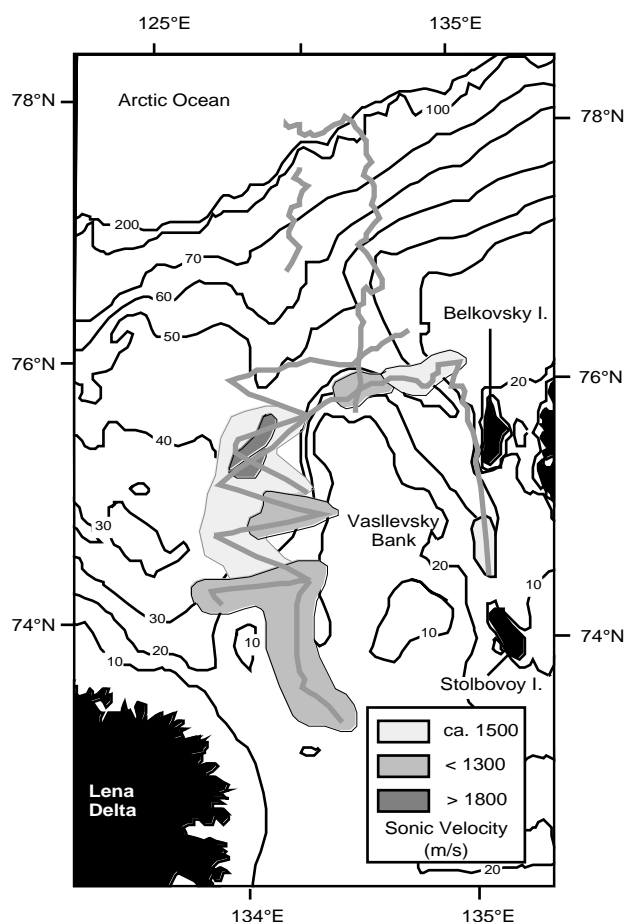


Abb. 2: Seismische Linien der Expedition TRANSDRIFT V (ARK-XIV/1b) und Kartierung von Schallgeschwindigkeiten ( $v_p$ ) in oberflächennahen Sedimenten (Dissertation Gierlichs).

Gaseinschlüsse wurden auch in den Kernen beobachtet, die in präholozäne Sedimente abgeteuft wurden (TRANSDRIFT VIII). Teilweise kommen auch wahrscheinlich auf Gas zurückgehende Risse im Sediment vor, die heute mit Eiskristallen verfüllt sind. Ein weiterer Hinweis auf Gaseinschlüsse in den Bohrkernen ergibt sich aus der Tatsache, dass es in vielen Tiefenintervallen – vor allem auch in den gefrorenen – nicht möglich war, P-Wellengeschwindigkeiten zu messen. Gaseinschlüsse verhindern die Transmission von hochfrequenten Schallwellen im Sediment.

Sollten die Schichten der obersten 50 bis 70 m Sediment in ähnlicher Weise von postsedimentären Gaseinschlüssen, Rissen sowie eventuell Eisrelikten und Eisneubildungen durchzogen sein, dann wäre das eine Erklärung, warum diese Sedimente niedrige Geschwindigkeiten aufweisen und in reflexionsseismischen Profilen nach Multiplenunterdrückung oft keine Schichtung mehr zeigen, denn die beschriebenen Strukturen können zu einer akustischen Homogenisierung führen. Eine abschließende Beurteilung ist aber nur möglich, wenn zusätzliche und vor allem tiefergehende Bohrungen in der Laptev-See durchgeführt werden können.

Eine genaue Erfassung und Kartierung der Oberfläche des submarinen Permafrostes ist aufgrund der Ergebnisse mit den vorliegenden Daten und wie oben erläutert nicht möglich. Denn zumindest für das Gebiet der Lena-Rinne ist die Frage zu stellen, ob die Schichten unterhalb von 70 m mit P-Wellengeschwindigkeiten größer als 2.000 m/s überhaupt durch Permafrost charakterisiert sind oder einen normalen Kompaktions- und Diagenesegradienten widerspiegeln. Die Bohrungen der Expedition TRANSDRIFT VIII haben dennoch eishaltige Sedimente erbohren können. Aufgrund der geringen Teufe der Bohrungen und beim gegenwärtigen Stand der Auswertungen kann aber noch nicht gesagt werden, ob es sich bei dem Eis um Permafrostrelikte aus dem letzten Hochglazial handelt oder um Eisneubildungen aufgrund veränderter Umweltbedingungen (Überflutung des Schelfes mit kälteren marinen Wässern im Holozän). Die Befunde der Bohrkerns lassen sich mit den Resultaten der akustischen Untersuchungen, wie oben erläutert, gut in Einklang bringen. Eine Korrelation von Bohrkernen mit seismischen Profilen ist aber mit dem vorhandenen Material schwierig, weil die Kerne nicht lang genug sind, um die in den seismischen Profilen aufgelösten Tiefen zu erreichen. Es ergeben sich aber erste Hinweise, dass das Auftreten von Eis im Untergrund sich in der Unterdrückung von Transmission und Auflösung in PARASOUND-Profilen widerspiegelt. Insgesamt ist zu schlussfolgern, dass sich der submarine Permafrost nach der Transgression zwar „erwärmt“ hat, aber wahrscheinlich nicht aufgetaut ist. Eine Beeinflussung des heutigen Umweltsystems ist daher vermutlich am ehesten durch die im Permafrost oder in nichtgefrorenen Schichten des Untergrundes enthaltenen Gaseinschlüsse zu erwarten. Dennoch werden die in der Laptev-See verbreitet auftretenden Einkerbungen in der holozänen Deckschicht fast ausschließlich durch die Erosion von Eisbergen (gouges) interpretiert und nicht mit Gasaustritten aus dem Sediment in Verbindung gebracht.





## Teilprojekt TK: Koordination der terrestrischen Arbeiten

### Zielsetzung

Das Gesamtziel des Teilprojektes Terrestrische Koordination war, durch Planung und Organisation der Landexpeditionen die Durchführung der Arbeitsprogramme der, im Rahmen des Verbundvorhabens beantragten, terrestrischen Teilprojekte (TP 1, 2, 6, 7 und 8) zu ermöglichen. Das Teilprojekt Terrestrische Koordination sollte die Expeditionslogistik übernehmen und die technischen Voraussetzungen für die an Land arbeitenden Teilprojekte gewährleisten. Darüber hinaus sollte die Logistik innerhalb der deutschen Teilprojekte und zwischen deutschen Teilprojekten und russischen Partnern koordiniert werden. Die hervorragende Zusammenarbeit im Rahmen der deutsch-russischen Kooperation äußert sich auch in der Expeditionsteilnahme von insgesamt 42 deutschen und 56 russischen Wissenschaftlern und Technikern (Tabelle 1).

Tab. 1: Landgestützte Expeditionen 1998-2001

| Expedition | Arbeitsgebiet                    | Zeitraum            | Teilnehmer   |              |
|------------|----------------------------------|---------------------|--------------|--------------|
|            |                                  |                     | Deutsche T./ | Russische T. |
| LENA 98    | Lena-Delta                       | 12.07. – 29.08.1998 | 14           | 16           |
| LENA 99    | Lena-Delta, Neusibirische Inseln | 28.04. - 10-09.1999 | 20           | 21           |
| LENA 2000  | Lena-Delta, Taimyr-Halbinsel     | 28.07. – 27.08.2000 | 8            | 10           |
| LENA 2001  | Lena Delta                       | 14.07. – 31.08.2001 | 8            | 9            |

### Arbeitsprogramm

Von der Terrestrischen Koordination sollten alle Expeditionen organisiert und finanziert werden, die landgestützt durchgeführt werden. Im Rahmen des beantragten Verbundvorhabens sollten in den Jahren 1998 (LENA 98), 1999 (LENA 99) und 2000 (LENA 2000) drei terrestrische Expeditionen stattfinden (Tabelle 2). Diese Expeditionen bildeten die Grundlage für die Geländearbeiten der Teilprojekte 1, 2, 6, 7 und 8.

Tabelle 2: Aufstellung der geplanten landgestützten Expeditionen.

| Expedition                                   | Arbeitsgebiet                       | Zeitraum           |
|--|-------------------------------------|--------------------|
| Küstennahes terrestrisches System: LENA 98   | Lena-Delta, Neusibirische Inseln    | 15.5. - 15.10.1998 |
| Küstennahes terrestrisches System: LENA 99   | Lena-Delta, Neusibirische Inseln    | 15.5. - 15.10.1999 |
| Küstennahes terrestrisches System: LENA 2000 | Lena-Delta (nur Bergung der Geräte) | 15.7. - 31.07.2000 |

Die Geländearbeiten wurden im wesentlichen in den Jahren 1998 und 1999 durchgeführt werden. Die Expedition im Jahr 2000, an der drei deutsche Techniker/Wissenschaftler teilnahmen, diente dazu, Messgeräte, die für Langzeitbeobachtungen zurückgelassen wurden, zu bergen. Von Tiksi ausgehend wurden Abstecher in die weitere Umgebung vorgenommen sowie die SE-Küste der Laptev-See und die Neusibirischen Inseln besucht. Für die Transportlogistik im Gelände wurden dafür neben kleinen Booten bei Bedarf auch größere Schiffe, Kettenfahrzeuge, Luftkissenfahrzeuge und Hubschrauber eingesetzt.

Regional konzentrierten sich die Arbeiten auf das Lena-Delta. Ein weiterer Schwerpunkt war die Küstenregionen östlich des Deltas bis zu der Großen-Lyachov-Insel und westlich bis zur Taimyr-Halbinsel sowie die Große-Lyachov-Insel selbst (Abbildung 1).

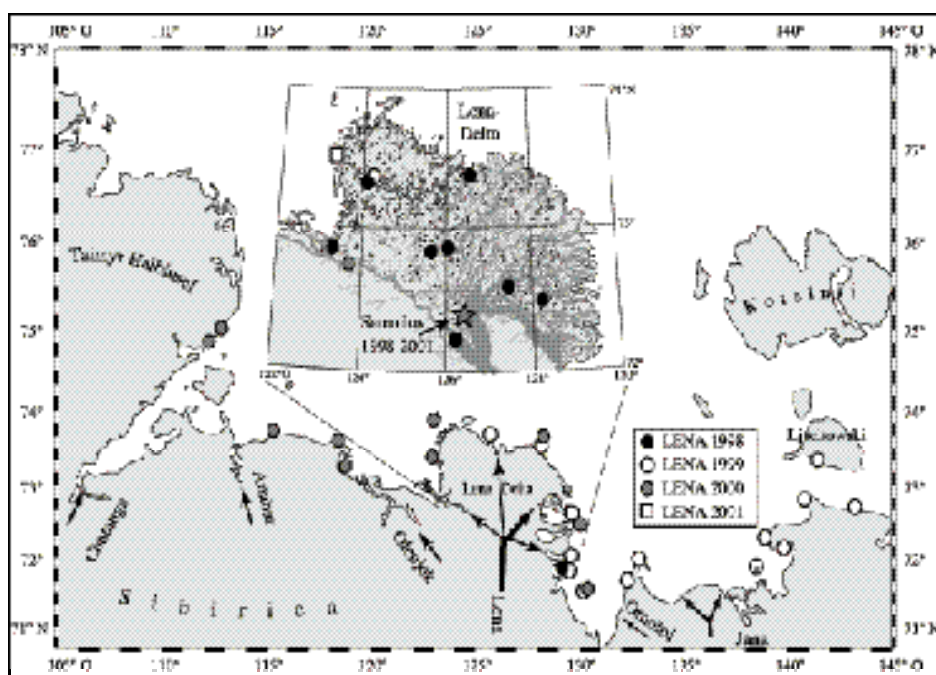


Abb. 1: Arbeitsgebiete der LENA Expeditionen 1998 bis 2001.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen des Verbundvorhabens wurden bei der Antragstellung zwei größere Expeditionen für 1998 und 1999 geplant. Für das Jahr 2000 waren lediglich Mittel zur Bergung von Geräten eingeplant. Da die Ergebnisse der beiden ersten Expeditionen eine Fortführung der Untersuchungen vor Ort erforderlich machten, wurden auch in den Jahren 2000 und 2001 Feldarbeiten in den Randgebieten der Laptev-See durchgeführt, die mit anderen Mitteln finanziert wurden. Ein Überblick über die untersuchten Lokalitäten gibt die Abbildung 1.

#### *Expedition LENA 98*

Im Rahmen des Vorhabens wurde die erste terrestrische Expedition LENA 98 ins Lena-Delta durchgeführt. Die Expedition wurde vom AWI-Potsdam in enger Zusammenarbeit mit dem Arktischen und Antarktischen Forschungsinstitut (AARI) in St. Petersburg sowie dem Permafrost Institut in Jakutsk organisiert. Ein multidisziplinäres deutsch-russisches Wissenschaftlerteam hat vom 12.7.98 bis zum 29.08.98 im Lena-Delta gearbeitet. Das Arbeitsprogramm deckte die wissenschaftlichen Ziele der terrestrischen Teilprojekte (TP 1, 2, 6, 7 und 8) ab (Rachold and Grigoriev, 1999).

#### *Expedition LENA 99*

Im Jahr 1999 wurde die Expedition LENA 99 erfolgreich durchgeführt. An der Expedition, die in der Zeit vom 28.4.99 bis zum 10.9.99 stattfand, haben insgesamt 43 deutsche und russische Wissenschaftler und Techniker teilgenommen. Wie im Jahr 1998 wurden die Expeditionsteilnehmer im Hinblick auf die Arbeitsziele der unterschiedlichen Teilprojekte auf mehrere Teams verteilt. Da die Feldarbeiten aufgrund der wissenschaftlichen Fragestellungen einiger Teilprojekte bereits im Frühjahr begannen, umfasste die Expedition einen Zeitraum von ca. 4.5 Monaten. Aus diesem Grund wurden die Teams während der Expedition mehrmals ausgetauscht, was eine aufwendige Transportlogistik erforderte (Rachold and Grigoriev, 2000).

#### *Expedition LENA 2000*

Im Rahmen des Vorhabens war für das Jahr 2000 lediglich eine kleine Expedition geplant, an der 2-3 deutsche Techniker/Wissenschaftler beteiligt sein sollten.

Da sich im Laufe der Arbeiten in vielen Teilprojekten weitere Fragen ergaben, wurde zur Fortsetzung und Ergänzung der Arbeiten vom 28.7. bis zum 27.8.2000 die wissenschaftliche Expedition LENA 2000 ins Lena-Delta und in den Küstenbereich der Laptev-See durchgeführt, die mit anderen Mitteln finanziert wurde (Rachold and Grigoriev, 2001).

#### *Expedition LENA 2001*

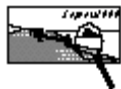
Unter dem Dach des Verbundvorhabens wurde vom 14.7. bis 31.8.2001 eine weitere Expedition in das Lena-Delta durchgeführt, die nicht aus Projektmitteln finanziert wurde. Ihre wissenschaftlichen Schwerpunkte lagen auf der Erfassung der saisonalen Methanemission für

ein weiteres Jahr und für weitere standorttypischen Vergleichsflächen im Delta als notwendige Grundlage für die Bilanzierung und Hochrechnung der Spurengasemissionen ebenso wie auf küstendynamischen Untersuchungen von bisher unerforschten Gebieten im westlichen Lena-Delta (Pfeiffer and Grigoriev, in prep.). Die hohen Methangehalte in den eisreichen Permafrostsedimenten zeigen die Bedeutung dieser bisher in den Bilanzen nicht berücksichtigten Methanquellen. Die durchgeführten, terrestrischen Permafrostbohrungen erbrachten wertvolles Probenmaterial für weiterführende mikro- und molekularbiologische Studien zu den Lebensbedingungen in extremen Habitaten. Die Befunde der nördlichen Westküste tragen wesentlich zum Verständnis der Küstenerosion und -akkumulation im Delta bei.

### Referenzen

- Rachold, V. and M.N. Grigoriev (eds.) (1999) Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA 2000 - The LENA Delta 1998 Expedition. In: Rachold, V. (ed.) Expeditions in Siberia 1998. Reports on Polar Research, 315, pp. 1-259.
- Rachold, V. and M.N. Grigoriev (eds.) (2000) Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA 2000 - The Expedition LENA 1999. In: Rachold, V. (ed.) Expeditions in Siberia 1999. Reports on Polar Research, 354, pp. 1-269.
- Rachold, V. and M.N. Grigoriev (eds.) (2001) Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA 2000: The Expedition LENA 2000. Reports on Polar Research, 388, 135 pp.
- Pfeiffer, E.-M. and M.N. Grigoriev (eds.) (in prep.) Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA 2000: The Expedition LENA 2001. Reports on Polar Research.





## Teilprojekt MK: Koordination der marinen Arbeiten

### Zielsetzung

Das Verbundvorhaben stellte mit seinem fachübergreifenden Forschungsansatz hohe Anforderungen an die Koordination der wissenschaftlichen und logistischen Arbeiten, die die vielfältigen Aktivitäten der deutschen Seite bündelte und mit den russischen Verbundpartnern abstimmt. Eine wichtige Rolle spielte hierbei das Sekretariat "System Laptev-See", das als Schnittstelle für die Kommunikation innerhalb der Teilprojekte, zwischen den russischen und den deutschen Verbundpartnern sowie den zuständigen Behörden in der Russischen Föderation und der Bundesrepublik Deutschland dienen soll.

Im Mittelpunkt der Arbeiten des Teilprojektes "Marine Koordination" stand die Planung und Durchführung der vier marinen Expeditionen TRANSDRIFT V-VIII sowie die Koordination und Organisation der Arbeitstreffen und des Gastwissenschaftlertausches. Die regelmäßigen nationalen und internationalen Arbeitstreffen bildeten ein wichtiges Diskussionsforum für die unterschiedlichen Fachrichtungen. Seit Herbst 1999 ist der Aufgabenumfang durch die enge inhaltliche und logistische Zusammenarbeit mit dem BMBF-Vorhaben „Otto-Schmidt-Labor für Polar- und Meeresforschung“ (FKZ 03PL026A) erweitert worden.

Wissenschaftlich-technische Arbeitsziele

- Leitung und Organisation des Sekretariates "System Laptev-See"
- Vorbereitung und Durchführung der TRANSDRIFT-Expeditionen in die Laptev-See
- Vorbereitung und Durchführung der nationalen und internationalen Arbeitstreffen sowie der Statusseminare
- Durchführung von Korrekturen und Übersetzungen russischer, englischer und deutscher Manuskripte und Berichte
- Dolmetschen während wissenschaftlicher Arbeitstreffen in Russland und Deutschland sowie die Betreuung von Gastwissenschaftlern

### Arbeitsprogramm

Im Mittelpunkt des Arbeitsprogramms des Teilprojektes MK standen die russisch-deutschen Expeditionen TRANSDRIFT V-VIII (Tabelle 1).

Tab. 1: Expeditionen in die Laptev-See im Förderzeitraum.

| <b>Expedition</b> | <b>Zeitraum</b> | <b>Region</b>       | <b>Teilnehmer</b> | <b>Stationen</b> |
|-------------------|-----------------|---------------------|-------------------|------------------|
| TRANSDRIFT V      | 27.7.-26.8.1998 | Zentrale Laptev-See | 56                | 81               |
| TRANSDRIFT VI     | 6.4.-13.5.1999  | Laptev-See-Polynja  | 25                | 23               |
| TRANSDRIFT VII    | 19.8.-16.9.1999 | Zentrale Laptev-See | 16                | 31               |
| TRANSDRIFT VIII   | 20.8.-27.9.2000 | Östl. Laptev-See    | 18                | 50               |

Während der Expedition TRANSDRIFT V mit FS POLARSTERN wurden an insgesamt 81 Stationen multidisziplinäre Forschungsarbeiten im freien Wasser und in eisbedeckten Gebieten durchgeführt. An zwei Schlüsselpositionen in der östlichen Laptev-See wurden Meeresbodenmessobservatorien ausgesetzt, die für mindestens ein Jahr Daten, beispielsweise das Strömungsregime und die Meeresbodentemperatur, aufzeichneten. Zudem war es möglich, umfangreiche seismische Profile zur Vorbereitung der Bohrexpedition TRANSDRIFT VIII aufzunehmen. Die Untersuchung der Laptev-See-Polynja am Ende des Winters stand im Mittelpunkt der Expedition TRANSDRIFT VI. Hierzu flogen die Wissenschaftler täglich mit Hubschraubern für einige Stunden auf das Eis nahe der Polynja und führten ihre Untersuchungen teilweise im Freien, teilweise im Schutz beheizter Zelte durch. Während dieser Expedition kam uns die russische Expertise im Durchführen von Winterexpeditionen in die Arktis besonders zugute. Die Expedition TRANSDRIFT VII diente vor allem der erfolgreichen Bergung der Meeresbodenmessobservatorien. Zugleich wurden aufbauend auf die Datenerhebung vorangegangener Expeditionen weitere Proben genommen, um vertiefende Fragestellungen zu bearbeiten oder Hypothesen zu klären. Für die Bohrexpedition TRANSDRIFT VIII wurden zwei Schiffe gechartert; das Bohrschiff KIMBERLIT und das Forschungsschiff YAKOV SMIRNITSKIJ, auf dem die Bohrkerne bearbeitet und ein eigenes ozeanographisches Forschungsprogramm durchgeführt wurde. Gleichzeitig diente es auch als Versorgungsschiff für die sehr kleine KIMBERLIT.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten der MK war die erfolgreiche Durchführung der 5. und 6. internationalen Arbeitstreffen und Statusseminare des Verbundvorhabens in St. Petersburg (25.-29.11.1999, 12.-14.10.2000) mit insgesamt 245 TeilnehmerInnen sowie von 9 nationalen Arbeitstreffen.

Darüber hinaus wurden insgesamt 86 Gastaufenthalte von russischen WissenschaftlerInnen in Deutschland betreut (s. Anhang). Die enge Kooperation mit dem Otto-Schmidt-Labor für Polar- und Meeresforschung (OSL) hat die bilaterale wissenschaftliche Zusammenarbeit im Verbundvorhaben deutlich intensiviert (vergl. Zwischenbericht 2000 des BMBF-Vorhabens 03PL026A). So werden im Rahmen von Stipendien des OSL erweiterte und vertiefende Fragestellungen der Themenfelder des Verbundvorhabens „System Laptev-See 2000“ durch

russische WissenschaftlerInnen bearbeitet. Auch konnten nach der Expedition TRANSDRIFT VIII erste Proben direkt in St. Petersburg analysiert werden. Diese Kooperation unterstützt maßgeblich das Gesamtziel des Verbundvorhabens. Die eng auf einander abgestimmte Arbeitsweise und –teilung des Koordinationsteams beider Vorhaben erwies sich hierbei als ausgesprochen förderlich.

Insgesamt konnten die Ziele des Teilprojektes MK vollständig innerhalb des gesteckten Zeitrahmens erreicht werden.

