

**Die postglaziale Sedimentationsgeschichte  
der Laptewsee: schwermineralogische und  
sedimentpetrographische Untersuchungen**

**Postglacial Depositional History of the Laptev  
Sea: Mineralogy and Sedimentology**

---

**Bernhard Peregovich**

**Ber. Polarforsch. 316 (1999)**

**ISSN 0176 - 5027**

*Der Wandel ist das Wesen jeder  
Wissenschaft, und heute gefundene  
Antworten sind vor allem die Grund-  
lagen für weitere Fragen.*

E. SEIBOLD 1991

---

**Bernhard Peregovich**

GEOMAR - Forschungszentrum für marine Geowissenschaften  
Wischhofstraße 1-3  
D-24148 Kiel

Die vorliegende Arbeit ist die inhaltlich unveränderte Fassung einer Dissertation, die 1998 der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel vorgelegt wurde. Die Daten dieser Veröffentlichung (Anhang A-D) sind über das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven verfügbar.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>Абстракт</b>	<b>3</b>
<b>1 EINFÜHRUNG UND GRUNDLAGEN</b>	<b>5</b>
1.1 Fragestellung	5
1.2 Bisherige Arbeiten zur Schwermineralthematik	6
1.3 Geographie, Bathymetrie, Flußwassereintrag und Eisverhältnisse	7
1.4 Geologie und Lithologie in den Flußeinzugsgebiete	11
1.5 Mineralogische und kristallographische Merkmale der Schwerminerale	14
<b>2 METHODIK</b>	<b>21</b>
2.1 Auswahl, Bearbeitung und Präparation der Proben	21
2.2 Kristalloptische Schwermineralbestimmung	23
2.3 Auswertung und Fehlerabschätzung	24
<b>3 STRATIGRAPHIE</b>	<b>28</b>
3.1 Alterseinstufung der Sedimentkerne und Oberflächensedimente	28
3.2 Berechnung der Akkumulationsraten am Gesamtsediment	30
<b>4 ERGEBNISSE</b>	<b>32</b>
4.1 Schwermineralzusammensetzung in den Oberflächensedimenten	32
4.2 Schwermineralanteile in den Meereissedimenten	38
4.3 Korngrößen, Akkumulation und Schwerminerale in den Sedimentkernen	40
4.3.1 Schwermineralspektrum des Sedimentkerns IK 93 73-10 KL	42
4.3.2 Schwermineralspektrum des Sedimentkerns KD 95 02-14 VC	42
4.3.3 Schwermineralspektrum des Sedimentkerns PM 94 62-04 VC	42
4.3.4 Schwermineralspektrum des Sedimentkerns PM 94 99-02 VC	43

<b>5 DISKUSSION</b>	<b>49</b>
5.1 Verteilungsmuster von Schwermineralen auf dem Schelf	49
5.1.1 Bedeutung der rezenten Sedimentdynamik	49
5.1.2 Schwermineralverteilung: mögliche Ursachen, Bedeutung und Herkunft	51
5.1.3 Auswirkung der Gesteinsverwitterung auf die Schwerminerale	55
5.2 Selektion von Schwermineralen beim Sedimenteintrag ins Meereis?	59
5.3 Klimatisch bedingt wechselnde Sedimentdynamik im Holozän	62
5.3.1 Westliche Laptewsee	63
5.3.2 Östliche Laptewsee.	65
<b>6 SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>71</b>
<b>7 SCHRIFTENVERZEICHNIS</b>	<b>73</b>
<b>8 DANK</b>	<b>84</b>

**Anmerkung:** Die in dieser Arbeit vorkommenden russischen Ortsbezeichnungen wurden nach der Duden-Transkription<sup>1</sup> transkribiert. Hierunter fallen nicht die russischen Autorennamen oder Ortsbezeichnungen in deren Publikationen, bzw. deren Titel.

---

<sup>1</sup> DUDEN (1991): Rechtschreibung der deutschen Sprache, Bd. 1, 20. Aufl. - Dudenverlag, Mannheim, Wien, Zürich, S. 82

## ZUSAMMENFASSUNG

Rezente und holozäne Schelfsedimente sowie Meereissedimente aus der Laptewsee im Arktischen Ozean wurden schwermineralogisch und sedimentpetrographisch untersucht.

Die Schwermineralverteilung in den Oberflächensedimenten erlaubt eine Untergliederung der Laptewsee in drei unterschiedliche Provinzen. Die westliche Laptewsee ist von lokalen Granatanreicherungen und hohen Pyroxengehalten geprägt. Im zentralen und östlichen Teil der Laptewsee dominieren die Amphibole unter den Schwermineralen, während in der südöstlichen Laptewsee bei relativ niedrigen Pyroxen- und Amphibolgehalten Minerale der Glimmergruppe, Gesteinsbruchstücke und opake Minerale das Schwermineralspektrum bestimmen. Diese Verteilungsmuster lassen sich in erster Linie auf die fluvial eingetragenen Erosionsprodukte aus dem sibirischen Hinterland zurückführen. Küstenerosion und litorale Sedimentumlagerungsprozesse tragen zwar wesentlich zur rezenten Sedimentation in der Laptewsee bei, beeinflussen aber die Schwermineralverteilung selbst nur unwesentlich.

Die Schwermineralspektren in den Meereissedimenten spiegeln im allgemeinen ihre Zusammensetzung in den Entstehungsgebieten dieses Meereises wider. Eine leichte Verschiebung des Schwermineralspektrums zugunsten relativ leichter und feinkörnigerer Komponenten, die bei Vergleichen von Meereis- und Schelfsedimenten zu berücksichtigen ist, läßt Rückschlüsse auf die vorherrschenden Eintragsmechanismen bei der Eisbildung zugunsten feinerer Sedimentpartikel zu.

Schwermineralogische und sedimentpetrographische Untersuchungen an vier Sedimentkernen aus der östlichen und westlichen Laptewsee bezeugen wechselnde Sedimentationsverhältnisse, deren Ursachen in Veränderungen der klimatischen Verhältnisse nach dem letzten Glazial zu suchen sind. Hohe Sandanteile und Pflanzenreste im unteren Abschnitt zweier Kerne aus der Chatanga- und Janarinne sowie die Schwermineralzusammensetzung, die der heutigen Chatanga- bzw. Lenasedimente entspricht, bezeugen die Aktivität dieser Flüsse vor dem Einsetzen der Transgression, in deren Folge um 10.000 J. v. h. die Überflutung des Schelfs einsetzte. Ein Anstieg der Anteile von Granat und opaken Mineralen in den Sedimenten der westlichen Laptewsee um diese Zeit zeigt die zunehmende Entwässerung des Anabar-Schildes infolge der Klimaerwärmung an. Durch den ansteigenden Meeresspiegel wird das Sedimentationszentrum der Chatanga landwärts verlagert. In der nordöstlichen Laptewsee macht sich durch hohe Sedimentakkumulation der erosive Charakter der Transgression bemerkbar. Nach Erreichen des heutigen Meeresspiegelstandes um 6.000 J. v. h. wird die Sedimentation in der Laptewsee bis heute im wesentlichen durch fluvialen Sedimenteintrag, Küstenerosion und die vorherrschenden Eisverhältnisse bestimmt. Hohe Glimmergehalte in den Sedimenten der östlichen Laptewsee um 5.000 J. v.

h. zeigen kurzzeitig einen verstärkten Janaeinfluß an, während die Amphibolanteile den dominierenden Eintrag von Lenasedimenten signalisieren. Lokal begrenzte Karbonatanreicherungen vor den Neusibirischen Inseln bestätigen den bis heute anhaltenden Einfluß der Küstenerosion auf den Sedimenthaushalt der Laptevsee.

### ABSTRACT

To identify modern and past sediment transport from the siberian hinterland to the Laptev Sea, mineralogical and sedimentological investigations (e. g. heavy minerals) were performed. These analyses concentrated on recent and Holocene sediments as well as on sea-ice sediments from the Laptev Sea.

The distribution of heavy minerals in surface sediments allows a subdivision of the Laptev Sea into three different provinces. The western Laptev Sea is dominated by a local garnet enrichment and a high concentration of pyroxene. In the central and the eastern part of the Laptev Sea the amphiboles dominate among the heavy minerals, whereas the minerals of mica, rock fragments and opaque minerals determine the spectrum of heavy minerals in the south-eastern Laptev Sea with a relatively low concentration of pyroxene and amphiboles. These distribution patterns are mainly attributed to the fluvial input of float debris from the Siberian hinterland. The coastal erosion and the processes of sediment redeposition significantly contribute to the recent sedimentation in the Laptev Sea, however, these processes play only a minor role for the distribution of heavy minerals.

The composition of heavy minerals in sea-ice sediments generally reflect their assemblages in the areas of ice formation. A slight shift in the spectrum of heavy minerals in favour of relatively light and fine-grained components, which should be considered by comparing sea-ice- and shelf sediments, allows conclusions on the prevailing incorporation mechanism during freeze-up favouring fine-grained sediment particles.

Heavy mineral and sediment petrographical analysis of four sediment cores from the eastern and western Laptev Sea testify changing sedimentary conditions due to a change of climatic conditions after the last glacial optimum. Large amounts of sand and terrigenous plantdebris, which occur in the lowermost core-section of Khatanga and Yana Valley, as well as the composition of heavy minerals, which corresponds to the recent Khatanga and Lena sediments, prove the activity of these rivers before the beginning of transgression, as consequently the shelves began to be flooded around 10.000 y. b. p. The increasing amounts of garnet and opaque minerals in the western Laptev Sea during this time show the increasing drainage of the Anabar-shield due to the climatic change. Owing to the rising sea-level the depocenters of the Khatanga Valley shifted landward. The erosive character of transgression is noticeable because of high bulk sediment accumulation rates in the north-eastern Laptev Sea. After reaching the recent sea-level around 6.000 y. b. p., the sedimentation in the Laptev

Sea is determined considerably by fluvial input of sediments, coastal erosion and the prevailing ice conditions. Large amounts of mica in the sediments of the eastern Laptev Sea around 5.000 y. b. p. represent short-term an intensive influence of Yana river, while the amphibols signal the prevailing input of Lena sediments. Locally restricted enrichments of carbonate nearby the New Siberian Islands confirm the still remaining influence of the coastal erosion remaining until today on the sediment budget of the Laptev Sea.

### АБСТРАКТ

Проведено осадочно-петрографическое исследование современных и голоценовых осадков шельфа и морского льда моря Лаптевых (Северный Ледовитый Океан), а также изучен состав минералов тяжёлой фракции.

Распределение минералов тяжёлой фракции в поверхностных осадках позволяет разделить море Лаптевых на три различные провинции. Для западной части моря Лаптевых характерны локальные обогащения гранатом и высокие содержания пироксенов. В центральной и восточной частях моря Лаптевых среди минералов тяжёлой фракции преобладают амфиболы, в то время как в юго-восточной части моря спектр тяжёлых минералов определяют минералы группы слюд, обломки горных пород и непрозрачные минералы, при относительно низких содержаниях пироксенов и амфиболов. Эти черты распределения, в первую очередь, объясняются выносом продуктов эрозии реками Сибири. Несмотря на то, что береговая эрозия и литоральные процессы переотложения осадков существенно способствуют современному осадконакоплению в море Лаптевых, они не оказывают значительного влияния на распределение тяжёлых минералов.

Ассоциации тяжёлых минералов, содержащихся в морских льдах, в общем, отражают их состав в донных осадках районов образования льда. При сравнении включений в морском льду и осадков шельфа, обнаружено незначительное смещение спектра минералов во льду в сторону относительно большего количества легких и тонкозернистых компонент, что позволяет сделать вывод о преобладающей инкорпорации в лед во время его образования более тонкозернистых частиц.

Изучение тяжёлых минералов и осадочно-петрографические исследования четырёх колонок в восточной и западной частях моря Лаптевых выявили изменения в условиях осадконакопления, причиной которых являются изменения климата после последнего лед-

никового оптимума. Высокое содержание песка и остатков растений в нижних горизонтах двух колонок из реликтовых долин рек Хатанга и Яна, также как и состав минералов тяжёлой фракции, соответствующий современному составу твердого стока рек Хатанга и Лена, свидетельствуют о деятельности этих рек до начала трансгрессии, прежде чем произошло затопление шельфа 10.000 лет назад. Повышение доли граната и непрозрачных минералов в осадках западной части моря Лаптевых в это время указывает на то, что было увеличение стока и выноса обломочных частиц с Анабарского цита вследствие потепления климата. В результате повышения уровня моря центр осадконакопления реки Хатанга переместился по направлению к берегу. Отмечен эрозионный характер трансгрессии по высоким скоростям осадконакопления в северо-восточной части моря Лаптевых. После того, как современный уровень моря был достигнут приблизительно 6000 лет назад, осадконакопление в море Лаптевых до настоящего времени определяется, главным образом, речным выносом, береговой эрозией и ледовым режимом. Высокие содержания слюд в осадках восточной части моря Лаптевых, по возрасту соответствующих приблизительно 5.000 лет, свидетельствуют о кратковременном увеличении влияния реки Яна, тогда как доля амфиболов показывает на преобладающий вынос осадков рекой Лена. Локально ограниченные обогащения карбонатами у Новосибирских островов подтверждают влияние береговой эрозии на осадконакопление моря Лаптевых, сохранившееся до настоящего времени.



## 1 EINFÜHRUNG UND GRUNDLAGEN

### 1.1 Fragestellung

Die Bedeutung des Arktischen Ozeans sowie der Ausdehnung und Dynamik seiner Eisbedeckung für die Entwicklung des globalen Klimas in Vergangenheit und Gegenwart wurde bereits im letzten Jahrhundert erstmals erkannt (NANSEN 1897) und mit zunehmendem Interesse bis heute vielfach diskutiert, u. a. von CLARK (1982), NAD SCIENCE COMMITTEE (1992), SARNTHEIN et al. (1992), AAGAARD & CARMACK (1994), JOHANNESSEN et al. (1994), THIEDE (1996). Eine umfassende Übersicht über den derzeitigen Kenntnisstand in der Klimaforschung ist bei HOUGHTON et al. (1996) gegeben.

Nach und nach wurde auch den häufig im Eis beobachteten Sedimentschlüssen größere Aufmerksamkeit geschenkt, zum einen wegen ihres möglichen Einflusses auf ozeanisch-atmosphärischen Wärmeaustausch, u. a. auch durch die Beeinträchtigung des Albedo-Effekts, zum anderen wegen der sich abzeichnenden Möglichkeit, anhand der herkunftsbedingt unterschiedlichen Sedimentzusammensetzung aus Änderungen in der Dynamik des arktischen Eisschildes, und dadurch bedingte Veränderung im Sedimenthaushalt des Arktischen Ozeans, Rückschlüsse auf deren klimatisch bedingte Ursachen ziehen zu können (z. B. BISCHOF 1991, SPIELHAGEN 1991, ABELMANN 1992, LETZIG 1993, WOLLENBURG 1993, VOGT 1997).

In das übergeordnete Ziel des Projektes „Laptev Sea System“, die Mechanismen, welche die klimatischen Veränderungen in der Vergangenheit steuern, und die gegenwärtigen Umweltveränderungen zu erforschen und zu verstehen, eingeordnet, soll in der vorliegenden Arbeit anhand der Untersuchung sedimentpetrographischer und schwermineralogischer Merkmale der Sedimente in der Laptewsee, wo ein Großteil des arktischen Meereises gebildet wird, das bisher noch unvollständige Bild der rezenten Sedimentdynamik erweitert werden, um die holozäne Entwicklungsgeschichte der Laptewsee zu rekonstruieren und im Kontext zur postglazialen Klimaentwicklung diskutieren und interpretieren zu können. Hierbei stellen sich die folgenden Fragen:

- Wodurch sind die rezenten Sedimentationsvorgänge in der Laptewsee bestimmt und gekennzeichnet, wie sehen die typischen Merkmale der Sedimente der Laptewsee aus und wodurch sind sie geprägt?
- Welchen möglichen Veränderungen unterliegen die Sedimente beim Eintrag in das Meereis und inwieweit sind diese Veränderungen beim Heranziehen der Meereissedimente als mögliche Signalträger zu berücksichtigen?

- Wie können die sedimentpetrographischen Merkmale der Sedimentkerne dazu herangezogen und interpretiert werden, um aus der holozänen Sedimentationsgeschichte der Laptewsee Rückschlüsse auf die postglaziale Klimaentwicklung zuzulassen?

Zur Beantwortung dieser Fragen sollen Schwermineralanalysen an Schelfoberflächensedimenten, an Sedimenteinschlüssen im Meereis und an Sedimentkernen durchgeführt werden. Die Schwermineralzusammensetzung und -verteilung in Sedimenten sind neben weiteren sedimentpetrographischen Kennzeichen wie z. B. Korngrößenverteilung, Anteil an biogenen Komponenten, Akkumulationsraten usw. wichtige charakteristische Merkmale, die Aufschluß geben können über den Ursprung der Sedimente, Witterungsverhältnisse im Herkunftsgebiet, Transport- und Eintragsmechanismen sowie Ab- und Umlagerungsbedingungen. Somit sollen das derzeitige Bild der rezenten Sedimentdynamik und deren Ausprägungen in der Laptewsee hintergründig durchleuchtet und der bisherige Kenntnisstand hierüber erweitert und ergänzt werden.

Mögliche Abweichungen in der Zusammensetzung der Schwermineralspektren von Meereissedimenten im Vergleich zu ihren Herkunftsgebieten sollen Hinweise auf vorherrschende Eintragsmechanismen geben.

Unter Berücksichtigung weiterer sedimentpetrographischer Merkmale, wie Korngrößenverteilung und Sedimentakkumulation, sollen anhand möglicher Veränderungen in der Schwermineralzusammensetzung in den Sedimentkernen schließlich die Sedimentationsverhältnisse und -bedingungen soweit zurückverfolgt und rekonstruiert werden, wie es die jeweiligen Altersbestimmungen der Sedimente in den Sedimentkernen zulassen.

Als Basis für diese Dissertation sind zunächst bisherige Arbeiten über schwermineralogische und sedimentpetrographische Untersuchungen in der Laptewsee heranzuziehen. Desweiteren sind der derzeitige Kenntnisstand über Geographie, Bathymetrie, Flußwassereintrag und Eisverhältnisse in der Laptewsee sowie die Geologie und Lithologie in den Einzugsgebieten der in die Laptewsee entwässernden Flüsse von Bedeutung. Die mineralogischen und kristallographischen Charakteristika der in der Laptewsee vorkommenden Schwerminerale schließlich bilden die Grundlage für die Interpretation ihrer qualitativen und quantitativen Merkmalsausprägungen in den hier untersuchten Sedimenten.

### 1.2 Bisherige Arbeiten zur Schwermineralthematik

Der bisherige Kenntnisstand über Schwermineralverteilungen in der Laptewsee ist sehr gering. LAPINA (1965) untergliedert die Laptewsee anhand der Verhältnisse von Epidot, Pyroxen, Amphibol und opaken Mineralen. Die Beprobungsdichte und Einzelheiten über die Aufbereitungsmethoden gehen aus dieser Arbeit, deren Ergebnisse bei LISITZIN (1972, 1978)

und STEIN & KOROLEV (1994) zusammengefaßt sind, aber nicht eindeutig hervor. Der von LAPINA (1965) ausgewählte Korngrößenbereich von 0,05 - 0,10 mm umfaßt nicht den Hauptanteil des Schwermineralspektrums und kann somit die Ergebnisse zugunsten bevorzugt feinkörnig auftretender Minerale, wie z. B. Epidot, verfälschen. SILVERBERG (1972) hat in seiner Arbeit in Bezug auf die Schwermineralverteilung zwar mit verschiedenen Korngrößen, unterteilt in Phi-Klassen, was den heutigen sedimentpetrographischen Standards entspricht, gearbeitet, die Schwerentrennung wurde aber bei einer Dichte von  $3,17 \text{ g/cm}^3$  durchgeführt. Hierdurch wurden schwerere Komponenten wie z. B. Granat und opake Minerale begünstigt, und die Anteile der am häufigsten auftretenden Minerale der Amphibol- und Pyroxengruppe wurden dadurch nicht vollständig erfaßt.

In diesen Arbeiten ist der Ost-West-Trend in Amphibol- und Pyroxenvorherrschaft bereits angedeutet, der quantitative Charakter dieser Aussagen ist aber aufgrund der unterschiedlichen Bearbeitungsmethoden nicht reproduzierbar.

Neuere Arbeiten über Schwerminerale im Arktischen Ozean (NAUGLER et al. 1974, KNEBEL & CREAGER 1974, LUEBKE 1985, LUEBKE & ESCOWITZ 1989, DARBY & BISCHOF 1996, BISCHOF & DARBY 1997, BEHRENDTS et al. 1998, PEREGOVICH et al. in Vorb.) stehen in Einklang mit den heute üblichen sedimentpetrographischen Standardparametern und lassen sich daher recht gut zu Vergleichszwecken heranziehen.

### 1.3 Geographie, Bathymetrie, Flußwassereintrag und Eisverhältnisse

Die drei großen Epikontinentalmeere Laptewsee, Ostsibirische See und Tschuktschensee an der Nordküste Sibiriens bedecken einen ausgedehnten Schelf zwischen der Halbinsel Taimyr und Alaska (Abb. 1). Die Laptewsee zeichnet sich im Schelfbereich durch sehr geringe Wassertiefen von maximal 50 bis 60 m aus; ihr Schelf, im Westen von der Halbinsel Taimyr und im Osten von den Neusibirischen Inseln begrenzt, erstreckt sich über eine Gesamtfläche von  $460.000 \text{ km}^2$  bei einer sehr geringen Schelfneigung von 0 - 5 m/km (HOLMES 1967, HOLMES & CREAGER 1974).

Der Schelf wird von fünf großen, in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Rinnen durchzogen, die nach den Flüssen benannt sind, durch die sie während pleistozäner Meeresspiegeltiefstände eingeschnitten wurden (HOLMES & CREAGER 1974). Zwischen den Rinnen bestimmen ausgedehnte Ebenen die Bathymetrie. Auf der Stolbowoi-Bank, in der östlichen Laptewsee gibt es mehrere Untiefen mit weniger als 5 m Wassertiefe (HOLMES 1967). Eine davon, die Wassilewskibank (Abb. 2) entstand wahrscheinlich durch Thermoabrasion der ehemaligen Insel Wassilewski (HOLMES 1967, TIMOKHOV 1994). Thermoabrasion ist eine Permafrost-Erosionsform, die durch tauende Eisblöcke in Innern von Sedimenten hervorgerufen wird (TORMIDIARO 1975). Die Wassilewskibank und ihre südwestlichen Ausläufer bilden eine Schwelle, die die südöstliche von der üb-

rigen Laptewsee trennt. Über die Janarinne besteht eine Verbindung zwischen den beiden Meeresbecken.

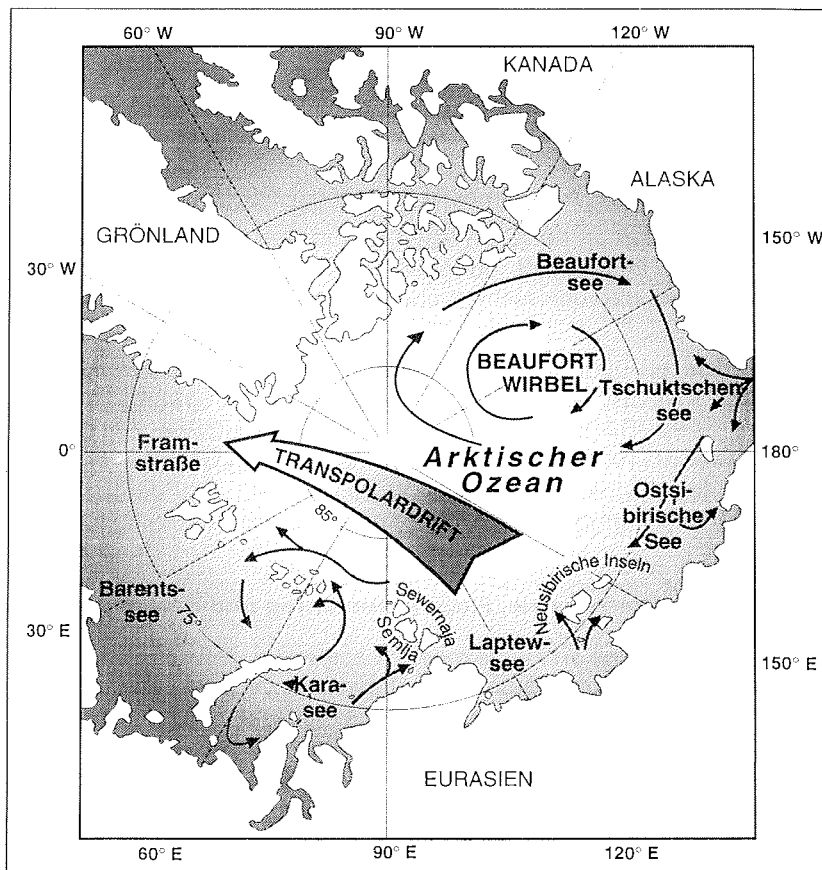
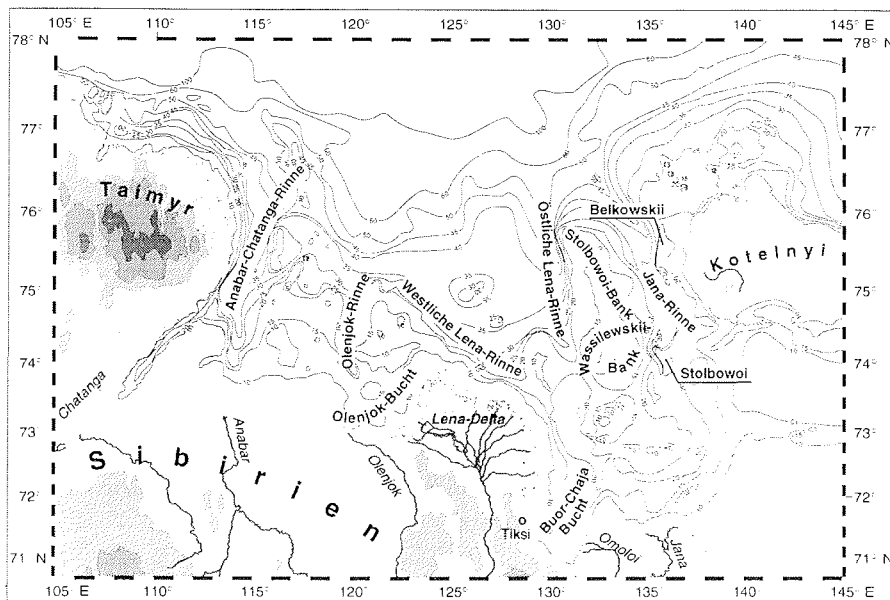


Abb. 1: Übersichtskarte des Arktischen Ozeans mit rezenten Eisdriftmustern (modifiziert nach REIMNITZ et al. 1992).

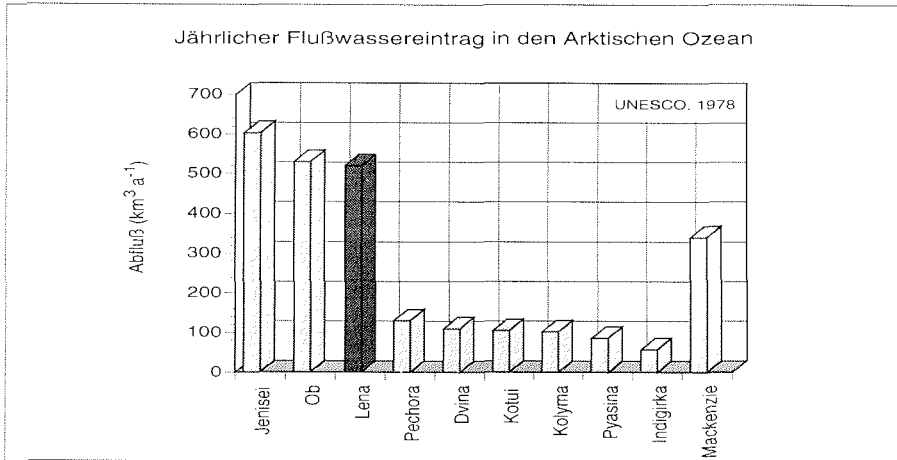
Das ca. 29.000 km<sup>2</sup> große Lena-Delta (HOLMES 1967) wird von vier Hauptarmen und unzähligen kleineren Armen der Lena durchzogen. Seine Ostseite ist durch Thermoabrasion und Erosion in viele Abschnitte zergliedert (ZENKOVICH 1985). Auch die Flüsse Jana und Olenjok haben jeweils im Ansatz ein Delta aufgeschüttet, während Anabar und Chatanga in Ästuare münden (ZENKOVICH 1985).



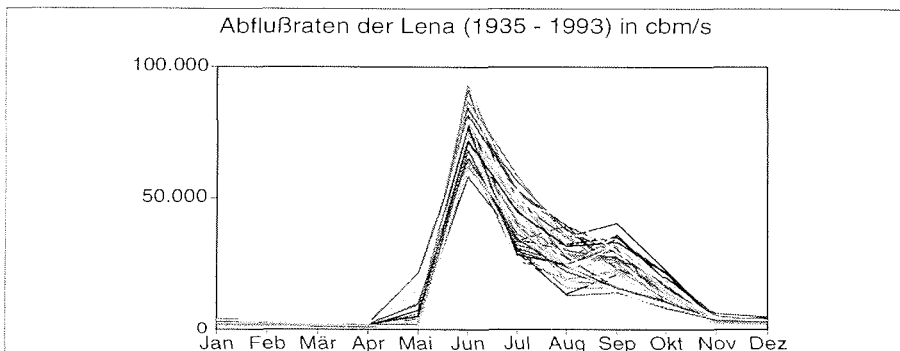
**Abb. 2:** Bathymetrische Karte der Laptewsee (nach HOLMES & CREAGER 1974, modifiziert nach russischen Seekarten).

Von den etwa  $3.300 \text{ km}^3$  Süßwasser (AAGAARD & CARMACK, 1989), die dem Arktischen Ozean jährlich durch die großen Flüsse zugeführt werden (Abb. 3), entfallen ca.  $700 \text{ km}^3$  Wasser mit einer Sedimentfracht von etwa  $27 \times 10^6 \text{ t}$  auf die Laptewsee (MARTIN et al. 1993, ALABYAN et al. 1995). Hier wiederum dominiert die Lena mit ca.  $520 \text{ km}^3$  und einer Suspensionsfracht von  $21 \times 10^6 \text{ t}$ , was etwa 75 % des gesamten jährlichen Süßwassereintrags und fast 80 % des fluviatilen Sedimenteintrags in die Laptewsee entspricht. Über die beiden östlichen Hauptarme des Lena-Deltas strömen über 80 % des Wassers in die östliche Laptewsee (LÉTOLLE et al. 1993). Der Zustrom von Wasser, und damit verbunden der Eintrag von Sediment durch die Lena, steigt mit dem Eisaufruch in den Flüssen im Frühjahr sprunghaft an (Abb. 4). Während der winterlichen Eisbedeckung fließt nur sehr wenig Wasser ab. Im Hochsommer wird beim Abschmelzen des Meereises zusätzlich Süßwasser frei (KARPIY et al. 1994, DETHLEFF 1995a). Aus diesem Grunde bedeckt während der Sommermonate eine Brackwasserfahne die Laptewsee, die sich bis zu 350 km nach Norden erstrecken kann (LÉTOLLE et al. 1993, MARTIN et al. 1993).

## 1. Einführung und Grundlagen



**Abb. 3:** Jährliche Abflußraten der großen, in den Arktischen Ozean mündenden Flüsse (nach Daten der UNESCO 1978).



**Abb. 4:** Monatliche Abflußraten der Lena (nach „Joint U. S. Russian Atlas of the Arctic Ocean“, THIMOKHOV & TANIS 1997, 1998).

Von Oktober bis Mitte Juli ist die Laptewsee eisbedeckt. Die Eisbedeckung gliedert sich von Süd nach Nord in drei Bereiche: Festeiszone, Polynja und Drifteiszone. Das durchschnittlich 1,5 - 2 m mächtige stationäre Festeis, das sich an der Küste bildet, erreicht auch in strengen Wintern nicht mehr als 2,5 m Mächtigkeit (BARNETT, 1991). Es stellt die weltweit breiteste Festeisdecke dar. Die maximal 100 km breite (BARNETT, 1991) und bis zu 1.800 km lange Polynja (DETHLEFF et al. 1993) nimmt ab Mitte Dezember eine relativ ortsfeste Position im Bereich der 20 - 30 m Isobathen ein (DETHLEFF 1994, NÜRNBERG et al. 1994, REIMNITZ et al. 1994). Am Ende des Sommers ist die Laptewsee auf einer Breite von ca. 1.000 km

nahezu eisfrei (REIMNITZ et al. 1994, KOLATSCHEK et al. 1995). Es gibt deshalb in der Lapteewsee kaum mehrjähriges Eis.

#### 1.4 Geologie und Lithologie in den Flußeinzugsgebieten

Das Einzugsgebiet der in die Lapteewsee mündenden Flüsse umfaßt insgesamt etwa  $3,3 \times 10^6$  km<sup>2</sup> (HOLMES, 1967), wobei die Lena mit  $2,5 \times 10^6$  km<sup>2</sup> (LÉTOLLE et al. 1993) eindeutig dominiert (Abb. 5). Ein strenges kontinentales Klima beherrscht das gesamte Einzugsgebiet. Selbst in den südlichsten Regionen liegt die Durchschnittstemperatur im Januar bei  $-25$  °C (GORDEEV & SIDOROV 1993). In weiten Teilen des Hinterlandes herrscht Permafrost, weshalb neben vegetationslosen, steinigten Gebieten Tundra- und Taigaregionen überwiegen.

Sibirien wird von zwei geologischen Großstrukturen geprägt (Abb. 6): der Sibirischen Plattform im Westen und der Werchojansker-Tschukotscher-Region im Osten (DOLGINOW & KROPATSCHJOW 1994). Die Sibirische Plattform besteht aus der Mittelsibirischen Tafel sowie zwei Grundgebirgsausbissen, dem Anabar- und dem Aldanschild. Die Werchojansker-Tschukotscher-Region besteht aus einem Nebeneinander mesozoischer Falten-systeme, die aus präkambrischen bis mesozoischen Gesteinen aufgebaut sind. Die Sibirische Plattform wird von Lena, Olenjok, Anabar und Chatanga entwässert. Das meist flach lagernde Deckgebirge der Mittelsibirischen Tafel besteht aus oberproterozoischen, paläozoischen und mesozoischen, überwiegend klastischen und karbonatischen Gesteinsserien (DOLGINOW & KROPATSCHJOW 1994). Auf dem von der Chatanga entwässerten Putorana-Plateau im Westen sind bis zu 3,5 m mächtige kontinentale Flutbasalte der unteren Trias verbreitet, die sich über ein mindestens  $1,5 \times 10^6$  km<sup>2</sup> großes Gebiet ausdehnen (NALIVKIN et al. 1965, VINOGRADOV et al. 1973, CHURKIN et al. 1981, COFFIN 1992). Im nördlichen sibirischen Tiefland zwischen den Flüssen Anabar und Lena erstrecken sich kontinentale, klastische, kohleführende kretazische Sedimente, die bis zu 2.900 m Mächtigkeit erreichen können (CHURKIN et al. 1981). Der Anabar-Schild, der vom Anabar und dem in die Chatanga mündenden Popigay entwässert wird, besteht vorwiegend aus archaischen Granuliten, die mit unterproterozoischen Anorthositen und Diaphthoriten in Amphibolitfazies vergesellschaftet sind. Innerhalb des Archaikumkomplexes sind u. a. auch Gneise, kristalline Schiefer und Tonschiefer vertreten (DOLGINOW & KROPATSCHJOW 1994). Der Aldanschild wird vom Aldan, einem Lena-Zufluß, entwässert. Gneise, Amphibolite und Granulite, die Glimmerschiefer und Quarzite - u. a. mit Graphit - enthalten, bestimmen neben Grünsteingürteln mit sauren und basischen Metavulkaniten die Lithologie (DOLGINOW & KROPATSCHJOW 1994). Känozoische, kontinental klastische Sedimente, teilweise mit Braunkohle, sind in den Küstenregionen zwischen Anabar und Olenjok, im Lena-Delta sowie in den Küstenstreifen der Werchojansker-Tschukotscher-Region anzutreffen (DRACHEV et al. 1995).

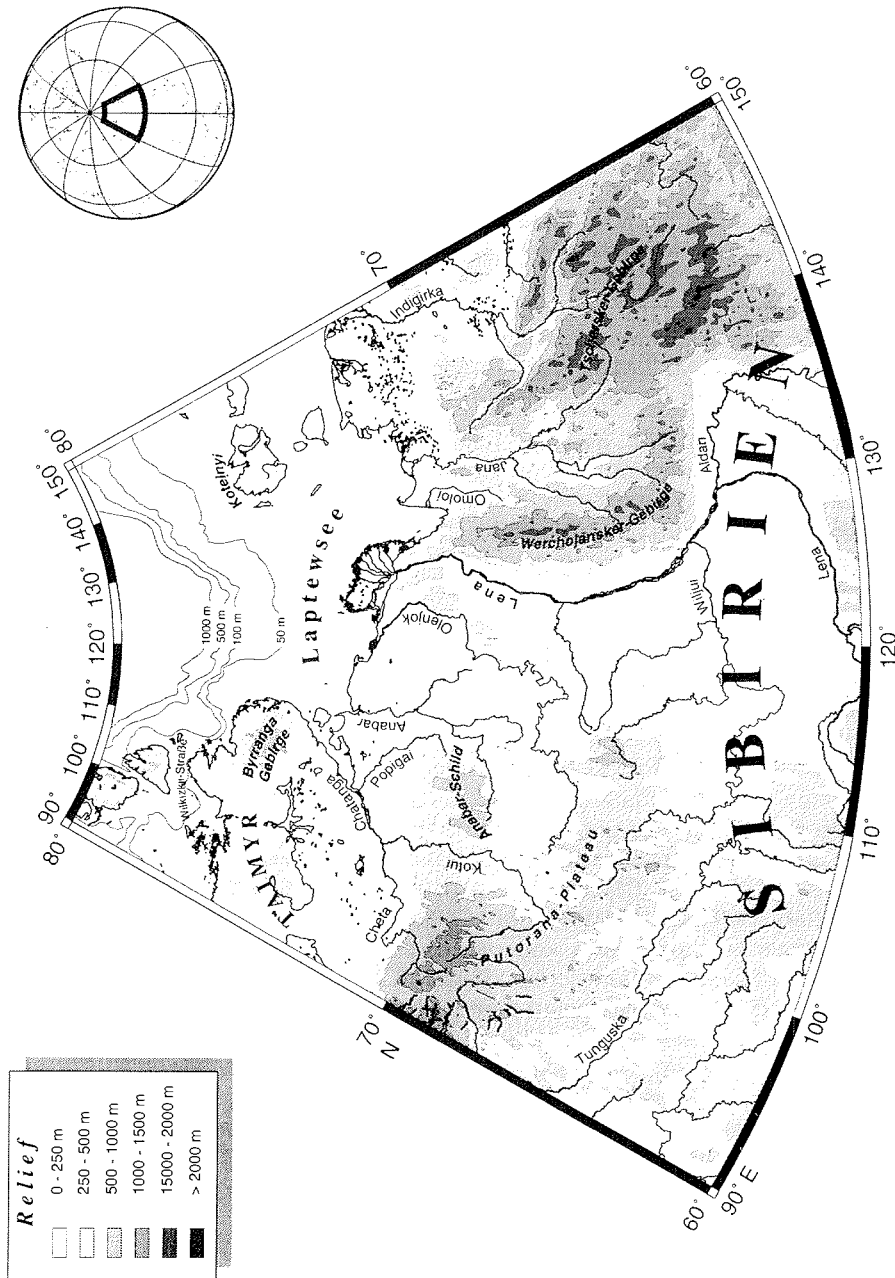
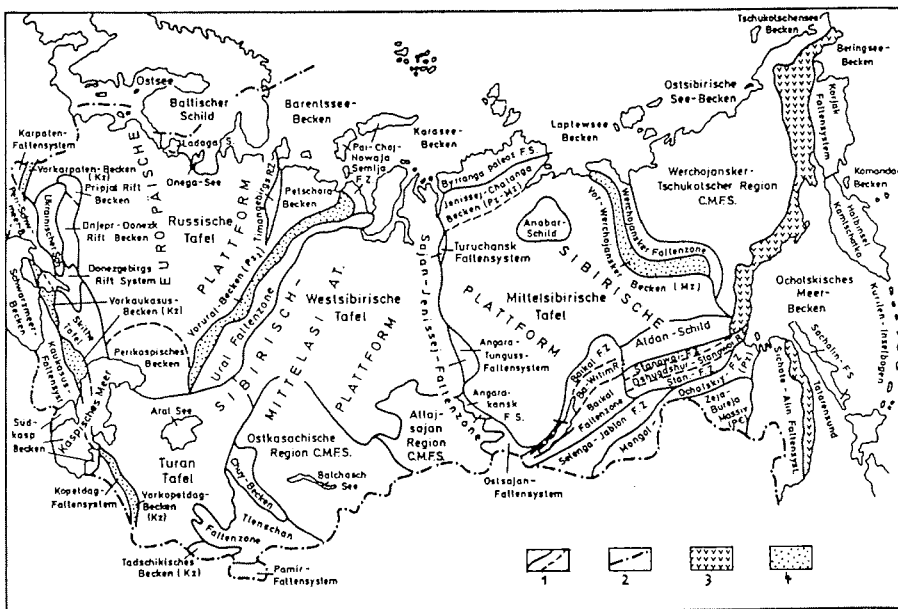


Abb. 5: Geographische Übersicht des sibirischen Hinterlandes mit den in die Laptevsee entwässernden Flüssen (gezeichnet nach Datensätzen von ETOPO 5).



Die Werchojansker-Tschukotscher-Region (Abb. 5 und 6), zu der auch die Neusibirischen Inseln zählen, wird von Jana und Omoloi entwässert. Es dominieren karbonatische und klastische Serien (u. a. Konglomerate, Sandsteine und Tonschiefer); daneben treten auch Evaporite sowie saure und basische Vulkanite auf (Abb. 7). Archaische und proterozoische Kristallinmassive, die an Rande der Faltenysteme zutage treten, bestehen außerdem aus Gneisen, Amphiboliten, Quarziten, Metavulkaniten, Chlorit-schiefern, Glaukophanschiefern und Migmatitgneisen (DOLGINOW & KROPATSCHJOW 1994).



**Abb. 6:** Die wesentlichen geologischen Einheiten Rußlands und angrenzender Staaten (aus DOLGINOW & KROPATSCHOW 1994). 1: Abgrenzung geologischer Einheiten - 2: Gebietsbegrenzung - 3: Vulkanzone - 4: Vorbecken.

Die Werchojansker Faltenzone und das mesozoische Vor-Werchojansker-Becken (Abb. 6) trennen die beiden großen Plattformen. Die mesozoische Faltenzone wird von terrigenen, flachmarinen Sedimenten (Sand-, Silt- und Tonsteinen) aufgebaut. Die ältesten Einheiten (Karbon und Perm) treten im Kern der mehrere 100 km großen Antiklinalstruktur zutage. Das Vor-Werchojansker Randbecken ist mit bis zu 7.000 m mächtigen malm- und kreidezeitlichen Molasseablagerungen verfüllt (DOLGINOW & KROPATSCHJOW 1994).

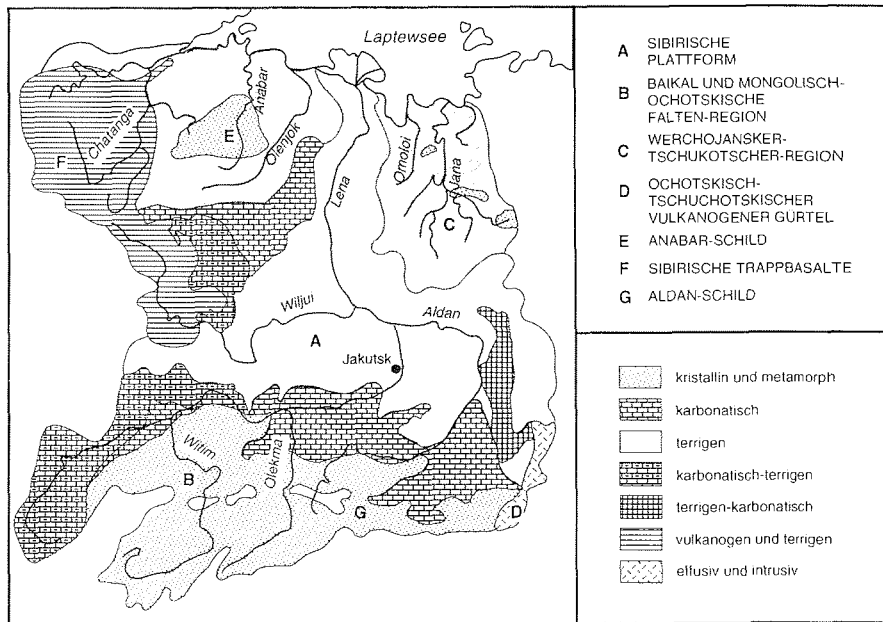


Abb. 7: Lithologische Einheiten im Hinterland der Laptewsee (verändert nach GORDEEV & SIDOROV 1993).

### 1.5 Mineralogische und kristallographische Merkmale der Schwerminerale

Definitionsgemäß werden als Schwerminerale alle Minerale bezeichnet, deren spezifisches Gewicht größer als das von Bromoform (ca. 2,85 g/cm<sup>3</sup>) ist. Von dieser Regel werden die wasserlöslichen Minerale und meistens auch die Karbonate ausgenommen (BOENIGK 1983). In den meisten klastischen Sedimenten und Sandsteinen kommen oft nur wenige verschiedene Schwerminerale gehäuft vor (FÜCHTBAUER 1988). Unter Berücksichtigung von Fehlern, die sowohl bei der Aufbereitung als auch bei der Auszählung in bestimmten Grenzen liegen, ist es sinnvoll, sich bei der Untersuchung auf eine bestimmte Anzahl von Mineralen zu beschränken, die allerdings in den jeweiligen Untersuchungsgebieten mit einer gewissen Häufigkeit zu erwarten sind.

Zusätzlich empfiehlt es sich jedoch, nach selteneren Mineralen Ausschau zu halten und sie einzeln aufzuführen. Sie können allein durch ihr Vorhandensein wertvolle Hinweise auf Liefergebiete geben oder auch verschiedene mineralogische Provinzen, die sich ansonsten in ihrer schwermineralogischen Zusammensetzung sehr ähnlich sind, deutlich voneinander abgrenzen (VAN ANDEL 1950).

Im folgenden seien die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Schwerminerale aufgeführt und in ihren wesentlichen mineralogischen und kristallographischen Merkmalen beschrieben.

• **Amphibolgruppe ( $D = 2.85 - 3.6 \text{ g/cm}^3$ )**

Amphibole sind wesentliche gesteinsbildende Minerale vieler intermediär-magmatischer und metamorpher Gesteine und in detritischen Sedimenten weit verbreitet. Eine Untergliederung der Amphibole erfolgt in vier Hauptgruppen:

*Eisen-Magnesium-Mangan-Amphibole*

*Calcium-Amphibole (Hornblende und Tremolit)*

*Natrium-Calcium-Amphibole*

*Alkali-Amphibole (Glaukophan-Riebeckit-Reihe)*

Wegen der chemischen Komplexität und weitgehender Mischkristallbildung wird bei optischer Bestimmung der nach der gebräuchlichen Nomenklatur (LEAKE 1978) angeführte Amphibolname der Endglieder bei der Benennung der Amphibole als Adjektiv verwendet. Wegen ihrer geringen chemischen Stabilität sind Amphibole sehr leicht Verwitterungseinflüssen und diagenetischen Prozessen ausgesetzt, die ihre Abnahme mit zunehmendem geologischen Alter bedingen (MANGE & MAURER 1991). Eine mineralogisch exakte Aufgliederung, die sich im wesentlichen auf die chemische Zusammensetzung stützt, ist bei der normalen Schwermineralmikroskopie nicht durchgängig möglich, so daß eine Unterscheidung, die über die Gruppen grüne und braune Hornblende hinausgeht, wenig sinnvoll erscheint. Als wesentliche Erkennungsmerkmale unter dem Mikroskop gelten die prismatische oder tafelige, nach der C-Achse gestreckte Form, grüne bis braungüne Farbe, gute Spaltbarkeit nach (110) und  $56^\circ$  dazu, schiefe Auslöschung mit kleinen Winkel, ( $< 20^\circ$ ) positive Elongation, mittlerer bis starker Pleochroismus, mäßig hohe Licht- und Doppelbrechung ( $n = 1.640 - 1.717$ ,  $\Delta = 0.016 - 0.027$ ) und optisch 2-achsig negativer Charakter mit mittlerem bis großem Achsenwinkel.

• **Pyroxengruppe ( $D = 3.1 - 3.7 \text{ g/cm}^3$ )**

Pyroxene gehören zu den wichtigsten gesteinsbildenden Mineralen in magmatischen Gesteinen ultramafischen und intermediären Typus, aber nur einige Glieder der Pyroxen-Gruppe kommen bedingt durch ihre chemische Instabilität regelmäßig in Sedimenten vor. Nach ihrer Kristallchemie werden sie wie folgt klassifiziert (DEER et al. 1978):

*Klinopyroxene*

*Calcium-Pyroxene (Diopsit-Hedenbergit-Reihe, Augit)*

*Calcium-Natrium-Pyroxene (Aegirin-Augit)*

*Natrium-Pyroxene (Aegirin, Jadeit)*

*Lithium-Pyroxene (Spodumen)*

*Orthopyroxene*

*Magnesium-Eisen-Pyroxene (Hypersthen, Enstatit)*

Bei der kristalloptischen Bestimmung der Pyroxene ist wegen vielseitiger Mischkristallbildung zunächst eine Klassifizierung in die Gruppen Ortho- und Klinopyroxene angebracht. Man unterscheidet bei den Orthopyroxenen den optisch negativen Fe-reichen Hypersthen von den Fe-ärmeren optisch positiven Gliedern Enstatit und Bronzit. Da die Glieder der Diopsid-Hedenbergit-Reihe ähnliche optische Eigenschaften wie die Augite haben, sind sie durch optische Methoden oft nicht voneinander unterscheidbar. Daher ist es üblich, den farblosen oder sehr blaßgrünen, detritischen Klinopyroxen als Diopsid und die stärker gefärbten Varietäten als Augit zu bezeichnen. Besser wäre jedoch, diese Arten als augitische und diopsidische Klinopyroxene zu charakterisieren. Zur optischen Bestimmung der Klinopyroxene dienen das kurzprismatische bis säulige Erscheinungsbild der meist farblosen, schwach grün bis gelblichbraunen Körner, oft mit Lösungsspuren, gute Spaltbarkeit nach (110) und ca. 90° dazu, schiefe Auslöschung mit großem Winkel (35 - 50°), schwacher Pleochroismus, mäßig hohe Licht- und mittlere Doppelbrechung ( $n = 1.663 - 1.762$ ,  $\Delta = 0.024 - 0.052$ ) und optisch 2-achsig positiver Charakter mit mittlerem bis großem Achsenwinkel. Orthopyroxene zeigen gerade Auslöschung, das Endglied Hypersthen läßt einen charakteristischen Pleochroismus von grünlich nach rötlich erkennen und ist optisch 2-achsig negativ.

• ***Epidotgruppe ( $D = 3.12 - 3.56 \text{ g/cm}^3$ )***

Minerale der Epidotgruppe sind charakteristisch für Gesteine der mittlertemperaturalen Kontakt- und Regionalmetamorphose sowie häufig Umwandlungsprodukte Ca-reicher Plagioklase bei der Saussuritisierung. In der Epidotgruppe sind folgende Minerale, die nicht immer optisch unterscheidbar sind, zusammengefaßt:

*Epidot (Fe-reich)*

*Zoisit (Fe- und Al-haltig)*

*Klinozoisit (Fe-arm bis Fe-frei)*

Desweiteren zählen zur Epidotgruppe die seltenen Minerale Orthit, Lawsonit und Pumpellyit. Nicht selten liegen Aggregatbildungen vor. Optisch charakteristische Kennzeichen sind neben der hohen bis sehr hohen Lichtbrechung und niedrig bis mäßig hohen Doppelbrechung ( $n = 1.701 - 1.776$ ,  $\Delta = 0.06 - 0.048$ ), sehr schwacher Pleochroismus, die pistaziengrüne

Farbe und häufige Aggregatbildung beim Epidot, die anomalen Interferenzfarben und die hohe Dispersion beim Zoisit. Der optisch 2-achsige Charakter reicht von negativ mit großem Achsenwinkel beim Epidot bis positiv mit kleinem Achsenwinkel beim Zoisit, die Elongation ist positiv oder negativ.

- **Granatgruppe ( $D = 3.4 - 4.5 \text{ g/cm}^3$ )**

Die Granatgruppe umfaßt eine Reihe von Mischkristallen mit stark wechselndem Chemismus, deren rundliche oder unregelmäßig geformten Körner wegen des optisch isotropen Charakters meist nur anhand von Brechungsindex ( $n = 1.71 - 2.0$ ) und farblichen Unterschieden zu bestimmen sind.

„Pyralpsit“-Granate (Al-reich)

„Ugrandit“-Granate (Ca-reich)

Pyralpsite kommen häufig in kristallinen Schiefen der Meso- und Katazone vor; die Ca-reichen Ugrandite sind typische Kontaktminerale in Karbonatgesteinen. In schwach saurem oxidierendem Milieu sind Granate leicht verwitterbar, wogegen sie mechanisch sehr widerstandsfähig sind.

- **Apatit ( $D = 3.15 - 3.3 \text{ g/cm}^3$ )**

Der in saurem Milieu leicht verwitterbare Apatit kommt in fast allen magmatischen Gesteinen, auch pneumatolytisch bis hydrothermal und autigen in Sedimenten vor und kann durchaus mehrere Zyklen der Wiederaufarbeitung von klastischen Sedimentgesteinen überstehen. (TRÖGER 1969, 1971). Die Körner sind farblos, prismatisch oder gerundet, mit niedriger Licht- und sehr niedriger Doppelbrechung ( $n = 1.631 - 1.667$ ,  $\Delta = 0.002 - 0.003$ ) sowie gerader Auslöschung. Die Spaltbarkeit, quer zur Längsstreckung, ist selten sichtbar; flüssige oder opake Einschlüsse dagegen sind häufig und zum Teil parallel zur Längsachse eingeordnet. Die optische Orientierung ist 1-achsig negativ mit negativer Elongation.

- **Titanit ( $D = 3.4 - 3.55 \text{ g/cm}^3$ )**

Titanit ist ein häufiges akzessorisches Mineral in untersättigten und intermediären Tiefengesteinen und deren vulkanischen Äquivalenten, sowie in Pegmatiten, Skarnen und kristallinen Schiefen. In speziellen Fällen zerfällt der instabile Titanit zu Leukoxen, Quarz und Calcit (MORAD & ALDAHAN 1985) oder bildet authigene Kristalle zusammen mit anderen Titanmineralen. (GORBATSCHEV 1962). Titanite treten als unregelmäßig geformte, teils auch als idiomorphe Körner mit sehr hoher Licht- und Doppelbrechung ( $n = 1.885 - 2.081$ ,  $\Delta = 0.180 - 0.160$ ) auf. Durch die sehr starke Dispersion treten bei unvollständiger Auslöschung anomale metal-

lich blaue und bräunlich-gelbe Interferenzfarben auf. Der optische Charakter ist 2-achsig positiv und zeigt starke Achsendispersion.

- **Zirkon ( $D = 4.5 - 4.75 \text{ g/cm}^3$ )**

Die extrem stabilen Zirkone treten als weit verbreitetes akzessorisches Mineral besonders häufig in sauren und intermediären magmatischen Gesteinen auf und sind durch die extreme Stabilität in älteren oft mehrmals umgelagerten Sedimentgesteinen angereichert. Die idiomorph säuligen oder elliptisch gerundeten Körner mit gerader Auslöschung sind meist farblos, seltener rötlich, was für präkambrische Zirkone eher typisch ist (ZIMMERLE 1972), von sehr hoher Licht- und hoher Doppelbrechung ( $n = 1.960 - 2.015$ ,  $\Delta = 0.055 - 0.059$ ) und optisch 1-achsigem positiven Charakter. Zirkon zeigt oft Zonarbau und pleochroische Höfe, verursacht durch radioaktive Einschlüsse.

- **Turmalin ( $D = 3.0 - 3.25 \text{ g/cm}^3$ )**

Turmalin entsteht hauptsächlich als pegmatitisch-pneumatolytische Phase saurer Tiefen- und Ganggesteine und als Kontaktmineral. Durch seine extreme Stabilität gegen mechanische und chemische Einflüsse übersteht Turmalin mehrere Umlagerungen und ist dann durch zunehmende Rundung gekennzeichnet. Die prismatischen oder gut gerundeten Körner mit gerader Auslöschung, mittlerer Licht- und relativ hoher Doppelbrechung ( $n = 1.620 - 1.692$ ,  $\Delta = 0.019 - 0.046$ ) zeigen bei sehr unterschiedlichen kräftigen Farben sehr starken Pleochroismus und sind optisch 1-achsig negativ mit negativer Elongation.

- **Rutil ( $D = 4.23 - 4.5 \text{ g/cm}^3$ )**

Die Bildung von Rutil erfolgt in allen Bereichen der Metamorphose. Als ultrastabiles Mineral weist gerundeter Rutil auf Aufarbeitung ehemaliger Sedimentgesteine hin. Rutil, optisch 1-achsig positiv, mit sehr hoher Licht- und Doppelbrechung ( $n = 2.609 - 2.903$ ,  $\Delta = 0.286 - 0.287$ ) erscheint in gelb- bis braunroten prismatischen oder abgerollten Körnern.

- **Sillimanit, Andalusit, Disthen, und Staurolith ( $D = 3.1 - 3.83 \text{ g/cm}^3$ )**

Die hier zusammengefaßten Minerale sind als Produkte der Regionalmetamorphose oft nur von lokaler Bedeutung. Die goldgelben, relativ großen, oft scharfkantig unregelmäßig geformten optisch 2-achsig positiven Staurolithkörner zeigen bei hoher Licht- und niedriger Doppelbrechung ( $n = 1.739 - 1.762$ ,  $\Delta = 0.013 - 0.015$ ) starken Pleochroismus. Die Eigen- und Interferenzfarben erscheinen immer warm getönt. Andalusit zeichnet sich durch den typischen Pleochroismus von altrosa nach farblos bis schwachgrünlich bei mittelhoher Licht- und niedriger Doppelbrechung ( $n = 1.638 -$

1.691,  $\Delta = 0.013 - 0.029$ ) aus. Er ist optisch 2-achsig positiv mit gerader Auslöschung und positiver Elongation. Die prismatisch plattigen und farblosen Disthenkörner mit hoher Licht- und niedriger Doppelbrechung ( $n = 1.710 - 1.729$ ,  $\Delta = 0.016 - 0.017$ ) lassen sich recht gut durch die ausgeprägte rechtwinklige Spaltbarkeit und den Auslöschungswinkel von ca.  $30^\circ$  bestimmen. Der optische Charakter ist 2-achsig negativ. Sillimanit ist farblos und erscheint entweder in prismatisch gerundeter Form oder als zum Teil faserige Aggregate mit mittlerer Licht- und Doppelbrechung ( $n = 1.657 - 1.682$ ,  $\Delta = 0.020 - 0.022$ ) und gerader Auslöschung. Sillimanit ist optisch 2-achsig positiv mit kleinem Achsenwinkel und positiver Elongation.

- **Opake Minerale ( $D = 4.0 - 5.2 \text{ g/cm}^3$ )**

Eine Bestimmung der opaken Schwerminerale ist unter dem Durchlichtmikroskop kaum durchführbar. Allenfalls typische und charakteristische Kornformen (z. B.: framboidale Pyritkörner) können auf bestimmte Minerale hinweisen. Ansonsten müssen zur Identifizierung andere Methoden herangezogen werden, wie Auflichtmikroskopie, röntgenographische Untersuchungen oder Mikrosondeanalysen. Letztere wurden stichprobenartig und qualitativ durchgeführt. Dabei konnten neben den Mineralen Pyrit, Ilmenit, Magnetit und Leukoxen auch Eisen- und Manganoxide bestimmt werden.

- **Karbonate ( $D = 2.86 - 3.96 \text{ g/cm}^3$ )**

Die Karbonate werden im allgemeinen nicht zu den Schwermineralen gerechnet. Für Calcit ist diese Auffassung klar, da sein spezifisches Gewicht niedriger sein kann, als das der Schwerlösung Natriumpolywolframat. Die Dichten von Aragonit, Dolomit, Magnesit und Siderit liegen jedoch höher, so daß sie in der Schwermineralfraktion zu erwarten und deshalb auch zu berücksichtigen sind (BOENIGK 1983, MANGE & MAURER 1991). Da eine genaue Unterscheidung dieser Minerale unter dem Polarisationsmikroskop nicht immer möglich ist, werden sie hier als detritisches Karbonat zusammengefaßt. Typisch für alle Karbonate, die als farblose bis bräunliche, rhomboedrische tafelige oder durch starke Lösungsspuren unregelmäßige Körner oder auch als radialstrahlige Aggregate auftreten, sind die Reliefänderungen wegen sehr stark wechselnder niedriger bis hoher Lichtbrechung ( $n = 1.502 - 1.875$ ) und die extrem starke Doppelbrechung ( $\Delta = 0.155 - 0.242$ ) bei optisch 1-achsigem negativen Charakter.

- **Glimmergruppe ( $D = 2.64 - 3.3 \text{ g/cm}^3$ )**

Die Minerale der Glimmergruppe werden im allgemeinen aufgrund ihres Dichtebereiches und ihres wegen ihrer morphologischen Ausprägung (plattig, schichtig, dünnblättrig, flittrig, schuppig, etc.) anderen Verhaltens gegenüber Transport, Erosion und Sedimentation sowie dem Einfluß weiterer hydraulischer Effekte (DOYLE 1983, MORTON 1985a) von manchen

Autoren nicht zu den Schwermineralen gerechnet. Aufgrund ihres sehr unterschiedlichen Auftretens oder völligen Fehlens werden sie in dieser Arbeit der Vollständigkeit halber dem Schwermineralspektrum zugerechnet und bei der Interpretation der Daten gesondert berücksichtigt. Die Bildungsbereiche der Glimmer sind recht vielfältig und somit sind die Minerale der Glimmergruppe in vielen magmatischen und metamorphen Gesteinen weit verbreitet, treten aber auch in Sedimentgesteinen oder als Verwitterungsprodukte auf. Unter dem Mikroskop erscheinen die Glimmer meist als dünne Plättchen oder Flitter von unregelmäßigem Umriß, da die Körner durch ihre ausgezeichnete Spaltbarkeit fast immer auf die Basis zu liegen kommen. Dadurch ist die Doppelbrechung scheinbar äußerst gering. Biotit mit mittlerer Licht- und hoher Doppelbrechung ( $n = 1.571 - 1.697$ ,  $\Delta = 0.039 - 0.081$ ) erscheint in grünen bis rotbraunen Plättchen. Muskovit, mit niedriger Licht- und hoher Doppelbrechung ( $n = 1.552 - 1.624$ ,  $\Delta 0.036 - 0.054$ ), liegt fast immer in großen farblosen sehr dünnplattigen Flittern vor. Durch die Lage auf der Basis läßt sich bei beiden Mineralen in der Regel recht gut das 2-achsig negative Achsenbild, durch die sehr kleinen Achsenwinkel häufig scheinbar einachsig, beobachten. Chlorit ist farblos bis blaßgrün oder grünbraun mit niedrig bis mittlerer Licht- und sehr kleiner Doppelbrechung ( $n = 1.589 - 1.685$ ,  $\Delta = 0.006 - 0.014$ ). Es treten häufig anomale Interferenzfarben auf. Chlorit erscheint bei konoskopischer Betrachtung zum Teil isotrop, meist läßt sich kein deutliches Achsenbild beobachten.

- **Alterit**

Unter dem Begriff Alterit werden alle Körner im Schwermineralspektrum zusammengefaßt, die aufgrund starker Zersetzung, Umbildung, Deformierung oder Aggregatbildung nicht eindeutig optisch bestimmt werden können (VAN ANDEL 1950, BOENIGK 1983).

- **Andere Schwerminerale**

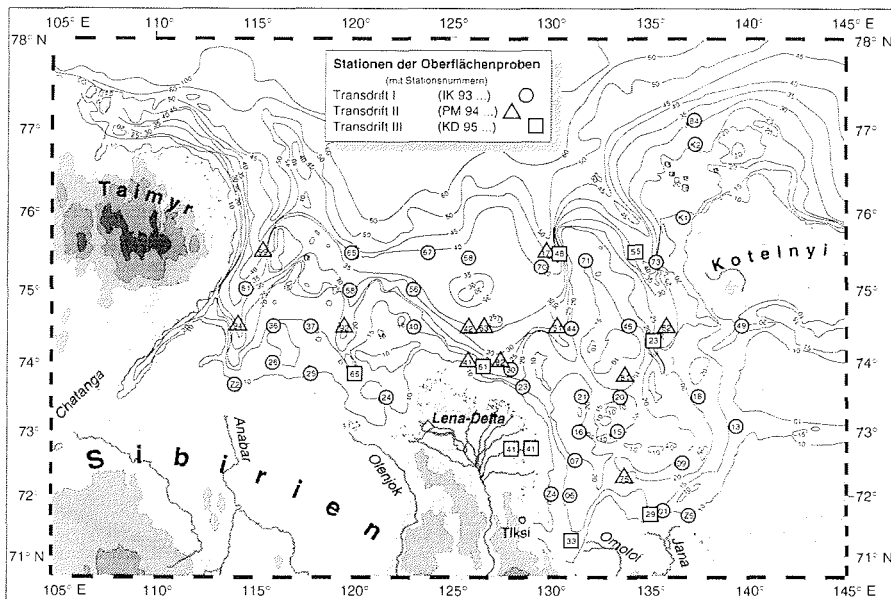
Auf die Beschreibung der im allgemeinen recht selten auftretenden Schwerminerale in rezenten Sedimenten wie Anatas, Axinit, Baryt, Beryll, Brookit, Cassiterit, Diamant, Diaspor, Dumortierit, Fluorit, Korund, Monazit, Olivin, Spinell, Topas, Vesuvian, Wollastonit, Xenotim und Zinkblende sei hier verzichtet, da sie im Untersuchungsgebiet nur in wenigen einzelnen Fällen anzutreffen sind.



## 2 METHODIK

### 2.1 Auswahl, Bearbeitung und Präparation der Proben

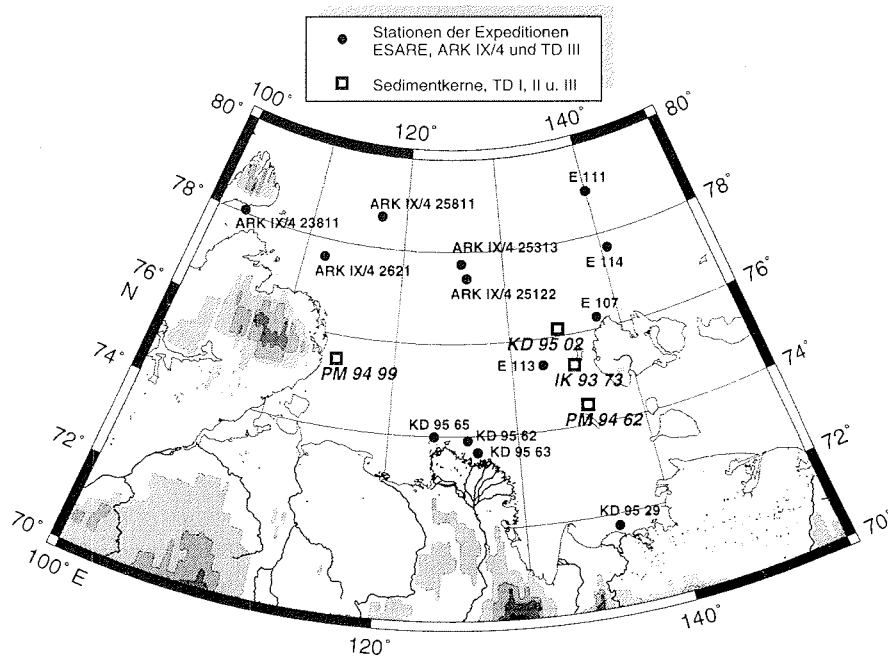
Um die Verteilung von Schwermineralen in den Sedimenten der Laptewsee zu erfassen und unter sedimentologischen und petrographischen Gesichtspunkten zu interpretieren und verstehen zu können, wurden 57 Oberflächenproben, 13 Eisproben und 4 Sedimentkerne in Abschnitten von 3 bis 10 cm hochauflösend untersucht. Es wurden diejenigen Sedimentkerne ausgewählt, an denen bisher Altersbestimmungen durchgeführt werden konnten (siehe Kap. 3.1). Die Proben wurden während der Expeditionen TRANSDRIFT I (KASSENS & KARPIY 1994), TRANSDRIFT II (KASSENS & DMITRENKO 1995) und TRANSDRIFT III (KASSENS et al. 1997) sowie ESARE (DETHLEFF et al. 1993) und ARK IX/4 (FÜTTERER 1994) entnommen (Abb. 8 und 9; Anhang A).



**Abb. 8:** Lokationen und Stationsnummern der in dieser Arbeit untersuchten Sedimentoberflächenproben der Laptewsee.

Die Bearbeitung der Proben erfolgte nach den üblichen sedimentpetrographischen Methoden (MÜLLER 1967, BOENIGK 1983, MANGE & MAURER 1992) und wurde eng mit im Arbeitsgebiet vorangegangenen Arbeiten abgestimmt (WOLLENBURG 1993, LINDEMANN 1994, DETHLEFF 1995a). Zunächst wurde die bei ca. -30 °C tiefgefrorene Probe gefriergetrocknet. Eine genügend große Teilmenge (ca. 5 bis 20 g - je nach dem zu erwartenden

den Schwermineralanteil, der bei der oft nur gering vorhandenen Probenmenge zuvor nicht experimentell bestimmbar war, sondern vorher abgeschätzt werden mußte) wurde mit 10%iger  $H_2O_2$ -Lösung versetzt und dispergiert, um die darin enthaltenen organischen Komponenten aufzuoxidierten. Anschließend wurde die Probe im Naßsiebverfahren in die Fraktionen  $> 63 \mu m$  und  $< 63 \mu m$  getrennt. Zur weiteren Aufschlüsselung der Sand- und Kiesfraktion wurde diese durch Trockensiebung in ganzen  $\Phi$ -Schritten in 5 Fraktionen unterteilt ( $63 - 125 \mu m$  (4  $\Phi - 3 \Phi$ );  $125 - 250 \mu m$  (3  $\Phi - 2 \Phi$ );  $250 - 500 \mu m$  (2  $\Phi - 1 \Phi$ );  $500 - 1000 \mu m$  (1  $\Phi - 0 \Phi$ );  $> 1000 \mu m$  ( $> 0 \Phi$ )) und gewogen. Der Silt- und Tonanteil wurde durch Schlämmen in die Fraktionen  $> 32 \mu m$  und  $< 32 \mu m$  aufgeteilt, getrocknet und gewogen. Die Tonfraktion wurde nach der Methode von ATTERBERG (1912) gravitativ abgetrennt.



**Abb. 9:** Lokationen und Stationsnummern der in dieser Arbeit untersuchten Meereissedimentproben und Sedimentkerne.

Um geeignete Präparate für die Durchlichtmikroskopie herstellen zu können, war es notwendig, Schwer- und Leichtminerale zunächst zu trennen. Die hierzu bisher meist verwendeten Schwereflüssigkeiten wie Bromoform, Tetrabromäthan oder Methylenjodid sind stark giftig, auch die

Waschflüssigkeiten zum Reinigen der Körner und Geräte wie z. B. Benzol, Tetrachlorkohlenstoff, Methylen oder Aceton sind gesundheitlich nicht unbedenklich. Eine Alternative bietet das nicht giftige, wasserlösliche Natriumpolywolframat ( $3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot (\text{WO}_3) \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Die Dichte der wäßrigen Lösung kann bis  $4,04 \text{ g/cm}^3$  beliebig eingestellt werden. Wegen der hohen Viskosität erfolgte die sogenannte Schwereretrennung mittels einer Zentrifuge in einer ca. 80%igen Natriumpolywolframatlösung, deren Dichte auf  $2,85 \text{ g/cm}^3$  eingestellt wurde. Weiterhin ist die Schwereflüssigkeit wiederverwendbar und, bei Fehlen von löslichen Calcium-Ionen, chemisch inert. Ca. 1 bis 3 g Sediment wurden in der Schwereflüssigkeit dispergiert und anschließend bei 3000 U/min 20 min lang zentrifugiert.

Um die Schwerefraktion unkontaminiert aus den Zentrifugengläsern zurückzugewinnen, wurde die Methode des teilweisen Gefrierens angewandt (FESSENDEN 1959, SCULL 1960). In flüssigem Stickstoff wurde der untere Teil des Zentrifugenröhrchens mit der Schwerefraktion eingefroren; die darüber befindliche Leichtfraktion wurde abdekantiert. Die nun getrennt sich in der Lösung befindlichen Schwer- und Leichtminerale wurden auf Filtern abgesaugt, mit destilliertem Wasser ausgewaschen, getrocknet und gewogen.

Bei der Herstellung von Streupräparaten erwies es sich als vorteilhaft, ein Einbettungsmittel zu wählen, dessen Lichtbrechung in einem Bereich liegt, in dem auch die Brechungsindizes der häufiger auftretenden Schwerminerale angesiedelt sind. Dadurch können nämlich Minerale mit höherer bzw. niedrigerer Lichtbrechung als das Einbettungsmittel leichter unterschieden werden. Für diese Arbeit wurde ein Einbettungsmittel mit  $n = 1,680$  gewählt.

Hierbei hat sich ein neues Einbettungsmittel der „Cargille Meltmount“-Reihe bewährt. Dabei handelt es sich um speziell entwickelte Thermoplastika, die aufgrund ihrer optischen Qualität ideal für dauerhafte Einbettungen sind, bei Bedarf jedoch auch wieder aufgeschmolzen werden können, falls z. B. die Körner für weitere Untersuchungen benötigt werden.

Die Einbettung erfolgte auf einer Heizplatte, die zuerst auf ca.  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  erhitzt wurde, um das Harz zu schmelzen. Für die Montage wurde die Temperatur auf  $65 - 70 \text{ }^\circ\text{C}$  gesenkt. Die Körner wurden dann auf den zuvor mit dem Einbettungsmittel bestrichenen Objektträger aufgestreut und mit einem Deckglas bedeckt, wobei darauf zu achten war, daß bei einer evtl. notwendigen Probenteilung keine Kornsortierung stattfand. Hier erwiesen sich Mikroteiler als effiziente Geräte, um kleinere Portionen für das Einbetten zu gewinnen (KRUMBEIN & PETTIJOHN 1938).

## 2.2 Kristalloptische Schwermineralbestimmung

Zur Klassifizierung der Schwerminerale wurden die fertigen Präparate unter dem Durchlicht-Polarisationsmikroskop kristalloptisch (HEINRICH 1965, TRÖGER 1971, PHILLIPS & GRIFFEN 1981, NESSE 1986, PICHLER

& SCHMITT-RIEGRAF 1987) untersucht. Die einzelnen Minerale wurden nach folgenden morphologischen und kristalloptischen Merkmalen bestimmt:

- **Orthoskopischer Strahlengang mit der Beobachtung im einfach polarisiertem Licht**
  - Form, Farbe und Pleochroismus
  - Spaltbarkeit und Bruch
  - Einschlüsse, Zersetzungen und Zonarbau
  - Lichtbrechung und Relief
  
- **Orthoskopischer Strahlengang unter gekreuzten Polarisatoren**
  - Einfach- oder Doppelbrechung
  - Höhe der Doppelbrechung
  - Zwillingsbildung
  - Auslöschungsschiefe
  - Optischer Charakter der Auslöschung
  - Anomale Interferenzfarben
  
- **Konoskopischer Strahlengang unter gekreuzten Polarisatoren**
  - Optische Achsenbilder
  - Optischer Charakter
  - Winkel der optischen Achsen
  - Lage der optischen Achsenebene

### 2.3 Auswertung und Fehlerabschätzung

Für die Schwermineralanalyse selbst wurden die Fraktionen 32 - 63  $\mu\text{m}$ , 63 - 125  $\mu\text{m}$  und 125 - 250  $\mu\text{m}$  herangezogen; zum einen, um in engen Kornklassen einheitliche optische Effekte beobachten zu können (MORTON 1985a), zum anderen, um einen Großteil des Schwermineralspektrums zu erfassen und durch unterschiedliche Korngrößen bedingte Variationen zu erkennen und ggfs. zu berücksichtigen (VAN ANDEL & POOLE 1960). Einen Vergleich der Schwermineralspektren in den Korngrößenklassen 32 - 63  $\mu\text{m}$ , 63 - 125  $\mu\text{m}$  und 125 - 250  $\mu\text{m}$  an 20 zufällig ausgewählten Oberflächensediment- und 8 Eissedimentproben zeigen die Abbildungen 10 bis 15.

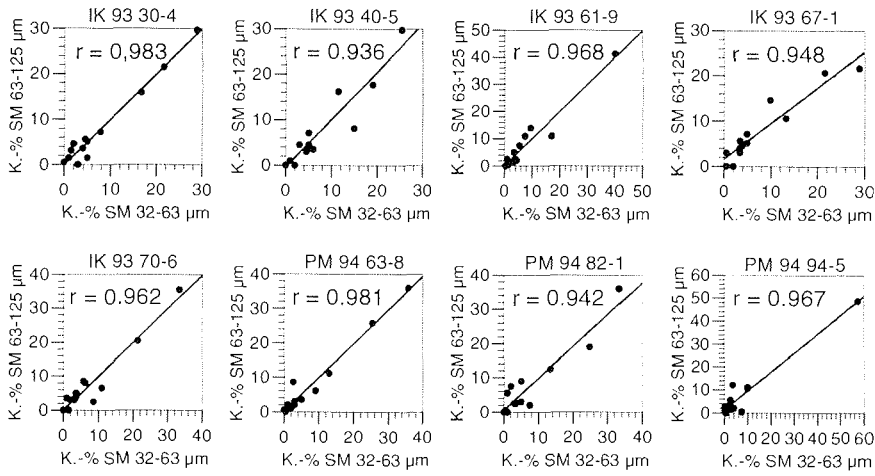


Abb. 10: Korrelation der Schwermineralanteile von Schelfsedimenten in den Korngrößenklassen 32 - 63 µm und 63 - 125 µm (K.-% = Korn-%).

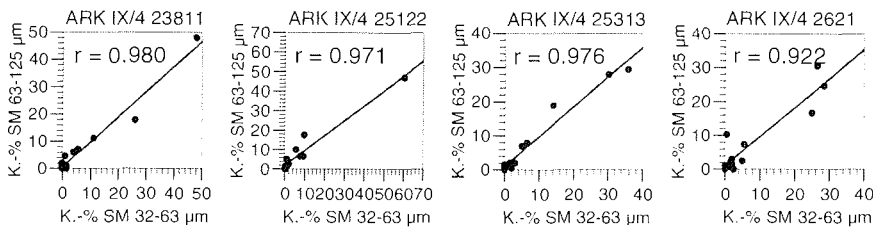


Abb. 11: Korrelation der Schwermineralanteile von Meereissedimenten in den Korngrößenklassen 32 - 63 µm und 63 - 125 µm.

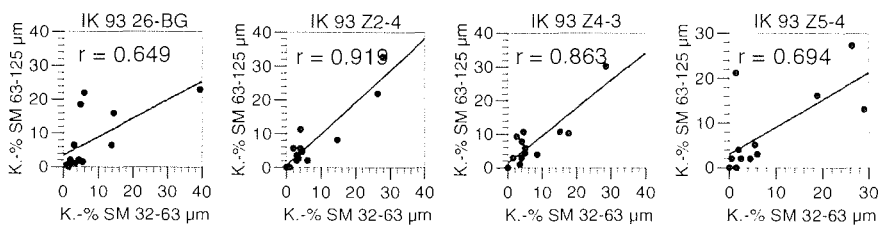
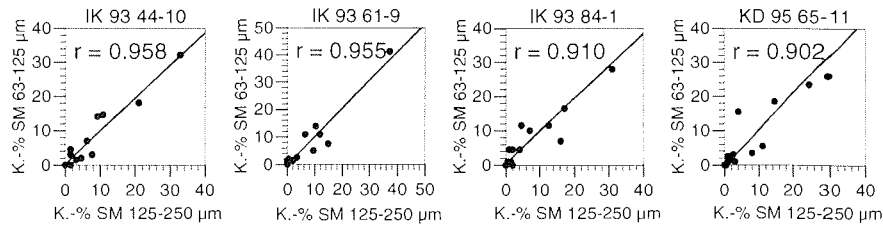
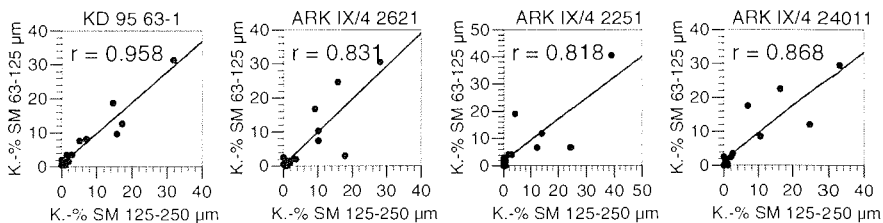


Abb. 12: Korrelation der Schwermineralanteile von küstennahen Schelfsedimenten in den Korngrößenklassen 32 - 63 µm und 63 - 125 µm.

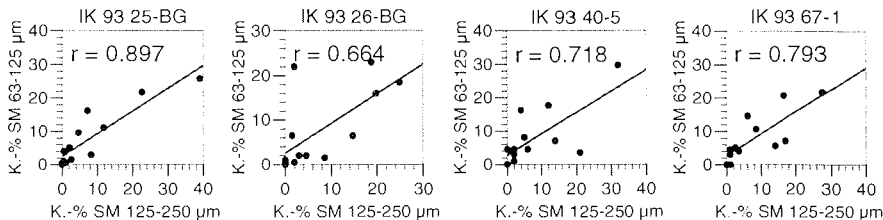
## 2. Methodik



**Abb. 13:** Korrelation der Schwermineralanteile von Schelfsedimenten in den Korngrößenklassen 125 - 250 µm und 63 - 125 µm.



**Abb. 14:** Korrelation der Schwermineralanteile von Meereissedimenten in den Korngrößenklassen 125 - 250 µm und 63 - 125 µm.



**Abb. 15:** Korrelation der Schwermineralanteile von küstennahen Schelfsedimenten in den Korngrößenklassen 125 - 250 µm und 63 - 125 µm.

Danach ist eine gute bis sehr gute Korrelation bei den Schelfsedimenten in den Fraktionen 32 - 63 µm und 63 - 125 µm gegeben. Deutlich niedriger liegen die Korrelationen bei den Proben welche sich alle durch küstennahe Lokationen auszeichnen. Gute Übereinstimmung in ihrer relativen Zusammensetzung weisen auch die Schwermineralspektren der Meereissedimente in den Korngrößen 32 - 63 µm und 63 - 125 µm auf. Nur noch mäßig bis gut korrelieren die Schwermineralspektren in den Oberflächensedimenten der Korngrößenklassen 63 - 125 µm und 125 - 250 µm. Auch in den Proben der Meereissedimente liegen hier die Korrelationskoeffizienten

etwas niedriger. Auffallend sind auch eine leichte Zunahme der Epidotgehalte sowie eine deutliche Abnahme der Granatanteile im Schwermineralspektrum mit abnehmender Korngröße. Während in den Schwermineralspektren der Kornklassen 32 - 63 µm und 63 - 125 µm die Gehalte an Gesteinsbruchstücken (Alterit) noch recht gut übereinstimmen, sind sie im Korngrößenbereich 125 - 250 µm wesentlich häufiger vertreten.

Um Auszählfehler bei der Ermittlung der relativen Häufigkeit der Schwerminerale in einer Probe möglichst gering zu halten, wurde hier die Methode der Bänderzählung (VAN HARTEN 1965, GALEHOUSE 1969, 1971) angewandt. Mit Hilfe des Kreuztisches überstreicht man in mehreren Bändern, deren Bandbreite zuvor mit dem Meßokular gewählt wurde, das Streupräparat und zählt die Körner, die innerhalb eines Bandes zu liegen kommen bzw. zumindest zur Hälfte innerhalb der seitlichen Begrenzungen liegen. Diese Zählmethode ergibt Kornhäufigkeiten und ist von Korngrößenvariationen weitgehend unabhängig.

Mindestens 200 Körner je Präparat wurden bestimmt, was eine statistische Auswertung im Rahmen enger Fehlergrenzen zuläßt (DRYDEN 1931, LUDWIG 1955, VAN ANDEL 1959). Die möglichen Fehler (V) der Zählergebnisse einer Probe (in %) lassen sich in Abhängigkeit von der relativen Kornhäufigkeit nach der Formel:  $V = Z (p \cdot q / n)^{1/2}$  berechnen, wobei der Faktor (Z) davon abhängig ist, wieviel % der untersuchten Proben innerhalb der angegebenen Abweichung (V) liegen, (p) dem %-Satz eines Minerals x in einem Spektrum, (q) dem %-Satz des Spektrumanteils, der nicht Mineral x ist und (n) der Anzahl der gezählten Körner entspricht (BOENIGK 1983). Für eine Wahrscheinlichkeit von 95 % ist  $Z = 2$ . Schon bei einer Zählung von 100 Körnern liegt danach der Fehler in einer Größenordnung, die den tatsächlich vorhandenen Schwankungen im Schwermineralspektrum eines geologisch einheitlichen Sedimentpakets, die durch Sortierungseffekte und korngrößenabhängige Änderungen durch Zulieferungen und Transport bedingt sind, entspricht. Seltene Arten werden oft jedoch erst bei einer Zählung von mindestens 200 Körnern angetroffen (VAN ANDEL 1950).

### 3 STRATIGRAPHIE

#### 3.1 Alterseinstufung der Sedimentkerne und Oberflächensedimente

Bisher konnten nur an vier Sedimentkernen vom Schelf der Laptewsee, die während der Expeditionen TRANSDRIFT I, II und III entnommen wurden, Altersbestimmungen vorgenommen werden.

An den hier bearbeiteten Sedimentkernen (IK 93 73-10 KL, PM 94 62-04 VC, und KD 95 02-14 VC) wurden an je 7, 10 und 12 Proben Altersdatierungen am Institut für Physik und Astronomie der Universität Aarhus (Dänemark) durchgeführt (BAUCH unveröff. Daten). 17 Proben des Kerns PM 94 99-02 VC wurden im Leibniz Labor der Universität Kiel datiert (BAUCH et al. in Vorb.). Die Datierungen erfolgten mit Hilfe der AMS-<sup>14</sup>C-Methode an zweischaligen Muscheln und an handverlesenem terrestrischen Pflanzenmaterial (Tab. 1). Die an den Muscheln durchgeführten Messungen wurden um einen marinen Reservoirereffekt von 400 Jahren korrigiert (BAUCH & HEINEMEIER unveröff. Daten). Nicht direkt AMS-<sup>14</sup>C-datierte Kernabschnitte mußten durch Interpolation und Extrapolation anhand der Altersfixpunkte zu den definierten Teufen des untersuchten Probenmaterials berechnet werden. Auftretende „age-reversals“ wurden für die Alterseinstufungen nicht berücksichtigt.

Aufgrund von <sup>210</sup>Pb- und <sup>137</sup>Cs-Messungen an 8 kurzen Sedimentkernen von max. 50 cm Länge (STROBL unveröff. Daten) kann davon ausgegangen werden, daß die Sedimentoberflächen des Laptewsee-Schelfs nicht älter als 50 Jahre sind und somit die rezente Ablagerungssituation widerspiegeln, sofern keine Umlagerungsprozesse festzustellen sind.



### 3. Stratigraphie

Sedimentkern	Tiefe (cm)	<sup>14</sup> C-Alter (J. v. h.)	<sup>14</sup> C-Alter (J. v. h., int./extr.pol.)*
IK 93 73-10 KI	0		732
	32,5	1150	1150
	53,5	1420	1420
	62,5	1540	1540
	71,5	1760	
	76		1732
	80,5	1670	
	89,5	1955	1955
	100	2150	2150
	109		2317
	PM 94 62-04 VC	5	0
27,5		500	500
90		2090	2090
120		2280	2280
157,5		2835	2835
240,5		4220	4220
269,5		4660	4660
315		5520	5520
348,5		6080	6080
405,5		6720	6720
445,5		7950	7950
<i>445,5</i>		<i>10064</i>	<i>10064</i>
<i>460</i>		<i>17210</i>	<i>17210</i>
PM 94 99-02 VC	0		0
	24	1740	1740
	29,5	6110	6110
	38,75	6510	6510
	46	8590	8260
	77	9070	
	94	9190	
	116	8470	
	122	8300	
	122	8260	
	149	9690	9690
	157	9740	9740
	<i>184</i>	<i>10310</i>	<i>10310</i>
	<i>201</i>	<i>10910</i>	
	<i>216</i>	<i>11250</i>	
	<i>221</i>	<i>11220</i>	
	<i>225</i>	<i>13340</i>	
	<i>233,5</i>	<i>12860</i>	
	<i>234</i>	<i>10650</i>	<i>10650</i>
KD 95 02-14 VC	3		0
	23	6020	6020
	31	6040	6040
	41	6240	6240
	59	6390	6390
	85	6230	6917
	107	6940	6940
	119	7210	7210
	139	7300	7300
	157	7500	7500
	171	7930	
	178		7913
	185	7900	
	225	8020	8020

**Tab. 1:** Altersfixpunkte der Sedimentkerne IK 93 73-10, PM 94 62-04, PM 94 99-02 und KD 95 02-14 mit Reservoirkorrektur, nach BAUCH (unveröff. Daten). Die letzte Spalte zeigt die \*inter- bzw. extrapolierten <sup>14</sup>C-Alter beim Auftreten von „age-reversals“. Kursiv gedruckte Zahlen kennzeichnen an Pflanzenresten bestimmte Werte.

### 3.2 Berechnung der Akkumulationsraten am Gesamtsediment

Die Akkumulationsraten in den in dieser Arbeit untersuchten Sedimentkernen lassen Rückschlüsse auf Veränderungen der Sedimentdynamik in der Laptewsee zu. Erste Hinweise auf die Sedimentationsgeschwindigkeiten in den verschiedenen Ablagerungsgebieten geben lineare Sedimentationsraten (THIEDE et al. 1981). Grundlage zur Berechnung von linearen Sedimentationsraten bilden Altersfixpunkte sowie interpolierte Werte dazwischen (Tab. 1). Lineare Sedimentationsraten wurden aus dem Verhältnis Tiefenintervall zu entsprechendem Zeitintervall berechnet. Um den Sedimenteintrag pro Zeit- und Flächeneinheit zu erhalten, sind auch die Änderungen der Porosität und Kompaktion im Sediment zu berücksichtigen (VAN ANDEL et al. 1975, EHRMANN & THIEDE 1985). Hierzu wurden die Akkumulationsraten (Abb. 16 und Anhang) nach folgenden Gleichungen berechnet:

$$AR_{ges} = LSR * DBD$$

$$DBD = WBD - (D_{corr} * POR * 100^{-1})$$

$$AR_{ges} = \text{Gesamtakkumulationsrate (g * cm}^{-2} * \text{ka}^{-1})$$

$$LSR = \text{Lineare Sedimentationsrate (cm * ka}^{-1})$$

$$DBD = \text{Trockendichte (g * cm}^{-3})$$

$$WBD = \text{Naßdichte (g * cm}^{-3})$$

$$D_{corr} = \text{Dichtekorrektur für Porenwasser (1.025 g * cm}^{-3})$$

$$POR = \text{Porosität (Vol.-%)}$$

Bei Anwendung dieser Gleichungen ist davon auszugehen, daß der Porenraum vollständig mit Wasser erfüllt ist. Die sedimentologischen Daten für die Berechnung der Akkumulationsraten sind bei BENTHIEN (1994), KASSENS & DMITRENKO (1995) und KASSENS et al. (1997) nachzulesen.

Ein kritischer Punkt bei diesen Berechnungen ist jedoch das Zeitgerüst, aufgrund dessen die linearen Sedimentationsraten berechnet werden, da Zeitintervalle, in denen rapide Wechsel der Sedimentationsraten auftreten, nicht immer hinreichend genau aufgelöst werden können.

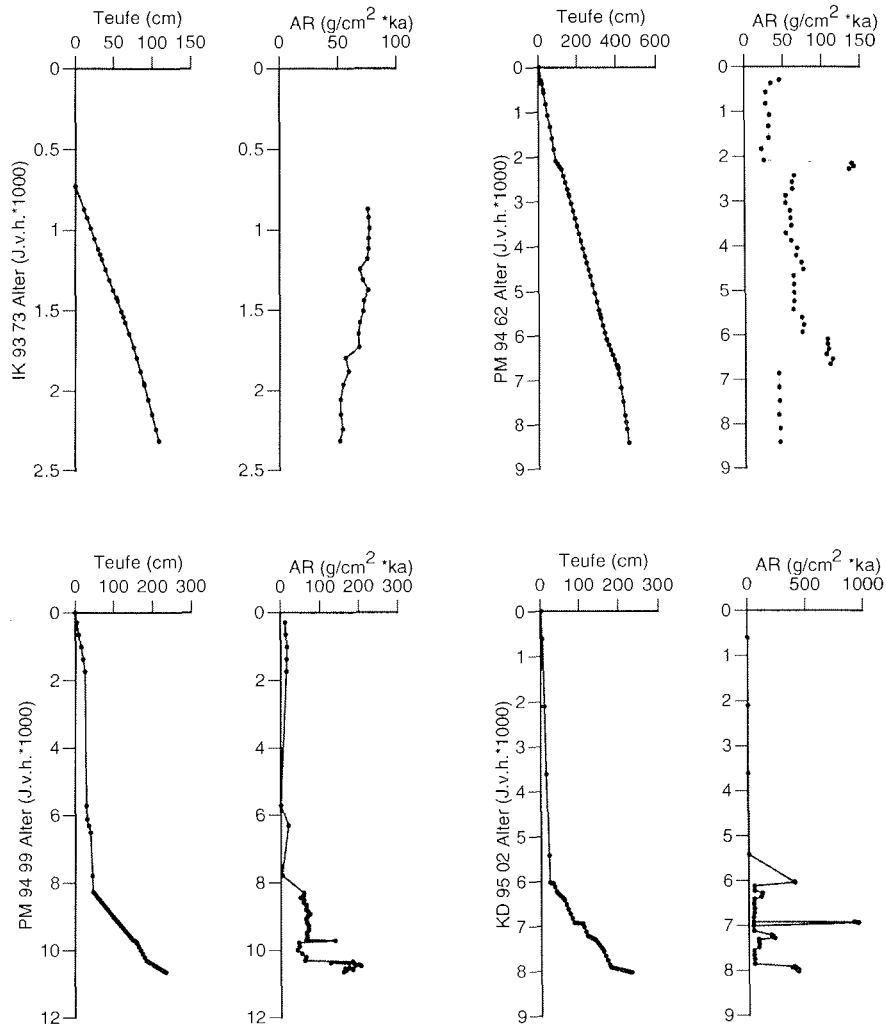


Abb. 16:  $^{14}\text{C}$ -Alter und Sedimentakkumulationsraten (AR) der Sedimentkerne IK 93 73-10 KL, PM 94 99-02 VC, PM 94 62-04 VC und KD 95 02-14 VC.

## 4 ERGEBNISSE

Die für die Sedimente der Laptewsee typische Schwermineralzusammensetzung soll unter Berücksichtigung von weiteren wesentlichen sedimentpetrographischen Parametern wie Korngrößenverteilung und Akkumulationsraten im folgenden anhand ihrer Komponenten dargestellt und in ihren wesentlichen Charakteristika beschrieben werden.

### 4.1 Schwermineralzusammensetzung in den Oberflächensedimenten

Die Verteilung der Schwerminerale Amphibol, Pyroxen, Epidot, Granat, opake Minerale und Glimmer in den Oberflächensedimenten (0 - 1 cm) der Laptewsee ist in den Abbildungen 17 bis 22 dargestellt. Der Gewichtsanteil der Schwerminerale in der untersuchten Fraktion 63 - 125 µm und die ermittelten Kornprozentage aller Schwerminerale der in dieser Arbeit bearbeiteten Proben sind dem Datenanhang B zu entnehmen.

#### • *Amphibol*

Die Minerale der Amphibolgruppe sind mit durchschnittlich 29 Korn-% im Schwermineralspektrum der Oberflächensedimente am häufigsten vertreten (Abb. 17 und Anhang B). In allen Proben herrschen mit weit über 90 % grüne Hornblenden vor. Die höchsten Konzentrationen mit bis zu 48 Korn-% (KD 95 48-11) sind in der östlichen Laptewsee vor allem im Bereich zwischen Lena-Delta und Kotelnyi zu finden. Unter den Schwermineralen der Sedimente in der zentralen Laptewsee schwanken die Werte zwischen 25 und 40 Korn-%. In der westlichen Laptewsee gehen die Gehalte auf 10 Korn-% zurück. In der südöstlichen Laptewsee, im Bereich der Mündungen von Jana und Omoloi, sind die Amphibolanteile mit unter 10 Korn-% (KD 95 33-10) am niedrigsten.

#### • *Pyroxen*

Die Pyroxengehalte im Schwermineralspektrum der Oberflächensedimentproben der Laptewsee schwanken zwischen 4 Korn-% (KD 95 33-10) vor der östlichen Janamündung und 50 Korn-% (PM 94 99-01) in der Chatanga-Rinne. Der durchschnittliche Gehalt liegt bei 22 Korn-%. Die pyroxenreichsten Proben befinden sich im Westen, im Bereich der Mündungen von Anabar und Chatanga (Abb. 18 und Anhang B). In der zentralen und nordöstlichen Laptewsee liegen die Pyroxenanteile meist zwischen 15 und 30 Korn-% und nehmen in südöstlicher Richtung ab. In weiten Teilen der südöstlichen Laptewsee liegen die Werte unter 20 Korn-%.

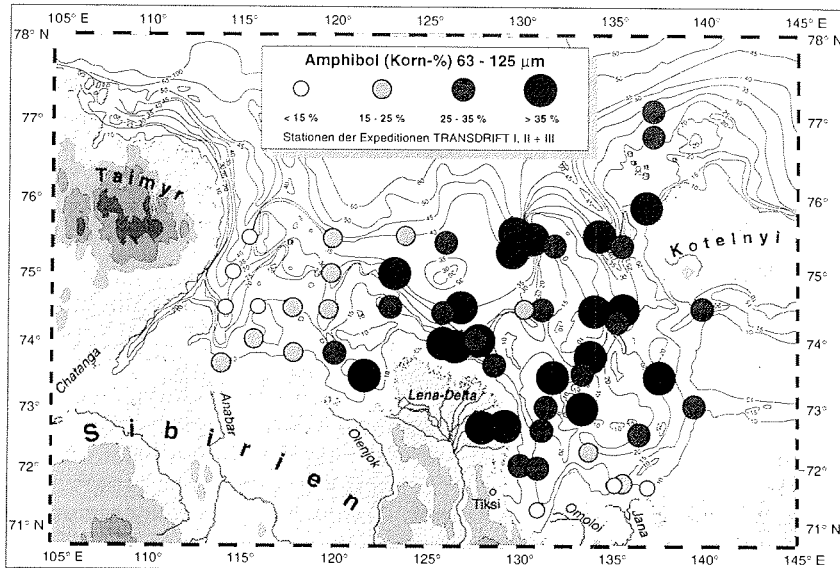


Abb. 17: Anteile von Amphibol am Schwermineralspektrum in der Korngrößenfraktion 63 - 125 µm und deren Verteilung in den Oberflächensedimenten der Lapteewsee.

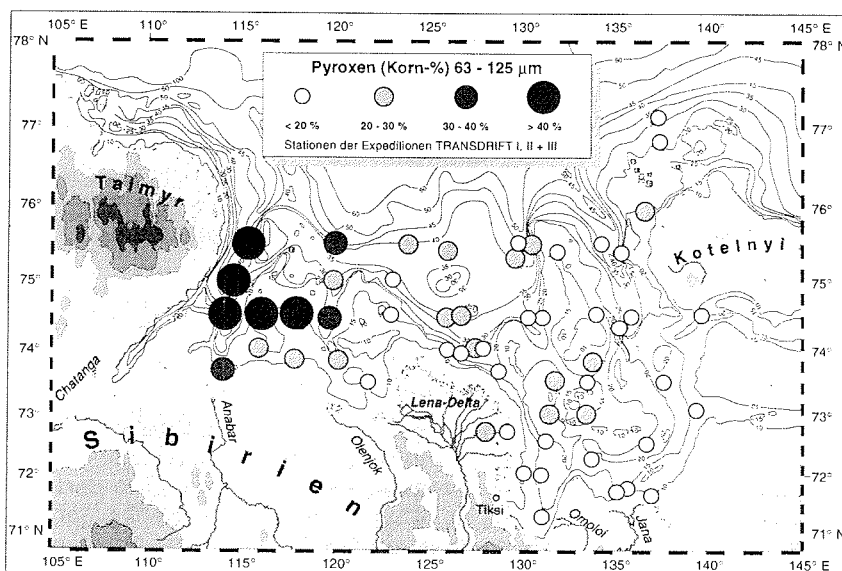


Abb. 18: Anteile von Pyroxen am Schwermineralspektrum in der Korngrößenfraktion 63 - 125 µm und deren Verteilung in den Oberflächensedimenten der Lapteewsee.

Östlich vom Jana-Delta und vor der Omoloimündung enthalten die Proben zwischen 4 und 17 Korn-% Pyroxen. Da die Orthopyroxene in allen hier untersuchten Oberflächensedimentproben zwar ca. 20 bis 40 % des gesamten Pyroxenanteils ausmachen, aber dennoch kein eigenes typisches Verteilungsmuster ausbilden, sind der besseren Übersicht halber hier Ortho- und Klinopyroxene in ihrer Summe dargestellt.

- **Granat**

Die Granatgehalte im Schwermineralanteil der Sedimentoberflächen schwanken zwischen 2 (IK 93 18-03) und 18 Korn-% (IK 93 26-BG) (Abb. 19 und Anhang B), der durchschnittliche Gehalt liegt bei etwa 7 Korn-%. Die höchsten Werte werden mit 15 bis 19 Korn-% vor der Anabarmündung und östlich davon erreicht. Ansonsten liegen die Werte in der westlichen und zentralen Laptewsee bei 5 bis 10 Korn-%. Eine Ausnahme bilden die Stationen PM 94 51-07 und IK 93 44-10 nordöstlich des Lena-Deltas mit 14 Korn-% Granatanteil. Mit 2 bis 5 Korn-% Granat im Schwermineralspektrum weisen die meisten Sedimente zwischen dem südöstlichen Bereich des Lena-Deltas und der Insel Kotelnyi in der östlichen Laptewsee die niedrigsten Granatanteile auf. In der südöstlichen Laptewsee, in küstennäheren Bereichen liegen die Granatgehalte mit 5 bis 10 Korn-% etwas höher als in der zentralen Laptewsee.

- **Epidot**

In allen Oberflächensedimenten der Laptewsee schwanken die Epidotgehalte im Schwermineralspektrum nur geringfügig um den Mittelwert von 10 Korn-% (Abb. 20 und Anhang B). Die höchsten Werte werden mit 16 Korn-% (PM 94 17-04) in der östlichen Laptewsee erreicht, die meisten Proben liegen hier bei 11 bis 14 Korn-%. In der zentralen Laptewsee schwanken die Anteile zwischen 7 und 13 Korn-%. Mit etwa 6 bis 11 Korn-% weisen die Sedimente in der westlichen Laptewsee etwas niedrigere Epidotwerte als die der östlichen Laptewsee auf.

- **Opake Minerale**

Die Verteilung des opaken Anteils der Schwerminerale zeigt im zentralen und im östlichen Teil der Laptewsee kein einheitliches Bild (Abb. 21 und Anhang B). Die Werte schwanken zwischen 3 und 27 Korn-%. In der westlichen Laptewsee liegen die Werte bei 4 bis 12 Korn-%, zwischen den Mündungen von Anabar und Olenjok steigt der Gehalt auf 17 bis 22 Korn-%. In der südöstlichen Laptewsee zeichnen sich vor allem in den Küstenbereichen hohe Werte von 17 bis 21 Korn-% ab; im Mündungsbereich des Omoloi steigen sie sogar auf 50 Korn-% (KD 95 33-10) an. Auch direkt südlich von Kotelnyi (IK 93 49-07) liegt der Gehalt bei 28 Korn-%. Der durch-

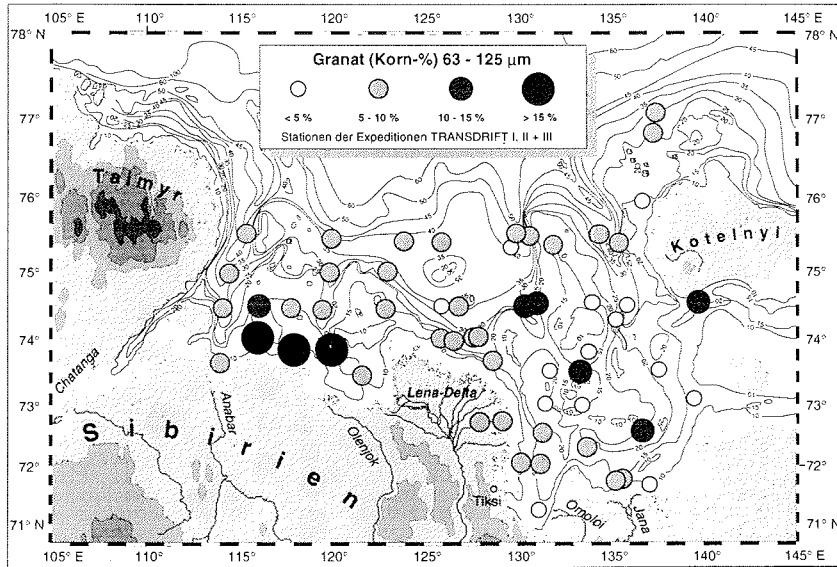


Abb. 19: Anteile von Granat am Schwermineralspektrum in der Korngrößenfraktion 63 - 125 µm und deren Verteilung in den Oberflächensedimenten der Laptewsee.

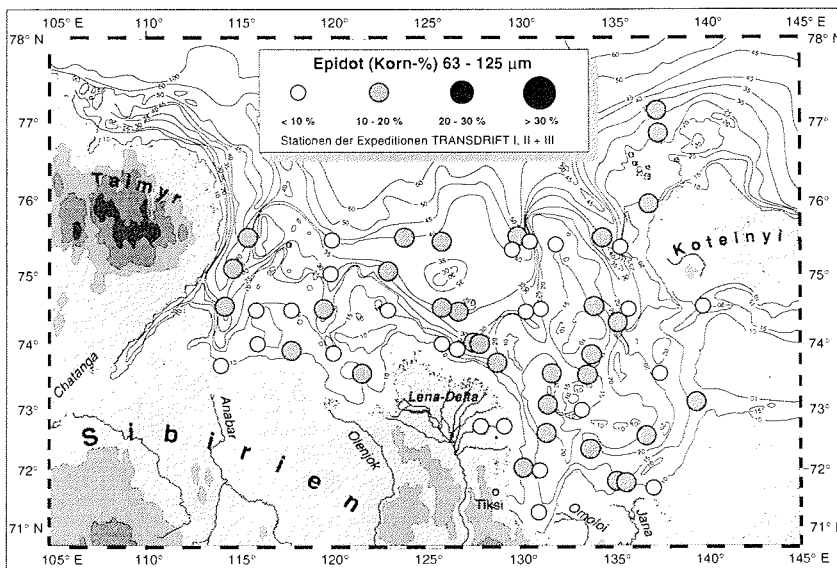
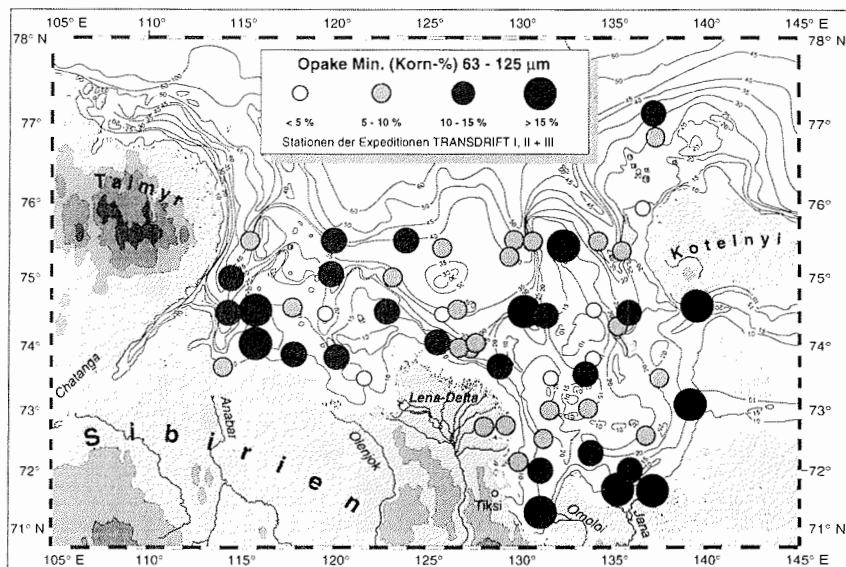
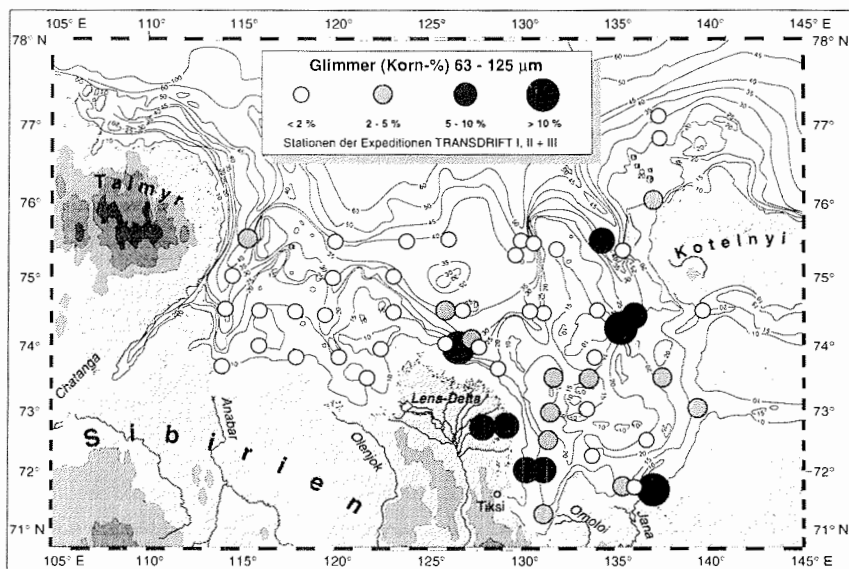


Abb. 20: Anteile von Epidot am Schwermineralspektrum in der Korngrößenfraktion 63 - 125 µm und deren Verteilung in den Oberflächensedimenten der Laptewsee.

#### 4. Ergebnisse



**Abb. 21:** Anteile von opaken Min. am Schwermineralspektrum in der Korngrößenfraktion 63 - 125 µm und deren Verteilung in den Oberflächensedimenten der Laptevsee.



**Abb. 22:** Anteile von Glimmer am Schwermineralspektrum in der Korngrößenfraktion 63 - 125 µm und deren Verteilung in den Oberflächensedimenten der Laptevsee.



schnittliche Gehalt der opaken Minerale im Schwermineralspektrum aller Oberflächenproben beträgt 11 Korn-%.

- **Glimmer**

Minerale der Glimmergruppe sind mit durchschnittlich etwa 3 Korn-% im allgemeinen nur schwach vertreten (Abb. 22 und Anhang B). Östlich des Lena-Deltas erreichen sie Werte von 2 bis 5 Korn-%, östlich des Jana-Deltas allerdings 27 Korn-% (IK 93 Z5-04). Auch westlich bis südwestlich von Kotelnyi bei der Insel Stolbowoi steigen die Werte auf bis zu 21 Korn-% (KD 95 23-07) an. Das Schwermineralspektrum der westlichen Laptewsee ist mit 0 bis 1 Korn-% eher arm an Glimmern, in der Anabarmündung (IK 93 Z2-04) und nahe der östlichen Taimyrküste treten dagegen mit 2 bis 4 Korn-% etwas höhere Werte auf.

- **Andere Schwerminerale**

Daneben kommen in Prozentsätzen von durchschnittlich 2 - 3 Korn-% die Minerale Apatit, Titanit und Zirkon vor (Anhang B). Die Apatitanteile am Schwermineralspektrum in den einzelnen Oberflächenproben liegen zwischen 0 und 6 Korn-%, der mittlere Durchschnitt beträgt etwa 3 Korn-%. Die Titanitwerte, im Schwermineralanteil aller Oberflächensedimentproben des Laptewsee-Schelfs mit durchschnittlich knapp 3 Korn-% vertreten, bewegen sich im Bereich von 1 bis 6 Korn-%. Der Anteil an Zirkon beträgt durchschnittlich 2 bis 3 Korn-% aller Schwerminerale in den Oberflächensedimenten der Laptewsee mit Schwankungen von 1 bis 6 Korn-%. Bei KD 95 33-07, direkt vor der Mündung des Omoloi in der südwestlichen Laptewsee, liegt der Zirkonanteil allerdings bei über 17 Korn-%. Die Verteilung von Apatit, Titanit und Zirkon ist, von o. a. Ausnahme bei Zirkon abgesehen, sehr gleichmäßig und zeigt keine ausgeprägten oder typischen Verteilungsmuster.

Akzessorisch, bis maximal 3 Korn % und ohne erkennbare typische Verteilungsmuster sind u. a. außerdem Turmalin, Rutil, Staurolith, Sillimanit, Andalusit, Disthen sowie die Karbonate vertreten (Anhang B). Ihre durchschnittlichen Gehalte liegen unter 1 Korn-%. Rutil und Turmalin kommen in allen Proben vor, wohingegen die Schwerminerale Staurolith, Sillimanit, Andalusit, Disthen sowie die Karbonate in weniger als der Hälfte aller Oberflächensedimentproben noch vereinzelt nachzuweisen sind. Nahe der Insel Belkowskii sind in einer Oberflächenprobe (IK 93 73-08) als einzige Ausnahme die Karbonate mit ca. 8 Korn-% relativ stark unter den Schwermineralen vertreten.

Die sogenannten Alterite zeigen mit durchschnittlich 6 Korn-% eine eher gleichmäßige Verteilung in den Oberflächensedimenten. In den Mündungsbereichen der Flüsse Jana, östliche Lena und Anabar steigen die Werte auf 10 - 16 Korn-% an (Anhang B). Alle anderen Schwerminerale

(Kap. 1.5) lassen sich nur noch als einzelne Körner in den Schwermineralpräparaten der Oberflächensedimente in der Laptewsee finden.

#### 4.2 Schwermineralanteile in den Meereissedimenten

Da die Meereissedimente durch einen hohen Anteil an feinem Sediment gekennzeichnet sind (WOLLENBURG 1993, DETHLEFF 1995a), konnte nur bei wenigen Proben genügend Material für die Schwereretrennung gewonnen werden. Abb. 23 zeigt die jeweiligen Anteile von Amphibol, Pyroxen, Granat, Epidot, Glimmer und opaken Mineralen in den Schwermineralspektren der hier untersuchten Meereissedimente. Die Gehalte der übrigen Schwerminerale sind dem Anhang B zu entnehmen.

Wie in den Oberflächensedimenten bilden auch hier die Amphibole mit einem durchschnittlichen Anteil von 26 Korn-% den größten Anteil am Schwermineralspektrum. Die Werte in den einzelnen Proben liegen zwischen 10 und 40 Korn-% (Abb. 23 a). Dicht dahinter, mit mittleren 25 Korn-% folgen die Pyroxene, deren Gehalte im einzelnen von 12 bis 60 Korn-% schwanken (Abb. 23 b). Werte unter 20 Korn-% zeigen die Proben im Küstenbereich der Mündungen von Lena und Jana sowie die Proben aus der nordöstlichen Laptewsee. Proben aus der nördlichen Laptewsee und aus dem Bereich nördlich von Taimyr erreichen Werte bis zu 60 Korn-% (ARK IX/4 25122). Die Minerale der Epidotgruppe machen in den küstennahen Proben 4 bis 10 Korn-% des Schwermineralspektrums aus (Abb. 23 c), während die Epidotgehalte der Meereisproben auf dem äußeren Schelf mit bis zu 37 Korn-% (ARK IX/4 25811) deutlich höher liegen. Die Granatanteile zeigen eine hierzu gegensätzliche Verteilung. Während sie in den küstennahen Meereissedimenten noch mit 13 bis 26 Korn-% am Schwermineralspektrum vertreten sind (Abb. 23 d), erreichen ihre Gehalte in den Meereissedimenten auf dem äußeren Schelfbereich nur noch weniger als 5 Korn-%. Ähnlich verhält es sich mit den opaken Mineralen, die im Küstenbereich der Mündungen von Lena und Jana 8 bis 25 Korn-% des Schwermineralspektrums ausmachen, in den Proben auf dem äußeren Schelf nur noch mit maximal 6 Korn-% vertreten sind (Abb. 23 e). Eine Ausnahme mit 18 Korn-% Anteil an opaken Mineralen bildet die Probe ESARE 111-1, nördlich von Kotelnyi gelegen. Die Minerale der Glimmergruppe sind durchschnittlich mit knapp 2 Korn-% unter den Schwermineralen in den Meereissedimenten vertreten (Abb. 23 f); in der östlichen Laptewsee und nördlich von Taimyr erreichen sie Werte bis 5 Korn-%. Alle weiteren Schwerminerale treten wie auch in den Schelfoberflächensedimenten nur noch akzessorisch mit weniger als 5 Korn-% auf. Eine Ausnahme zeigt der mit 10 Korn-% relativ hohe Anteil an Zirkon (Anhang B) in der Probe ESARE 111-1 nördlich von Kotelnyi.

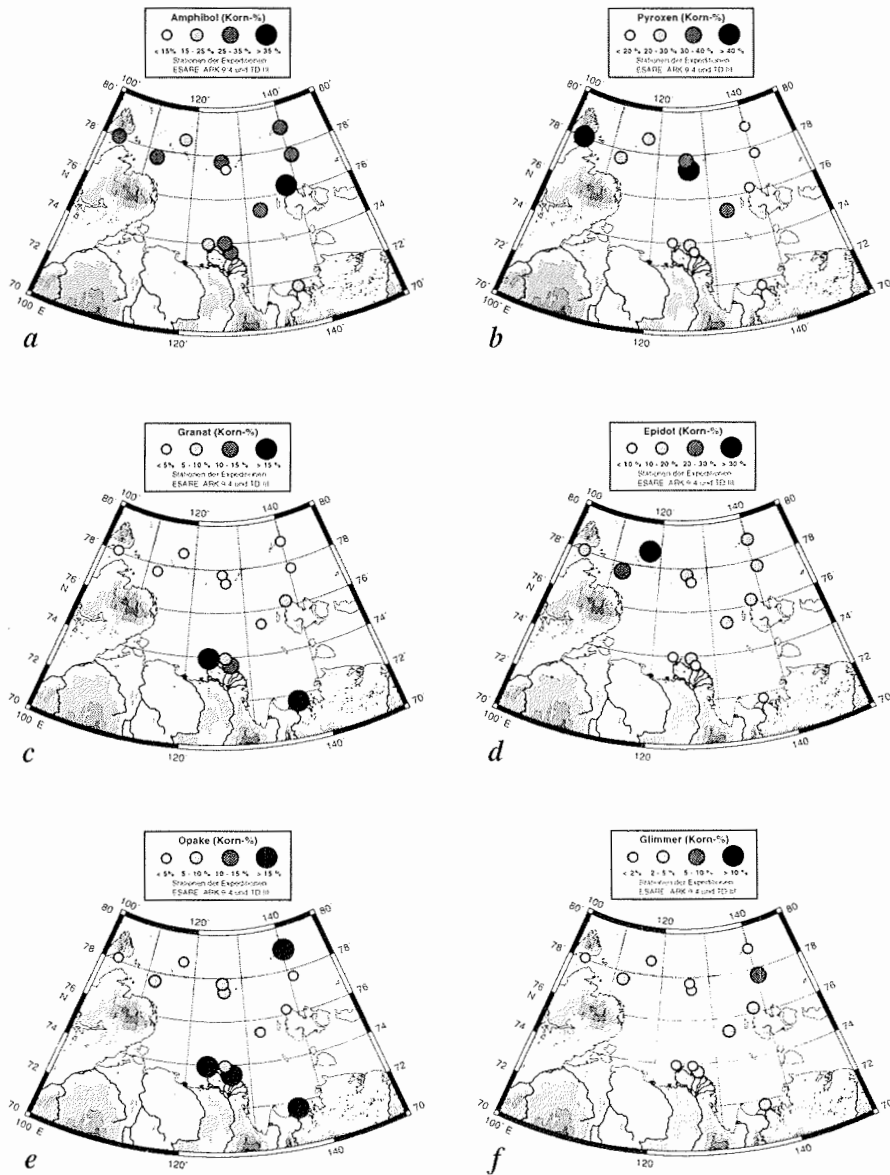


Abb. 23 a-f: Anteile von Amphibol, Pyroxen, Granat, Epidot, Glimmer und opaken Mineralen am Schwermineralspektrum in der Korngrößenfraktion 63 - 125 µm und deren Verteilung in den Meereissedimenten in der Laptevsee.

### 4.3 Korngrößen, Akkumulation und Schwerminerale in den Sedimentkernen

In den hier untersuchten Sedimentkernen erweisen sich wie in den Oberflächensedimenten die Schwerminerale Amphibol, Pyroxen, Epidot, Granat, opake Minerale und Glimmer als Hauptkomponenten des Schwermineralspektrums. In ihren Gehalten variieren sie jedoch zum Teil beträchtlich. Die makroskopische Kernbeschreibung ist den Fahrtberichten zu den Expeditionen zu entnehmen (KASSENS & KARPIY 1994, KASSENS & DMITRENKO 1995, KASSENS et al. 1997). An dieser Stelle seien jedoch zunächst der Bedeutung halber die Korngrößenverteilung und die Akkumulationsraten ausführlich dargestellt.

Im Sedimentkern IK 93 73-10 liegen die Ton- und Siltanteile zusammen bei ca. 90 bis fast 100 Gew.-% (Abb. 24 und Anhang C). Die Siltanteile sind dabei mit 53 bis 70 Gew.-% deutlich höher als die Tonanteile, die nur etwa 25 bis 40 Gew.-% betragen. Die Sandfraktion spielt mit wenigen Gew.-% nur eine untergeordnete Rolle. Die Verteilungskurven verlaufen über den ganzen Sedimentkern recht einheitlich ohne größere Schwankungen.

In den berechneten Akkumulationsraten (Abb. 24 und Anhang D) vom Gesamtsediment zeigt sich ohne wesentliche Schwankungen in zeitlicher Abhängigkeit eine leichte Zunahme von ca. 50 auf 80  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$ . Für den Sedimentkern IK 93 73-10 mit 109 cm Länge wurde ein Alter von ca. 2.300 J. v. h. bestimmt, wobei das Alter der Oberfläche bei ca. 730 J. v. h. liegt.

Die Feinfraktion mit den Ton- und Siltanteilen dominiert auch im Sedimentkern KD 95 02-14 mit 70 bis über 90 Gew.-% (Abb. 25 und Anhang C). Im Unterschied zu Sedimentkern IK 93 73-10 ist der Siltanteil zugunsten des Tones verringert. Die Werte liegen zwischen ca. 11 und 28 Gew.-%. Die gegenüber dem Sedimentkern IK 93 73-10 erhöhten Gehalte der Tonfraktion schwanken zwischen ca. 57 und 73 Gew.-%. Der Sandanteil erreicht meistens Gehalte um 13 Gew.-%. Im unteren Sedimentabschnitt von 211 bis 231 cm (ca. 8.000 J. v. h.) sowie im oberen Bereich (oberste cm) treten auch höhere Werte von über 20 Gew.-% auf. Während die Tonkurve recht einheitlich verläuft, zeigen die Silt- und die Sandkurve beträchtliche Schwankungen.

Die Akkumulationsraten des Gesamtsediments (Abb. 25 und Anhang D) liegen bis ca. 6.000 J. v. h. bei ca. 3  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$ . Zwischen 6.000 und 8.000 J. v. h., was etwa dem tiefsten Punkt bei 231 cm des Kerngewinns entspricht, erreichen sie Werte von ca. 50 bis fast 1.000  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$ .

Im Sedimentkern PM 94 62-04 (Abb. 26 und Anhang C) betragen die Feinfraktionsanteile zusammen etwa 70 bis fast 100 Gew.-%. Mit 66 Gew.-% dominiert auch hier der Siltgehalt vor der Tonfraktion mit nur 29 Gew.-% im Durchschnitt. Dabei erreichen die Siltanteile, die mit zunehmender Tiefe

leicht steigen, bei ca. 90 bis 100 cm (2.100 J. v. h.) ein Maximum von 75 Gew.-%, während der Tonanteil, tendenziell fallend, hier auf 23 Gew.-% zurückgeht. Bis etwa 375 cm (6.400 J. v. h.) liegt der Sandanteil deutlich unter 5 Gew.-%, um dann im unteren Abschnitt des Kerns ab ca. 380 cm (6.500 J. v. h.) auf bis zu fast 30 Gew.-% anzusteigen, während bei etwa gleichbleibenden Siltgehalten von 60 bis 75 Gew.-% der Tonanteil auf 10 Gew.-% bei ca. 450 cm (8.100 J. v. h.) sinkt. Bei einer Kerntiefe von 285 cm, wo bei ca. 5.000 J. v. h. auch die hohen Glimmerwerte liegen, steigt der Tonanteil auf knapp 40 Gew.-% bei gleichzeitigem Rückgang der Siltwerte auf 60 Gew.-%.

Die Akkumulationsraten des Gesamtsediments (Abb. 26 und Anhang D) gehen im oberen Kernabschnitt bis ca. 2.000 J. v. h. zunächst von 45 auf 25  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$  zurück, um dann zunächst sprunghaft auf etwa 140  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$  kurzzeitig anzusteigen und danach auf etwa 60  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$  zurückzufallen. Bis zum Alter von etwa 6.000 Jahren ist nun wieder eine eher gleichmäßige Zunahme der Akkumulationsraten auf etwa 75  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$  zu verzeichnen. Jetzt erhöht sich die Rate nochmals auf etwas über 100  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$ , um dann ab 6.700 J. v. h. sich bis zum unteren Ende des Sedimentkerns bei 8.400 J. v. H. auf etwa 45  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$  einzupendeln.

Der Sedimentkern PM 94 99-02 zeigt zu den anderen bisher beschriebenen Kernen abweichende Korngrößenverteilungen (Abb. 27 und Anhang C). Besonders auffällig ist die Verteilung der Grobfraction. Im ersten Kernabschnitt bis etwa 30 cm (2.000 J. v. h.) liegt der Sandanteil bei Werten von 11 bis 19 Gew.-%. Danach sinkt er drastisch auf Werte unter 1 Gew.-% ab, um dann im mittleren Kernbereich von 99 bis 134 cm (9.000 bis 9.500 J. v. h.) bei Werten von 1 bis 5 Gew.-% zu pendeln. Ab 180 cm bis zum unteren Kernende bei 234 cm (10.200 bis 10.600 J. v. h.) steigen die Werte nun wieder rapide auf über 20 Gew.-% an. Mit etwas über 80 Gew.-% Silt im Durchschnitt bewegen sich die Siltanteile im Sedimentkern PM 94 99-02 grundsätzlich über 60 Gew.-% mit Spitzenwerten von über 90 Gew.-% im Bereich von etwa 30 bis 180 cm. In den Kernabschnitten mit den höheren Sandgehalten gehen die Siltwerte auf 65 bis 80 Gew.-% zurück. Auch in der Tonverteilungskurve lassen sich 3 unterschiedliche Bereiche voneinander abgrenzen. Im Abschnitt bis 30 cm liegt ihr Maximum mit über 20 Gew.-%. Schwankungen von 7 bis 19 Gew.-% kennzeichnen den mittleren Kernbereich von 30 bis 180 cm (6.100 bis 10.200 J. v. h.). Im Kernbereich 180 bis 234 cm gehen die Tongehalte auf 5 bis 13 Gew.-% zurück.

Im Bereich von heute bis 1.700 J. v. h. liegen die Akkumulationsraten (Abb. 27 und Anhang D) des Gesamtsediments bei etwa 12 bis 16  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$ . Sehr niedrig sind sie dann mit nur wenig über 1  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$  bis ca. 6.000 J. v. h. Von 6.100 bis 10.300 J. v. h. bewegen sie sich zwischen 50 und 70  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$ , um bei einem Alter von 9.700 J. v. h. Spitzenwerte von 160  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$  zu erreichen. Auch im letzten Kernabschnitt von 190 bis 234 cm, welcher nur etwa 350 Jahre umfaßt, sind die Raten mit 147  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{ka}^{-1}$  vergleichsweise relativ hoch.

#### **4.3.1 Schwermineralspektrum des Sedimentkerns IK 93 73-10 KL**

Im Schwermineralanteil der Sedimente des Sedimentkerns IK 93 73-10 (Abb. 24 und Anhang B) dominieren die Amphibolgehalte mit durchschnittlich 32 Korn-%. Die Werte schwanken dabei zwischen 24 und 43 Korn-%. Mit 14 Korn-% liegen die Pyroxenwerte, die sich zwischen 10 und 22 Korn-% bewegen, deutlich niedriger. Das Verhältnis von Ortho- zu Klinopyroxen liegt dabei bei etwa 1:4. Um den Mittelwert von 12 Korn-% verteilt, schwanken auch die Minerale der Epidotgruppe von 9 bis 17 Korn-%. Größere Schwankungen zeigen die Werte der Karbonate mit 5 bis 10 Korn-% im oberen Drittel bis 35 cm (730 bis 1.200 J. v. h.), 8 bis 14 Korn-% im zweiten Drittel von 42 bis 75 cm (1.300 bis 1.700 J. v. h.) und 8 bis 19 Korn-% im unteren Drittel des Kerns von 78 bis 107 cm (1.800 bis 2.300 J. v. h.). Der mittlere Gehalt liegt bei 10 Korn-%. Die Minerale der Glimmergruppe bilden mit Werten von 3 bis 11 Korn-% noch mittlere 6 Korn-% des Schwermineralspektrums. Jeweils unter 5 Korn-% liegen mit nur sehr geringen Schwankungen die opaken Minerale (5 Korn-%), Granat (3 Korn-%), Apatit (3 Korn-%), Titanit (3 Korn-%), Zirkon (2 Korn-%) und Turmalin (1 Korn-%). Mit weniger als 1 Korn-% sind die Minerale Rutil, Staurolit, Andalusit, Sillimanit und Disthen nur noch vereinzelt anzutreffen.

#### **4.3.2 Schwermineralspektrum des Sedimentkerns KD 95 02-14 VC**

Im Schwermineralspektrum von Sedimentkern KD 95 02-14 (Abb. 25 und Anhang B) bilden die Amphibole mit 36 Korn-% die Hauptkomponente. Die Werte schwanken nur gering zwischen 31 und 42 Korn-%. Pyroxengehalte liegen im Bereich von 15 bis 25 Korn-% und sind im mittleren Durchschnitt mit 18 Korn-% vertreten. Das Verhältnis von Ortho- zu Klinopyroxen beträgt ca. 1:3. Die Gehalte der Minerale der Epidotgruppe streuen von 8 bis 18 Korn-% um den mittleren Gehalt von 11 Korn-%. Granate und opake Minerale sind jeweils mit etwa 7 Korn-% durchschnittlich vertreten. Im mittleren Kernbereich von 111 bis 151 cm (7.000 bis 7.400 J. v. h.) sind die Granatwerte mit 8 bis 12 Korn-% leicht erhöht, die opaken Minerale dagegen zeigen kein typisches Verteilungsmuster. Auch die Glimmergehalte im Schwermineralspektrum liegen bei etwa 7 Korn-%. Bei Einzelwerten zwischen 1 und 15 Korn-% zeichnet sich hier eine leichte Zunahme mit der Tiefe ab. Die Anteile von Titanit und Apatit bewegen sich ohne größere Schwankungen bei durchschnittlich ca. 2 bis 3 Korn-%, Zirkone sind noch mit knapp 2 Korn-% vertreten. Die metamorphen Minerale Staurolit, Andalusit, Sillimanit und Disthen sowie Turmalin und Rutil sind nur noch akzessorisch mit weniger als 1 Korn-% vorhanden.

#### **4.3.3 Schwermineralspektrum des Sedimentkerns PM 94 62-04 VC**

Die Amphibolgehalte in Schwermineralspektrum des Sedimentkerns PM 94 62-04 (Abb. 26 und Anhang B) reichen von 22 bis 46 Korn-% und liegen mit mittleren 37 Korn-% ähnlich hoch wie in Sedimentkern KD 95 02-14.

Auch die Pyroxene sind mit einem Durchschnittswert von 17 Korn-% über den ganzen Sedimentkern mit 11 bis 23 Korn-% eher gleichmäßig verteilt bei einem mittleren Verhältnis von Ortho- zu Klinopyroxen von etwa 1:2. Die Mineralanteile der Epidotgruppe schwanken von 9 bis 18 Korn-% recht eng um den Mittelwert von 14 Korn-%. Die Glimmerminerale, im Durchschnitt mit 8 Korn-% vertreten, zeigen im unteren Kernabschnitt von 224 bis 376 cm (4.000 bis 6.400 J. v. h.) signifikant höhere Werte von bis zu 44 Korn-% bei ca. 5.000 J. v. h. Granate und opake Minerale bilden jeweils etwa 5 Korn-% des gesamten Schwermineralspektrums, wobei die Werte der opaken Minerale von 1 bis 10 Korn-% sich eher gleichmäßig auf den Sedimentkern verteilt zeigen, während die Granatgehalte im unteren Kernbereich von 415 bis 430 cm (7.000 und 7.500 J. v. h.) auf 13 Korn-% ansteigen. Titanit kommt auch hier mit bis zu 6 Korn-% in fast allen Proben vor und liegt im Mittel bei ca. 2 Korn-%. Zirkon und Turmalin sind unter den Schwermineralen noch mit gut 1 Korn-% ohne größere Abweichungen vertreten, alle übrigen bisher hier aufgeführten Schwerminerale finden sich nur noch vereinzelt in den Proben wieder.

#### **4.3.4 Schwermineralspektrum des Sedimentkerns PM 94 99-02 VC**

Im Gegensatz zu den hier bisher beschriebenen Sedimentkernen aus der östlichen Laptewsee zeichnet sich das Schwermineralspektrum des in der westlichen Laptewsee entnommenen Sedimentkerns PM 94 99-02 (Abb. 27 und Anhang B) durch die hohen Pyroxengehalte von über 50 Korn-% mit Schwankungen von knapp 30 bis über 70 Korn-% aus. Das Verhältnis von Ortho- zu Klinopyroxen liegt hier nur noch unter 1:10. Amphibole sind mit durchschnittlich 9 Korn-% eher schwach vertreten. In den obersten 30 cm sind die Werte mit 10 bis 14 Korn-% etwa gleichmäßig hoch, in den älteren Kernabschnitten pendeln sie unregelmäßig zwischen 3 und 15 Korn-%. Der Epidotgehalt bewegt sich zwischen 2 und 17 Korn-% bei mittleren 7 Korn-%. Die opaken Minerale, mit knapp 5 Korn-% am Schwermineralanteil vertreten, erreichen Werte von bis zu 15 Korn-% bis zur Tiefe von 152 cm bei einem Kernalter von ca. 9.600 J. v. h. Von hier an sind sie mit höchstens 2 Korn-% nur noch sporadisch vorhanden. Auch die Granate, die mit etwa 3 Korn-% durchschnittlich im Schwermineralspektrum des Kerns zu finden sind, verschwinden ab etwa der gleichen Tiefe fast gänzlich, während sie in den oberen 30 cm (bis 2.000 J. v. h.) des Sedimentkerns gleichmäßig höhere Werte von etwa 6 bis 10 Korn-% aufweisen. Ab einer Teufe von 180 cm (10.200 J. v. h.) erscheinen die Glimmer, insgesamt mit 10 Korn-% vertreten, mit Werten von über 50 Korn-%. Darüber erreicht ihr Anteil an den Schwermineralen nur selten mehr als 5 Korn-%. Die Karbonatwerte sind zwar mit knapp 2 Korn-% insgesamt gering, betragen aber bei 157 cm (9.700 J. v. h.) immerhin bis zu 7 Korn-%. Apatit, Titanit, Zirkon Turmalin und Rutil sind zwar in fast allen Proben enthalten, ihre Werte erreichen aber im Durchschnitt kaum mehr als 1 Korn-%. Staurolit, Andalusit, Sillimanit und Disthen dagegen sind nur noch sehr vereinzelt nachzuweisen. Recht auffallend ist der sehr hohe Gehalt an Pyrit im ge-

#### 4. Ergebnisse

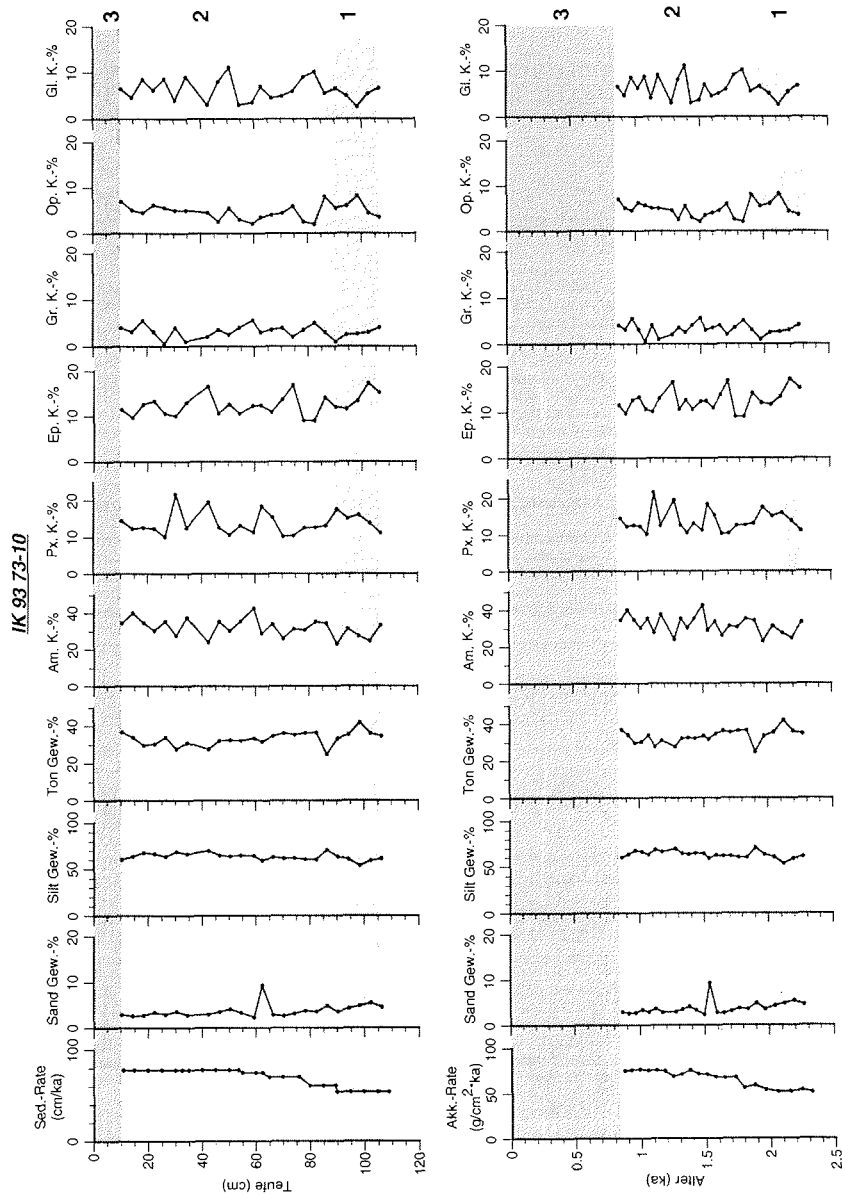
---

samten Schwermineralspektrum. Er tritt vor allem im Bereich von 30 bis 200 cm (6.100 bis 10.400 J. v. h.) auf. Die framboidale morphologische Ausprägung der Körner und der bei der Kernentnahme festgestellte starke H<sub>2</sub>S-Geruch des Sediments weist den Pyrit jedoch eindeutig als frühdiagenetische Neubildung aus marinem Porenwasser aus (BERNER 1981).

---

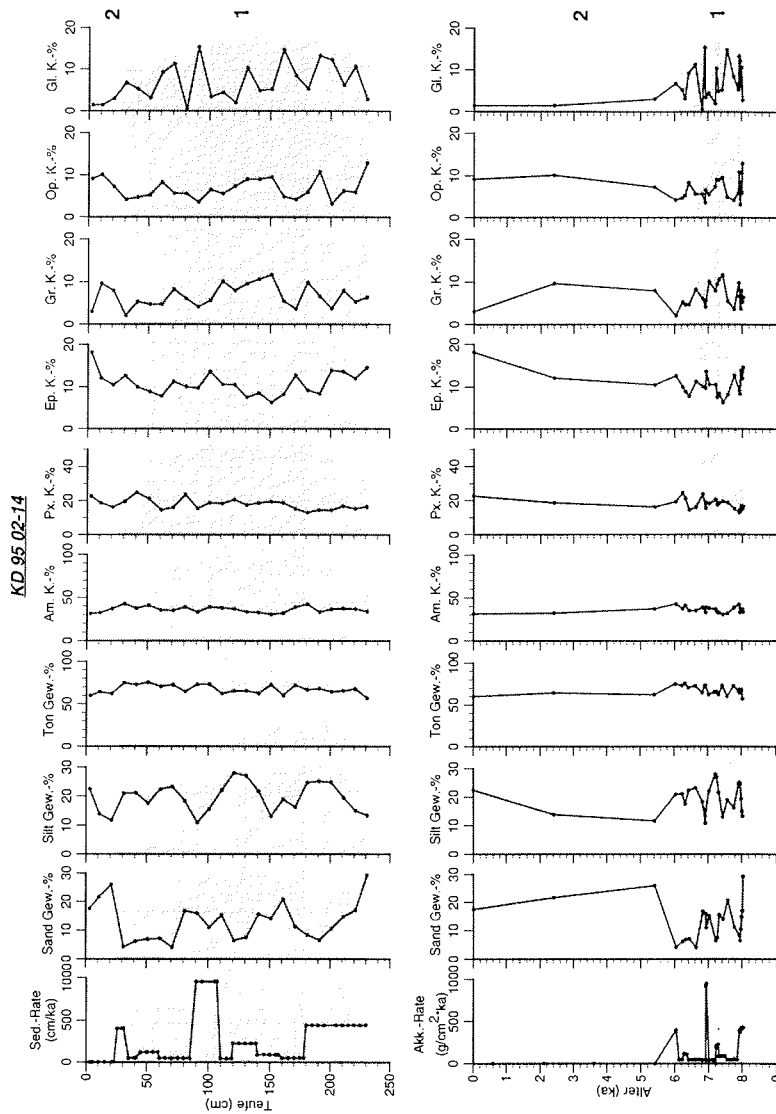
Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Minerale der Amphibol-, Pyroxen-, Epidot- und Granatgruppe im Durchschnitt den Hauptanteil der transparenten Komponenten des Schwermineralspektrums mit Anteilen von durchschnittlich 5 bis 30 Korn-% in den untersuchten Oberflächensedimenten, Meereissedimenten und Sedimentkernen ausmachen. Im Bereich von durchschnittlich 5 bis 20 Korn-% liegt auch der Anteil an den opaken Mineralen und Alteriten. Daneben kommen in Prozentsätzen von durchschnittlich 2 bis 6 Korn-% die Minerale Titanit, Apatit und Zirkon sowie die Minerale der Glimmergruppe vor. Akzessorisch bis maximal 3 Korn-% sind u. a. außerdem Turmalin, Rutil, Staurolith, Sillimanit, Andalusit, Disthen, sowie die Karbonate vertreten. Alle weiteren in Kap 1.5 aufgeführten Schwerminerale treten nur noch vereinzelt auf.



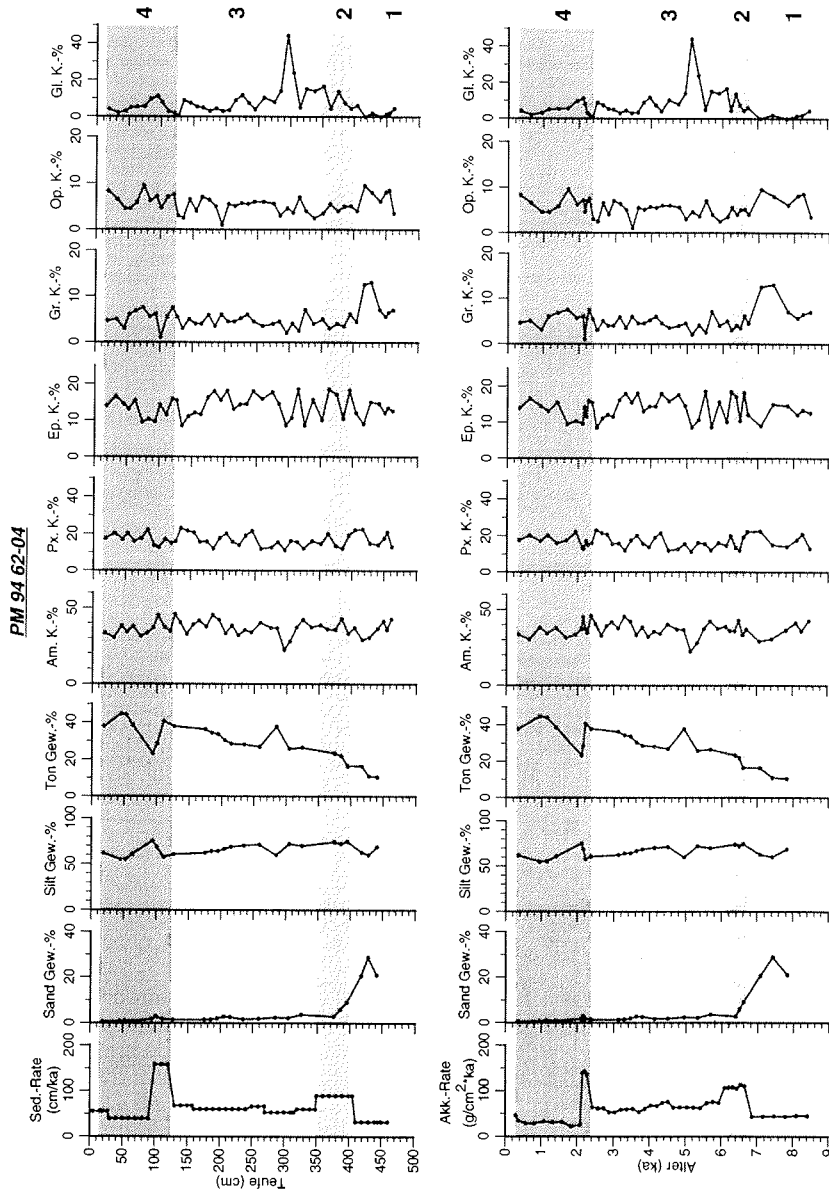


**Abb. 24:** Anteile von Amphibol (Am), Pyroxen (Px), Granat (Gr), Epidot (Ep), Glimmer (Gl) und opaken Mineralen (Op) am Schwermineralspektrum des Sedimentkerns IK 93 73-10 in der Korngrößenfraktion 63 - 125  $\mu\text{m}$  (K.-% = Korn-%); Sand-, Silt- und Tonverteilung; Sedimentations- und Akkumulationsraten, gegen Kernteufe und -alter aufgetragen.

#### 4. Ergebnisse

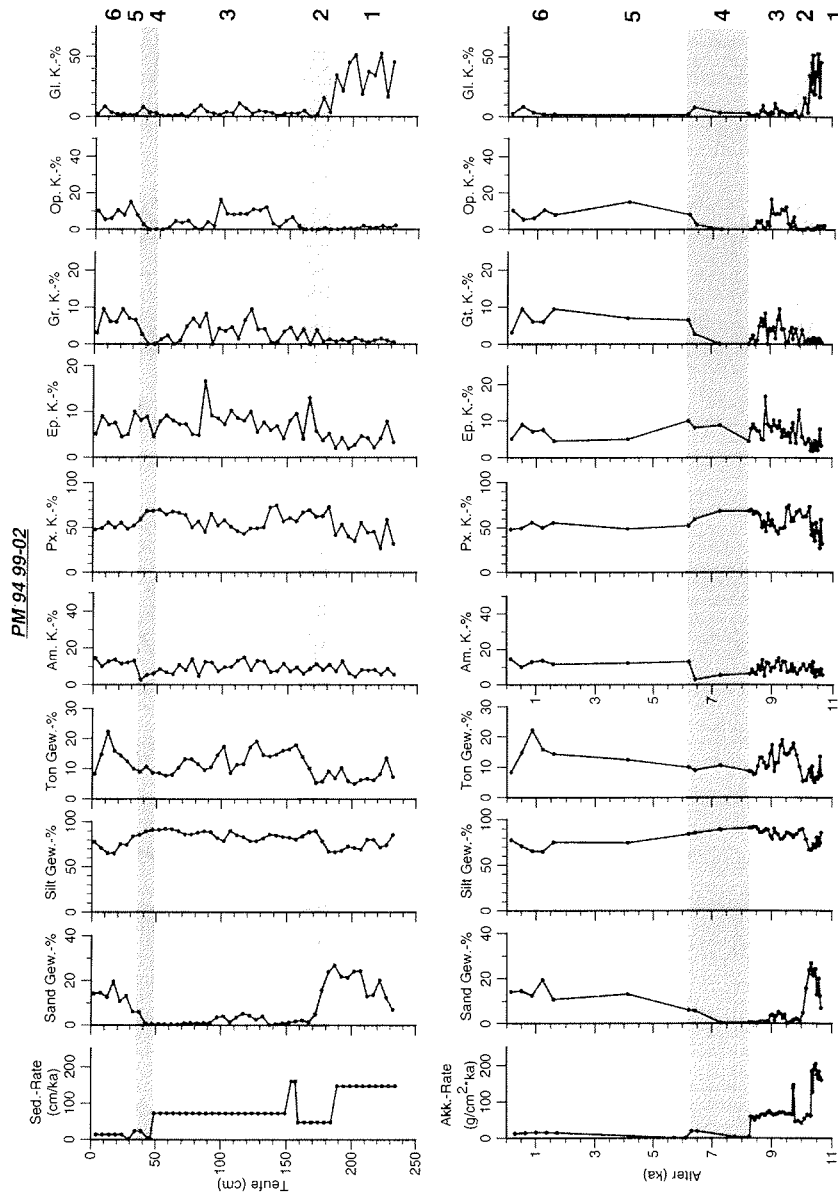


**Abb. 25:** Anteile von Amphibol (Am), Pyroxen (Px), Granat (Gr), Epidot (Ep), Glimmer (Gl) und opaken Mineralen (Op) am Schwermineralspektrum des Sedimentkerns KD 95 02-14 in der Korngrößenfraktion 63 - 125  $\mu\text{m}$  (K.-% = Korn-%); Sand-, Silt- und Tonverteilung; Sedimentations- und Akkumulationsraten, gegen Kernteufe und -alter aufgetragen.



**Abb. 26:** Anteile von Amphibol (Am), Pyroxen (Px), Granat (Gr), Epidot (Ep), Glimmer (Gi) und opaken Mineralen (Op) am Schwermineralspektrum des Sedimentkerns PM 94 62-04 in der Korngrößenfraktion 63 - 125  $\mu\text{m}$  (K.-% = Korn-%); Sand-, Silt- und Tonverteilung; Sedimentations- und Akkumulationsraten, gegen Kerntiefe und -alter aufgetragen.

#### 4. Ergebnisse



**Abb. 27:** Anteile von Amphibol (Am), Pyroxen (Px), Granat (Gr), Epidot (Ep), Glimmer (Gl) und opaken Mineralen (Op) am Schwermineralspektrum des Sedimentkerns PM 94 99-02 in der Korngrößenfraktion 63 - 125  $\mu\text{m}$  (K.-% = Korn-%); Sand-, Silt- und Tonverteilung; Sedimentations- und Akkumulationsraten, gegen Kerntiefe und -alter aufgetragen.

## 5 DISKUSSION

### 5.1 Verteilungsmuster von Schwermineralen auf dem Schelf

Der bisher angedeutete Ost-West-Trend einer signifikanten Schwermineralverteilung in den rezenten Oberflächensedimenten der Laptewsee (LAPINA 1965, SILVERBERG 1972, LISITZIN 1972, 1978) soll mit neuen Schwermineraldaten überprüft und ggfs. korrigiert werden. Der Schwerpunkt liegt hierbei vor allem darauf, die Abgrenzung der unterschiedlichen Provinzen deutlicher hervorzuheben und die möglichen Ursachen für ihre Ausprägung und Entstehung zu hinterfragen. Dabei wurden die Aufbereitungsmethoden mit den heute üblichen sedimentpetrographischen Standardparametern in Einklang gebracht, um eine höhere Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und bessere Vergleiche mit ähnlichen Arbeiten auf diesem Gebiet zu ermöglichen als es bisher möglich war.

Die Zusammensetzung des Schwermineralanteils in den Oberflächensedimenten der Laptewsee ist von verschiedenen Faktoren geprägt. Im folgenden soll deshalb der Frage nachgegangen werden, inwieweit sie für diese Zusammensetzung von Bedeutung sein können.

#### 5.1.1 Bedeutung der rezenten Sedimentdynamik

Wie bereits von SILVERBERG (1972), HOLMES & CREAGER (1974), KASSENS & KARPIY (1994) und LINDEMANN (1994) beschrieben, ist für den gesamten Sedimenthaushalt zunächst der fluviatile Sedimenteintrag der in die Laptewsee entwässernden Flüsse Chatanga, Anabar, Olenjok, Lena, Omoloi und Jana von großer Bedeutung. Deren Anteile an Süßwasser und Suspension zeigt folgende Tabelle:

Fluß	Wasserdurchfluß (km <sup>3</sup> /a)	Sedimentdurchsatz (10 <sup>6</sup> t/a)
Chatanga	101	1,4
Anabar	13,2	0,4
Olenjok	32,5	1,0
<b>Lena</b>	<b>520</b>	<b>21</b>
Jana	30,7	3
<b>GESAMT</b>	<b>ca. 700</b>	<b>ca. 27</b>

**Tab. 2:** Süßwassereintrag und Sedimentdurchsatz der in die Laptewsee entwässernden Flüsse nach ALABYAN et al. (1995).

Diese Angaben basieren auf neuesten Messungen und Berechnungen von MARTIN et al. (1993) und ALABYAN et al. (1995). Nach Beobachtungen von DORONINA (1962) lagen die Werte für den Sedimentdurchsatz vor etwa 60 Jahren um bis zur Hälfte niedriger als heute. Unterschiedliche

Meß- und Berechnungsmethoden mögen hier für die Abweichungen in erster Linie ursächlich sein. Allerdings könnten auch das regelmäßige Freibaggern der Schifffahrtsrinne in der Lena (ZAITSEV & CHALOV 1989) und eine verstärkte Intensivierung des Bergbaus in Ostsibirien zu einer Zunahme des suspendierten Materials der in die Laptewsee entwässernden Flüsse geführt haben (ALEKSEEVSKIY & SIDORCHUK 1992). Dann wäre davon auszugehen, daß das natürliche Mineralinventar der Laptewsee durch den anthropogen beeinflussten Eintrag von klastischem Material in gewissem Maße mitgeprägt wird. Anhand von Schwermineralen ist dieser Einfluß wohl kaum nachzuvollziehen, da die Liefergebiete der Sedimente nach wie vor die gleichen sind.

Bei all diesen Angaben werden allerdings nur die in Suspension befindlichen Sedimente berücksichtigt; der Anteil an Roll- und Springfracht (Bodentransport) geht nicht in die Berechnungen mit ein. Nach ENGELHARDT (1973) spielt aber der Bodentransport im Fluß für Korngrößen unter etwa 0,2 mm unabhängig von der Transportkraft keine wesentliche Rolle mehr. Da die Oberflächensedimente der Laptewsee sich jedoch im allgemeinen durch ihre Feinkörnigkeit auszeichnen (SILVERBERG 1972, LINDEMANN 1994) kann davon ausgegangen werden, daß die fluviatil auf den Schelf eingebrachten Sedimente fast ausschließlich auf die Suspensionsfracht der Flüsse zurückzuführen sind. Eine weitgehende Unabhängigkeit der Korngrößenverteilung der Schwermineralfraktion von derjenigen des Gesamtsediments zeigt LUDWIG (1955) auf. Danach liegen die Schwermineralmaxima bevorzugt im Feinsandbereich, der mit dem Transport in Suspension noch vollständig erfaßt wird. Ein Abweichen von diesen Maxima zum feineren beim Epidot und zum gröbereren beim Granat ist auf deren bildungsbedingte Ausprägungen im Muttergestein zurückzuführen.

Auch charakterisieren diese Angaben zwar den Sedimentdurchsatz in den Flüssen selbst, sagen aber allein noch nichts darüber aus, welcher Anteil von der in den Flüssen transportierten Sedimentfracht auch wirklich bis auf den Schelf gelangt, um dort abgelagert zu werden, wie auch IVANOV & PISKUN (1995) betonen. Am Beispiel der Lena gelangen nach ALABYAN et al. (1995) nur ca. 10 bis 17 % der im Fluß gemessenen Suspensionsfracht letztendlich direkt auf den Schelf, der Rest wird zunächst im Delta abgelagert. In der Janamündung dagegen sollen zwar die im Fluß ermittelten Mengen an Sediment auch auf den Schelf gelangen, es findet aber ein Austausch von grobem zu feinem Material im Mündungsbereich statt, d. h. sandige Anteile kommen zur Ablagerung und siltige Sedimente werden erodiert und weiter auf den Schelf verfrachtet (ALABYAN et al. 1995).

Da die in die Laptewsee entwässernden Flüsse die meiste Zeit des Jahres zugefroren sind, beschränkt sich auch der fluviatile Sedimenteintrag überwiegend auf die Sommermonate von Juni bis Oktober (siehe Abb. 4).

Wesentlich komplexer und unübersichtlicher gestalten sich demnach auch Sedimenteintrags- und Umlagerungsprozesse, die durch Neueisbildung, Eistransport und Wiederabschmelzen von Eis sowie durch litorale

Transportmechanismen verursacht werden (OSTERKAMP & GOSINK 1984, ARE 1988, REARIC et al. 1990, KEMPEMA et al. 1986, 1989, 1993, REIMNITZ & BARNES 1974, REIMNITZ et al., 1978, 1986, 1987, 1988, 1990, 1992, 1993b, 1993c, 1995, DETHLEFF 1995a, EICKEN et al. 1995). Hier dürfte vor allem der Sedimenteintrag durch Küstenerosion eine wesentliche Rolle spielen. Nach ARE (1996) spricht vieles dafür, daß die hydromechanische Erosion von Feinsediment auf dem Schelf die Hauptursache für den kontinuierlichen Küstenabbau in der Arktis ist. Offensichtlich spielt hierbei die Bildung von „frazil-ice“ eine wichtige Rolle, da es das durch Herbststürme aufgewirbelte Sediment in Suspension hält. Hinzu kommen Thermoabrasion und -denudation. Diese für den Sedimenthaushalt der Laptewsee wichtigen Prozesse sind bisher nur wenig untersucht. Ansätze dazu finden sich bei GAKKEL (1958) und ZIGAREV & SOVERSHAEV (1984), die das Verschwinden von Inseln auf den sibirischen Schelfen auf solche Prozesse zurückführen. Auch KLUYEV (1965, 1970) geht davon aus, daß sandige Sedimente in der Laptewsee Erosions- und tonig-siltige Bereiche Sedimentationsgebiete kennzeichnen. Seine Annahmen werden durch die Beobachtungen von LINDEMANN (1994) und BENTHIEN (1994) untermauert.

Aufbauend auf diesen Beobachtungen unternahm ARE (in Vorb.) den Versuch, mit Hilfe aller bisher diesbezüglich veröffentlichten Daten, Berechnungen zum quantitativen Einfluß der Küstenerosion auf den Sedimenthaushalt durchzuführen und diese Vorgänge ansatzweise zu quantifizieren. Danach liegt der Sedimenteintrag durch Küstenerosion in etwa in der gleichen Größenordnung wie der des fluviatilen Sedimenteintrags. Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch SUZDALSKY (1974) bei seinen diesbezüglichen Untersuchungen im Weißen Meer und in der Kara- und Barentssee. Nach Abschätzungen von SHUYSKI (1983) soll sogar weltweit durch Küstenerosion in etwa genausoviel Sediment in die Ozeane gelangen wie durch fluviatilen Sedimenteintrag. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß Küstenerosion und fluviatiler Eintrag durch die Interaktion im Übergangsbereich von fluviatilen zu marinen Bedingungen in ihrer Bedeutung für den Sedimenthaushalt der Laptewsee insgesamt nur schwer eindeutig getrennt betrachtet werden können.

Äolischer Sedimenteintrag spielt für den Sedimenthaushalt in der Laptewsee und somit auch für die Schwermineralverteilung keine bedeutende Rolle (DARBY et al. 1974, LARSEN et al. 1987, PFIRMAN et al. 1990, WOLLENBURG 1993 und DETHLEFF 1995a).

### **5.1.2 Schwermineralverteilung: mögliche Ursachen, Bedeutung und Herkunft**

Obwohl die Schwermineralzusammensetzungen der bisher untersuchten Flußsedimente von Chatanga, Anabar, Olenjok, Lena, Omoloi und Jana sich in ihren Spektren recht deutlich unterscheiden (HERMEL 1995, PEREGOVIČH et al. in Vorb., HOOPS unveröff. Daten), zeigt sich auf dem Schelf

der Laptewsee ein anderes Bild. Wesentlich homogener gestaltet sich die Schwermineralzusammensetzung in den Oberflächensedimenten der Laptewsee insgesamt. Der Sedimenteintrag der in die östliche Laptewsee entwässernden Flüsse wird im wesentlichen durch den Sedimenteintrag der Lena, die mit über 80 % (LÉTOLLE et al. 1993) in die östliche Laptewsee entwässert, geprägt. Im Schwermineralspektrum herrschen hier mit Gehalten bis über 40 Korn-% eindeutig die Minerale der Amphibolgruppe vor. Während die Amphibolgehalte im Schwermineralspektrum der in die westliche Laptewsee entwässernden Flüsse Chatanga, Anabar und Olenjok unter 15 Korn-% liegen, und in Omoloi und Jana 10 Korn-% nicht überschreiten, wurden in den Sedimenten der Lena im Schwermineralanteil Werte bis 35 Korn-% gemessen (HOOPS unveröff. Daten). Die Herkunft der Amphibole ist auf die granitischen Verwitterungsprodukte im Einzugsgebiet von Aldan und Wiljui einerseits und auf die Abtragungsprodukte der mit Vulkaniten und Granitoiden vergesellschafteten Sedimentgesteine des Werchojansker Gebirges andererseits zurückzuführen (PARFENOV et al. 1993, DOLGINOW & KROPATSCHJOW 1994). Da die durchschnittlichen Amphibolgehalte in den Lenasedimenten allerdings wesentlich geringer sind (HERMEL 1995), sind neben dem fluviatilen Sedimenteintrag noch andere Prozesse für die hohen Amphibolanreicherungen in den marinen Oberflächensedimenten in Betracht zu ziehen. Wie bereits erwähnt, werden erhebliche Mengen der mit der Lena transportierten Sedimente bereits im Deltabereich, bedingt durch die Abnahme der Strömungsenergie, abgelagert (ALABYAN et al. 1995, RACHOLD et al. 1996). Dies könnte die vorliegenden Ergebnisse näher erklären. Nach HERMEL (1995) sind die Sedimente des Lena-Deltas im Vergleich zu den Flußsedimenten durch eine relative Anreicherung von Granat und opaken Mineralen gegenüber den Amphibolen gekennzeichnet. Daraus läßt sich schließen, daß die Minerale des Schwermineralspektrums, die eine höhere Dichte aufweisen, wozu vor allem auch Granat und opake Minerale zu zählen sind, bevorzugt im Delta abgelagert werden, wo die im Fluß selbst noch vorhandene Strömungsenergie stark abnimmt, während die relativ leichteren Amphibole mit den übrigen Anteilen des Gesamtsediments als Suspension weiter hinaus auf den Schelf transportiert werden. Daraus könnte die relative Anreicherung der Amphibole in den Schelfsedimenten resultieren.

Die nach SUSLOV (1961) ostwärts gerichteten Oberflächenströmungen der Laptewsee, die sich auch in tieferen Wasserschichten fortsetzen (HASS et al. 1995), verhindern überwiegend eine Beeinflussung der westlichen Laptewsee durch den Sedimenteintrag von Jana und Lena. Demgegenüber können sich die in die westliche Laptewsee durch Chatanga, Anabar und Olenjok eingetragenen Sedimente durch diese Strömungen durchaus bis in die zentrale und östliche Laptewsee gelangen, wie auch die rezente Tonmineralverteilung zeigt (ROSSAK 1995). In der südöstlichen Laptewsee wirkt dem östlichen Lenaausstrom die Strömung von Jana und Omoloi von Süden her entgegen. Die geringen Amphibolgehalte in der südöstlichen Laptewsee zeigen, daß diese Strömung durchaus noch stark genug ist, um große Mengen von Suspensionsfracht weiter auf den Schelf zu trans-



portieren und die von der Lena eingetragene Suspensionsfracht nach Norden hin abzudrängen (siehe Abb. 17).

Die höchsten Pyroxengehalte in den Schwermineralspektren der Oberflächensedimente sind in der westlichen Laptewsee, vor allem im Bereich der Chatangarinne zu beobachten (siehe Abb. 18). Während die Pyroxenkonzentrationen im Schwermineralanteil der Lenasedimente bei etwa 10 - 15 Korn-% und in den Janasedimenten unter 6 Korn-% liegen (HERMEL 1995, BEHRENDIS et al. 1998, PEREGOVICH et al. in Vorb., HOOPS unveröff. Daten), erreichen sie im Anabar etwa 25 Korn-% und in Olenjok und Chatanga sogar über 40 Korn-%. Folglich liegen die Pyroxenwerte in der zentralen und östlichen Laptewsee wesentlich niedriger als im westlichen Teil, wo sie in den Schelfoberflächensedimenten bis zu 50 Korn-% des Schwermineralanteils ausmachen. Die Pyroxene, die von Anabar, Olenjok und vor allem Chatanga in die Laptewsee geliefert werden, lassen sich auf die Verwitterung und Erosion von Basaltvorkommen nordöstlich des Anabarschildes sowie auf die Plateaubasalte und Tuffe des Putoranaplateaus (siehe Abb. 6 und 7) zurückführen (NALIVKIN et al. 1965, COFFIN 1992). Diese Region wird auch vom in die östliche Karasee mündenden Jenisej u. a. über den Tunguska entwässert, wo ebenfalls hohe Pyroxengehalte vorzufinden sind (LEVITAN et al. 1996).

Der Einfluß dieser Flutbasalte äußert sich nicht nur in der Schwermineralzusammensetzung der Chatangasedimente, sondern auch in den tonmineralogischen und chemischen Charakteristika der Suspensionsfracht. Dies zeigen die hohen Smektitgehalte im Tonanteil der Sedimentoberflächenproben im westlichen Teil der Laptewsee, deren Ursprung auf die Verwitterungsprodukte der Tunguska Flutbasalte zurückzuführen ist (ROSSAK 1995) ebenso, wie Analysen von Sr-Isotopen und Elementen der Seltenen Erden in der Schwebfracht der Chatanga (RACHOLD et al. 1997). Weiterhin ist nicht auszuschließen, daß auch aus der Karasee über die Straße von Wilkizkii Sedimenteintrag in die Laptewsee stattfindet, wie die Ergebnisse von Tonmineraluntersuchungen bestätigen (WAHSNER 1995).

Minerale der Epidotgruppe zeigen in allen Oberflächensedimentproben auf dem Schelf etwa die gleichen Konzentrationen, mit nur gering höheren durchschnittlichen Gehalten in der östlichen Laptewsee, was aber für eine Gliederung in Epidotprovinzen, wie sie von LAPINA (1965) vorgenommen wurde, nicht ausreicht. Die höheren Epidotgehalte bei LAPINA (1965) sind auf eine scheinbare Anreicherung in dem von ihr gewählten Korngrößenbereich von 50 bis 100 µm zurückzuführen. Wie bereits erwähnt, treten die Minerale der Epidotgruppe bildungsbedingt bevorzugt in kleineren Korngrößen auf, da sie bereits bei der Bildung im Muttergestein dazu neigen, vorwiegend feinkörnig auszukristallisieren, oder bei ihrer Entstehung durch Mineralumbildung oft als Aggregate erscheinen, die dann durch mechanische Verwitterung und Beanspruchung beim Transport zu kleineren Körnern zerfallen und deshalb auch eher am feineren Ende der jeweiligen Kornklasse anzutreffen sind. Als verbreiteter Gemengteil in vielen metamorphen Gesteinen, in basischen Magmatiten und in klastischen Sedi-

mentgesteinen (MANGE & MAURER 1991) steht Epidot im sibirischen Hinterland praktisch fast überall zur Verfügung (siehe auch Abb. 7). Daraus resultiert die relativ gleichmäßige Epidotverteilung in den Schelfsedimenten. U. a. bestätigt diese recht gleichmäßige Epidotverteilung auf dem Schelf, daß die hohen Pyroxengehalte in der westlichen Laptewsee eine Abnahme der Amphibolgehalte bedingen und diese nicht einfach nur überlagern.

Die Verteilungsmuster von Granat und opaken Mineralen in den Oberflächensedimenten in der Laptewsee lassen gewisse Ähnlichkeiten erwarten, die wahrscheinlich auf die vergleichbar höheren Dichten zurückzuführen sind. Die höchsten Gehalte dieser Minerale sind überwiegend in den Küstenzonen und im Bereich der Flußmündungen zu beobachten. Insgesamt ist eine gute Korrelation in allen Oberflächensedimenten jedoch nicht zu erkennen. Während in Anabar und Lena sowohl Granat als auch opake Minerale in hohen Konzentrationen auftreten, lassen sich in Jana und Omoloi bei sehr hohen Anteilen an opaken Mineralen mit bis zu 80 Korn-% nur geringe Granatanteile beobachten (PEREGOVICH et al. in Vorb.). In allen Flüssen sind Gehalte an opaken Mineralen jedoch wesentlich höher als in den Schelfsedimenten. Die hohe Dichte ist vermutlich der Grund für eine bevorzugte Ablagerung in den Flußmündungsbereichen. Hier nimmt die Transportenergie der Flüsse rapide ab. Während relativ leichtere Minerale noch in Suspension bleiben und somit weiter auf den Schelf verfrachtet werden können, kommen die relativ schwereren Granate und opake Minerale hier bevorzugt zur Ablagerung. Aufgrund ihrer Bildungsbedingungen im Muttergestein und ihrer hohen Stabilität gegenüber mechanischer Verwitterung treten Granate bevorzugt im gröberen Ende des jeweiligen Korngrößenspektrums auf. Einmal abgelagert, sind sie nur mit größerem Aufwand wieder in Suspension zu bringen als die übrigen Sedimentkomponenten (HJULSTRØM 1935, FÜCHTBAUER & MÜLLER 1977). Dies würde auch das Auftreten höherer Granatgehalte auf dem Schelf in Sedimenten mit höheren Sandanteilen erklären. Bei der Resuspendierung dieser Sedimente durch Wellenbewegungen, Stürme oder Konvektion wird bevorzugt der feinkörnige Anteil der Sedimente mobilisiert. Die Granatanreicherungen in der westlichen Laptewsee sind sehr wahrscheinlich auf die archaischen und zum Teil metamorph überprägten Gesteinsserien (CHURKIN et al. 1981) des Anabarschildes zurückzuführen, während die Granate in der Lena in erster Linie von den metamorphen Gesteinen des Aldanschildes herkommen könnten (HERMEL 1995).

Minerale der Glimmergruppe verhalten sich aufgrund ihres Habitus hydraulischen Effekten gegenüber anders als die körnigen Komponenten des Sediments in der jeweils gleichen Korngröße (DOYLE et al. 1983). Trotz der höheren Dichte entspricht das hydraulische Äquivalent dem von Quarzkörnern mit kleinerem Durchmesser (MORTON 1985a). Da sie jedoch als Teil des Gesamtsediments zu betrachten sind, können sie auch nur mit diesem zusammen erodiert, umgelagert und sedimentiert werden. Zum einen reagieren sie eher auf plötzliche Änderungen der Transportbedingungen im Übergang von marinem zu fluviatilem Milieu, zum anderen werden

sie - einmal in Suspension - wesentlich weiter transportiert, ehe sie abgelagert werden, und sind sie bereits sedimentiert, bedarf es wesentlich höherer Strömungsenergie, um sie wieder in Suspension zu bringen. Bedingt durch kohäsive Kräfte können sie daher, im Gegensatz zu ihrem hydraulischen Verhalten, welches eher dem von feinsiltigen und tonigen Sedimenten entspricht, häufig in sandigen Sedimenten gleichen Korndurchmessers vorkommen. Dies ist eine mögliche Erklärung für die mit bloßem Auge persönlich beobachteten hohen Glimmeranteilen in den sandigen Sedimenten des Lena-Deltas direkt an der Wasserlinie während der TRANSDRIFT-III-Expedition sowie in Uferbereichen von Flüssen bei der Expedition JANA 95 (HOOPS pers. Mitt.). Im übrigen ist zu beachten, daß die im Schwermineralspektrum ermittelten Glimmerwerte nicht unbedingt den tatsächlichen Gehalten entsprechen, da aufgrund der Dichte, die von 2,6 bis 3,3 g/cm<sup>3</sup> reichen kann, nicht alle Glimmerminerale im Schwermineralspektrum erfaßt werden. Unter Berücksichtigung all dieser Aspekte ist die Verteilung der Minerale der Glimmergruppe in den Oberflächensedimenten der Laptewsee zu betrachten. Auch hier sind die erhöhten Glimmeranteile in der östlichen Laptewsee in erster Linie auf die Sedimentfracht der Flüsse Lena, Omoloi und vor allem der Jana (HOOPS unveröff. Daten) zurückzuführen. In den metamorphen und magmatischen Gesteinen der Werchojansker-Tschukotscher-Region und besonders des von der Jana entwässerten Tschersker-Gebirges sind sie reichlich vorhanden (DOLGINOW & KROPATSCHJOW 1994). Die westliche Laptewsee ist nahezu glimmerfrei, wie auch die Flußsedimente von Chatanga, Jana und Olenjok. Daher kommen für die an der östlichen Taimyrküste festgestellten Glimmeranreicherungen in erster Linie die metamorph überprägten Gesteinsserien des Byrranga-Gebirges als mögliches Liefergebiet in Betracht. Diese Ergebnisse stimmen sehr gut mit der von ROSSAK (1995) beschriebenen Hellglimmerverteilung in der Grobfraction der Oberflächensedimente der Laptewsee überein.

### **5.1.3 Auswirkung der Gesteinsverwitterung auf die Schwerminerale**

Inwieweit das Schwermineralspektrum dem der im Hinterland erodierten Gesteine und Gesteinskomplexe entspricht, hängt neben transportbedingten Sortierungsprozessen auch entscheidend von verwitterungsbedingten Erscheinungen ab (MACKIE 1923, WEYL 1952, VAN ANDEL 1959, HUBERT 1971, MORTON 1985a). Während die mechanische Verwitterung im wesentlichen dazu beiträgt die Ausgangsgesteine in ihre mineralogischen Einzelkomponenten zu zerlegen und dabei das einzelne Mineralkorn in seiner chemischen Zusammensetzung nicht verändert, verursacht die chemische Verwitterung vor allem eine Auflösung oder z. T. auch eine Umwandlung der Minerale. Arbeiten über Beständigkeit- und Stabilitätsreihen von Schwermineralen sind u. a. bei PETTIJOHN et al. (1973), LUEPKE (1984) und MORTON (1985a) zusammengestellt und ausführlich diskutiert. Danach sind die in dieser Arbeit am häufigsten vorkommenden Schwerminerale Amphibol und Pyroxen als instabil, Epidot als mäßig stabil und Gra-

nat als mäßig stabil bis stabil einzustufen. Daß die als extrem stabil geltenden Minerale Zirkon, Turmalin und Rutil, wegen ihrer hohen Stabilität, auch von HUBERT (1962) zum ZTR-Index zusammengefaßt, um die mineralogische Reife von Schwermineralvergesellschaftungen zu quantifizieren, im Untersuchungsgebiet nur untergeordnet auftreten, zeigt demnach, daß die chemische Gesteinsverwitterung, derzufolge sich stabile Minerale in Sedimenten anreichern, in arktischen Breiten nur geringe Bedeutung haben kann; bedeutend genug aber noch, um den sehr instabilen Olivin, der in den untersuchten Sedimenten kaum mehr nachzuweisen ist, aufgrund der Mineralogie aber in den erodierten Gesteinen im sibirischen Hinterland durchaus in ausreichenden Mengen vorhanden ist (NALIVKIN et al. 1965, VINOGRADOV et al. 1973), aufzulösen. Eine Ausnahme bilden hier die Karbonate, deren Löslichkeit sich sowohl mit zunehmendem  $\text{CO}_2$ -Partialdruck und sinkender Temperatur (ELLIS 1959, 1963) als auch linear mit dem Salzgehalt im Wasser erhöht (CORRENS 1939). Dies könnte den geringen Anteil von Karbonaten in den Schelfsedimenten der Laptewsee erklären, denn im Deckgebirge der Mittelsibirischen Tafel und in der Werchojansker-Tschukotscher-Region im sibirischen Hinterland stehen genügend karbonatische Gesteinsserien an (siehe Kap. 1.4). Dies würde auch nicht den relativ hohen Karbonatgehalten in den Schwermineralspektren der amerasischen Schelfsedimente, wie von DARBY & BISCHOF (1996), VOGT (1997) und BEHRENDTS et al. (1998) beschrieben, widersprechen, da hier die erodierten Karbonate aufgrund der geographischen Lage ihrer Liefergebiete (BISCHOF & DARBY 1997) wesentlich kürzere Transportwege bis zur Ablagerung auf den Schelfen zurücklegen mußten.

Der Einfluß der mechanischen Verwitterung dagegen ist allein schon durch die extremen Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter, die von  $-50$  bis  $+35$  °C im jakutischen Flußeinzugsgebiet liegen können, offensichtlich. Dafür sprechen auch die bei den untersuchten Schwermineralen am häufigsten beobachteten angularen bis subangularen Kornformen, welche sich auch in den von ROSSAK (1995) untersuchten Komponenten im Feinsandanteil der Grobfraction finden. Da die Körner beim Transport in Suspension keine weitere mechanische Beanspruchung erfahren, bleiben die angularen Merkmale, die den ursprünglichen Kornformen im Gesteinsverband entsprechen, bis zur Sedimentation auf dem Schelf weitestgehend erhalten. Die von ROSSAK (1995) beschriebenen, zum Teil wesentlich höheren Rundungsgrade der Quarze im mittleren Spektrum der Grobfraction könnten zum einem auf mechanische Abnutzung durch fluviatilen Bodentransport und zum andern auf deren Ursprung aus wiederaufgearbeiteten klastischen Sedimentgesteinen, die recht arm an weniger stabilen Schwermineralen sind, hinweisen. Hierfür sprächen auch die besseren Rundungsgrade der extrem stabilen Zirkone, die im Gegensatz zu den meisten anderen Schwermineralen durchaus mehrere Wiederaufarbeitungszyklen dieser Sandsteine überstanden haben können. Allenfalls die recht dünnplättigen Glimmerkörner könnten durch mechanische Beanspruchung während des Transports durch andere Mineralkörner zerkleinert werden, was die relativ geringen Glimmergehalte in

den Oberflächensedimenten im Vergleich zu den höheren Gehalten in den Flüssen (HOOPS unveröff. Daten) erklären könnte.

---

Zusammenfassend kann die Laptewsee nach dem von EDELMANN (1933) eingeführten und auch bis heute noch gebräuchlichen Konzept der „Sedimentpetrologischen Provinz“ (VAN ANDEL 1950, FÜCHTBAUER 1964, FRIEDMAN & SANDERS 1978, DARBY 1982, MORTON 1985b, STATTEGGER 1982, 1987) folgendermaßen untergliedert werden (Abb. 28):

1. In der westlichen Laptewsee sind die Oberflächensedimente durch die Vorherrschaft von Pyroxen im Schwermineralspektrum gekennzeichnet. Die küstennahen Ablagerungen zeigen vergleichsweise höhere Granatanteile:

„Chatanga-Provinz“

2. In der zentralen und östlichen Laptewsee dominieren eindeutig die Amphibole, während die Gehalte der durch Meeresströmung verfrachteten Pyroxene nach Osten hin kontinuierlich abnehmen:

„Lena-Provinz“

3. In der südöstlichen Laptewsee sind die Oberflächensedimente arm an Amphibol und Pyroxen, gleichzeitig sind Glimmer, Gesteinsbruchstücke und vor allem opake Minerale angereichert:

„Jana-Provinz“

## 5. Diskussion

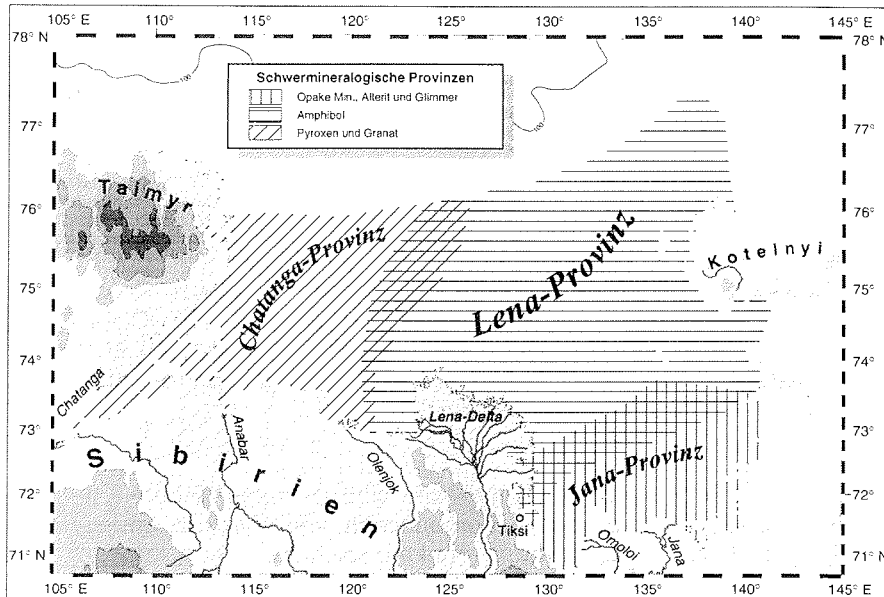


Abb. 28: Schwerminerologische Provinzen in der Laptewsee.

Die sedimentpetrologischen Ausprägungen dieser Provinzen sind in erster Linie auf den unterschiedlichen Einfluß der in die Laptewsee entwässernden Flüsse Chatanga, Anabar und Olenjok im Westen, Lena im Norden und Nordosten und Omoloi und Jana im Südosten zurückzuführen. Diese Unterteilung zeigt eine hervorragende Übereinstimmung mit der anhand von Tonmineralverteilung (ROSSAK 1995) eingegrenzten Sedimentationsprovinzen, den aufgrund von Korngrößenverteilungen charakterisierten Sedimentationsräumen nach LINDEMANN (1994) und mit den auf seismischen Messungen beruhenden Echotypen nach BENTHIEN (1994). Die Küstenerosion leistet zwar einen wesentlichen Beitrag zum gesamten Sedimenthaushalt in der Laptewsee, für die Verteilung der Schwerminerale ist sie aber nur von untergeordneter Bedeutung. Die Gesteinsverwitterung spielt hingegen bei der Erosion im Hinterland eine wichtige Rolle, die Schwerminerale selbst werden dadurch aber kaum beeinflusst.

Nach bisher vorliegenden Schwermineraldaten von der Ostsibirischen See (NAUGLER et al. 1974), von der Tschuktschensee (LUEPKE & ESCOWITZ 1989), von der Beringsee (KNEBEL & CREAGER 1974) und von der Beaufortsee (BEHRENDTS et al. 1998, LUEPKE unveröff. Daten) zeigen sich zwar im Gehalt von Pyroxen und Amphibol Ähnlichkeiten zu den Schwermineralverteilungen in den Oberflächensedimenten der Laptewsee; deutliche Unterschiede, die eine klare Abgrenzung in verschiedene mineralogische Provinzen zulassen, sind jedoch bei den Gehalten verschiedener anderer Schwerminerale zu erkennen. Der Anteil der Minerale

der Epidotgruppe - in der Laptewsee mit 10 - 15 Korn-% im Schwermineralspektrum vertreten - liegt in der Tschuktschensee unter 10 Korn-% und in der Beaufortsee sogar unter 2 Korn-%. Die Karbonatwerte erreichen bis 20 Korn-% und mehr in den Schwermineralanteilen der Beaufortsee; in der Tschuktschensee und der Laptewsee sind sie nur vereinzelt in Spuren zu finden. Schließlich liegt der opake Anteil im Schwermineralspektrum der Oberflächensedimente in der Tschuktschensee und in der Ostsibirischen See bei über 20 Korn-%, in der Laptewsee dagegen nur bei durchschnittlich ca. 10 Korn-%. Somit lassen sich die Sedimente der Laptewsee anhand ihrer Schwermineralzusammensetzung recht gut von Sedimenten in den umliegenden Schelfmeeren des Arktischen Ozeans unterscheiden.

### 5.2 Selektion von Schwermineralen beim Sedimenteintrag ins Meereis?

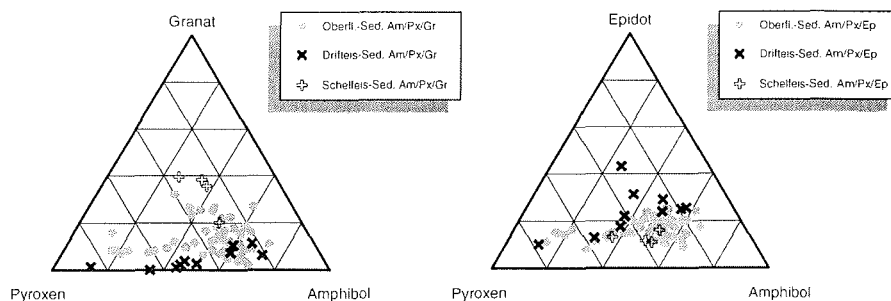
„Schmutziges Meereis“ kann beträchtliche Mengen von Sedimenteinschlüssen enthalten (REIMNITZ & KEMPEMA 1987, REIMNITZ et al. 1993a, WOLLENBURG 1993, NÜRNBERG et al. 1994, KASSENS et al. 1994, DETHLEFF 1995a, EICKEN et al. 1995). Will man die Entstehungsgebiete dieses Eises lokalisieren und seine Transportwege mittels dieser Sedimente rekonstruieren, so ist es wichtig, die Eintragsmechanismen, die zum Einbau in das Eis führen, zu verstehen, um mögliche Sortierungsprozesse, die das Herkunftssignal verfälschen könnten, bei der Identifizierung der Liefergebiete berücksichtigen zu können. Im folgenden soll diskutiert werden, inwieweit Schwerminerale, die als mögliche Signalträger für die Entschlüsselung der Dynamik des arktischen Eises dienen können (BEHRENDTS et al. 1998), diesen Prozessen unterliegen.

Von den Meereisproben, die für diese Arbeit zur Verfügung standen, enthielten nur wenige genügend Sedimenteinschlüsse, um eine Schwermineralanalyse überhaupt erst durchführen zu können. Dennoch soll der Versuch unternommen werden, anhand dieser wenigen Proben die Zusammensetzung des Schwermineralanteils in den Meereissedimenten im Kontext zu interpretieren. Aufgrund der geringen Probenmenge sind auch hier die ermittelten Gewichtsanteile der Schwerminerale am Gesamtsediment von 5 - 10 Gew.-% in der untersuchten Kornklasse sicher mit Fehlern behaftet, tendenziell liegen sie aber dennoch etwas niedriger als die Gewichtsanteile der Schwerminerale in den Oberflächensedimenten, was bereits auf eine mögliche Sortierung hindeuten könnte. Die Amphibol- und Pyroxenanteile, die auch hier die Hauptkomponenten im Schwermineralspektrum bilden, zeigen eine recht gute Übereinstimmung mit ihren Gehalten in den Oberflächensedimenten. Selbst der in den Oberflächensedimenten eindeutig erkennbare West-Ost-Trend ihres Verteilungsmusters zeichnet sich andeutungsweise nach (siehe auch BEHRENDTS et al. 1995). Etwas anders verhält es sich bei den Anteilen von Granat, Epidot und von den opaken Mineralen (siehe Abb. 23). Während sie in den Eisproben an der Lena- und Janamündung die in den Oberflächenproben ermittelten

Gehalte recht gut widerspiegeln, weichen ihre Werte in den am Schelfrand (etwa 77° bis 79° nördliche Breite) entnommenen Meereisproben von ihren Werten in den Oberflächensedimenten der Laptewsee doch recht deutlich ab (siehe auch Abb. 19, 20 und 21). Da dieses Eis jedoch mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit in der Laptewsee gebildet wurde (WOLLENBURG 1993, EICKEN et al. 1995, KASSENS & DMITRENKO 1995, PFIRMAN et al. 1997, BEHRENDIS et al. 1998) drängt sich die Frage auf, welche möglichen Ursachen für diese Sortierungen in Frage kommen könnten.

Betrachten wir zunächst die möglichen Sedimenteintragsmechanismen. Hier scheinen die Sedimenteintragsmechanismen während der initialen Eisbildungsphase aus der Suspension in der Wassersäule („frazil-ice“) und die Grundeisbildung („anchor-ice“) von besonderer Bedeutung zu sein. Einzelheiten hierzu finden sich bei CLARK & HANSON (1983), KEMPEMA et al. (1989), BARNES et al. (1988), REIMNITZ et al. (1992), KEMPEMA et al. (1993), WOLLENBURG (1993), NÜRNBERG et al. (1994), DETHLEFF (1995a) und LINDEMANN (in Vorb.).

Für den Sedimenteintrag bei der Eisbildung durch „frazil-ice“ sind alle in Suspension befindlichen Sedimentpartikel verfügbar. Für den Einbau von Sedimenten bei der Bildung von „anchor-ice“ stehen in erster Linie die Schelfoberflächensedimente zur Verfügung. Das hierin schon vorhandenen Schwermineeralinventar sollte sich folglich auch im Eis wiederfinden, was durch die Schwermineeralzusammensetzung in den Meereissedimentproben im Küstenbereich auch als bestätigt angesehen werden kann (Abb. 29).



**Abb. 29:** Verhältnis der Schwermineeralanteile Amphibol (Am), Pyroxen (Px) und Granat (Gr) bzw. Epidot (Ep) zueinander in Meereis aus dem Küstenbereich, Driteis und Schelfoberflächensedimenten.

Da sich feinkörnige und relativ leichtere Sedimentpartikel allein schon gravitationsbedingt länger in Suspension halten können als die grobkörnigeren und schwereren Komponenten, scheint beim Sedimenteintrag durch die Bildung von „frazil-ice“ hier bereits eine Sortierung stattzufinden.

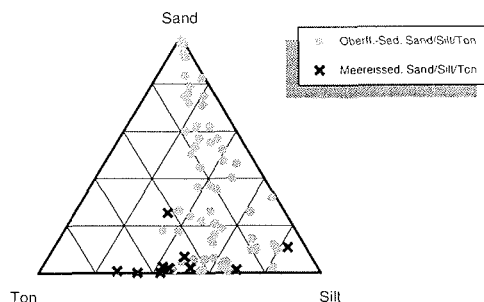
Die beim Flußaufbruch im Frühjahr auf das Eis eingeschwemmten Sedimente werden vermutlich größtenteils durch das darauffolgende Abschmel-



zen im Sommer nur bis auf den Schelf verfrachtet (REIMNITZ & BRUDER 1972, BARNES & REIMNITZ 1974). Es ist aber nicht auszuschließen, daß vereinzelte sedimentbeladene Eisschollen sowie Reste von Festeismassen, die im Sommer nicht vollständig abgeschmolzen sind, die Drifteisgrenze erreichen und in das Drifteis eingebaut werden. Hierbei könnten beim teilweisen Abschmelzen gravitationsbedingt vermehrt relativ grobkörnigere und schwerere Partikel freigesetzt werden, was zu einer Anreicherung von feinkörnigeren Komponenten in den verbleibenden Meereissedimenten führen würde. Allerdings könnten auch vereinzelt „Nester“ mit Sedimentanteilen, die schon vorher Sortierungsprozessen unterlagen, wie z. B. Seifenbildung im Küstenbereich (eigene Beobachtungen im Lena-Delta, TRANSDRIFT III), in das Eis eingebaut werden. Deshalb kann hier nur eine sehr hohe Probandichte zu eindeutigen und verlässlichen Aussagen führen.

Die Bedeutung der Polynja für die Eisbildung in der Laptewsee, wie sie bei DETHLEFF et al. (1993), NÜRNBERG et al. (1994), DETHLEFF (1995b) diskutiert wird, konnte durch neuere Beobachtungen (DMITRENKO et al. 1998) bisher in dieser Form noch nicht bestätigt werden. Danach spielt sie vermutlich auch beim Sedimenteintrag ins Eis eher nur eine untergeordnete Rolle.

Ansätze über mögliche Sortierungsprozesse beim Sedimenteintrag ins Eis zeigen REIMNITZ et al. (in Vorb.) anhand von Vergleichen sedimentologischer und lithologischer Parameter von Schelf- und Meereissedimenten in der Beaufortsee. Weitere Einzelheiten über den Sedimenteintrag in das Meereis werden von LINDEMANN (in Vorb.) diskutiert. Danach kommt dem Sedimenteintrag bei der Bildung von „frazil-ice“ die größte Bedeutung zu. Hierbei werden bevorzugt siltige tonige Sedimente ins Eis eingebaut, die gegenüber den Sedimenten im „anchor-ice“ eine gute Sortierung zeigen (REIMNITZ et al. in Vorb.).



**Abb. 30:** Verhältnis der Korngrößen (Sand, Silt und Ton) zueinander in Meereissedimenten (DETHLEFF 1995a, McCORMICK unveröff. Daten) und Schelfoberflächensedimenten (LINDEMANN 1994, ANTONOW & MOSLER unveröff. Daten) aus der Laptewsee.

Tatsächlich setzen sich auch die Sedimente im Meereis überwiegend aus tonigen Silten zusammen (Abb. 30), wie auch schon WOLLENBURG

(1993), LETZIG (1993), NÜRNBERG et al. (1994) und DETHLEFF (1995a) zeigten, was eine mögliche Sortierung beim Sedimenteintrag auch bestätigen würde. Dies kann dann auch zu einer scheinbaren Anreicherung von Epidot auf Grund der bevorzugten Feinkörnigkeit im Schwermineralspektrum der Meereissedimente führen. Auch die Abnahme von opaken Mineralen und Granat läßt sich durch deren bevorzugte Freisetzung sowohl aus der Suspension als auch aus dem Eis aufgrund seiner höheren Dichte und beim Granat zusätzlich durch sein bildungsbedingt bevorzugtes Erscheinen im grobkörnigeren Bereich der untersuchten Kornklasse erklären.

---

An der einzelnen Probe ist die Art des Sedimenteintrags in das Eis allein anhand von Schwermineralanalysen nicht festzustellen. Trotz der Schwierigkeit aufgrund des geringen Probensatzes statistisch abgesicherte Aussagen zu treffen, zeichnet sich aber in den hier untersuchten Meereissedimenten eine Sortierung von Schwermineralen beim Eintrag ins Eis ab. Während das Schwermineralspektrum der Sedimente im küstennahen Eis mit dem der Schelfoberflächensedimente noch übereinstimmt, zeichnet sich das Drifteis aus dem gleichen Herkunftsgebiet durch die etwas geringeren Gewichtsanteile der Schwerminerale in den Drifteissedimenten ebenso, wie durch die Anreicherung der von Natur aus feinkörnigeren Epidotkörner sowie die Abnahme der Gehalte des relativ schwereren Granats und der opaken Minerale aus. Bei genügend hoher Probendichte läßt sich somit bei Übereinstimmung wesentlicher schwermineralogischer Merkmale auch Festeis von Drifteis aus dem gleichen Entstehungsgebiet unterscheiden.

### 5.3 Klimatisch bedingt wechselnde Sedimentdynamik im Holozän

BAUCH et al. (in Vorb.) und KUNZ-PIRRUNG (1997) diskutieren anhand von Sedimentakkumulation, TOC-Gehalten und Palynomorphen in Sedimentkernen aus der Laptewsee Meeresspiegelschwankungen und klimatische Veränderungen während des Holozäns. Im Kontext hierzu soll im folgenden mittels dieser und zweier weiterer Sedimentkerne aus der Laptewsee anhand der Auswertung von schwermineralogischen und sedimentpetrographischen Daten die holozäne Sedimentationsgeschichte der Laptewsee nachgezeichnet werden.

Die milieubedingten Veränderungen in den in dieser Arbeit untersuchten Sedimentkernen aus der Laptewsee sind unter Berücksichtigung von Veränderungen des Süßwasser- und Sedimenteintrags der in die Laptewsee entwässernden Flüssen einerseits und dem durch Abschmelzen der Eisschilde verursachten Meeresspiegelanstieg (FAIRBANKS 1989) andererseits zu betrachten. Aufgrund der Morphologie der Laptewsee war der gesamte Schelf während des letzten Glazials bei einem weltweiten Meeres-

spiegeltiefststand von etwa 150 m unter dem heutigen Niveau (FAIRBANKS 1989) trockengelegen. Anzeichen dafür, daß diese Flüsse zumindest teilweise während dieser Zeit aktiv waren, sind in den beachtlichen Sedimentablagerungen am Kontinentalhang (NØRGAARD et al. in Vorb., SPIELHAGEN 1997, pers. Mitt., BEHRENDIS in Vorb.) zu sehen und in den submarinen Rinnen auf den Schelf selbst, die eine Fortsetzung der heutigen Flußrinnen nach Norden hin andeuten (HOLMES & CREAGER 1974, LINDEMANN 1994, BENTHIEN 1994). Als Folge der geringen Wassertiefen begann die postglaziale Sedimentation auf dem Schelf der Laptewsee mit fluviatilen Sedimenten vor etwa 11.000 Jahren (Abb. 32) (BAUCH et al. in Vorb.).

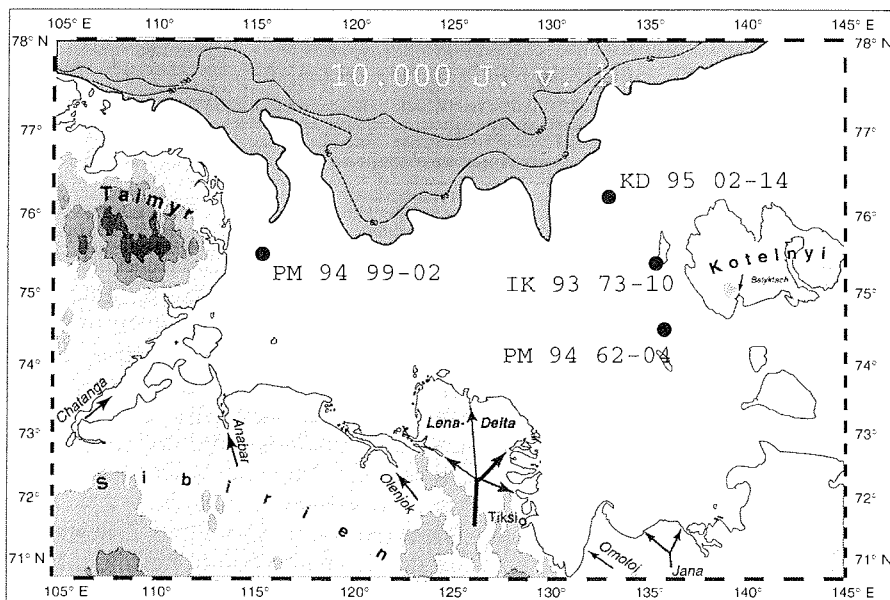


Abb. 31: Rekonstruierte Küstenlinien im Holozän (nach der Meeresspiegelanstiegskurve von FAIRBANKS 1989).

### 5.3.1 Westliche Laptewsee

In Übereinstimmung mit dem fluviatilen Charakter ist die Schwermineralzusammensetzung in Abschnitt 1 (> 10.200 J. v. h.) im Sedimentkern PM 94 99-02 der der Chatanga sehr ähnlich, mit Ausnahme der hohen Glimmeranteile. Da Glimmer in den Chatangasedimenten fast vollständig fehlt (HOOPS unveröff. Daten), müssen andere Herkunftsgebiete angenommen werden. Signifikante Glimmergehalte können in den Gneisen und kristallinen Schiefen des Byrranga-Gebirges enthalten sein (CHAIN & KORONOVSKIJ 1995). Es hat sich gezeigt, daß die Sedimente in den Seen auf

der Taimyrhalbinsel durch Material, welches beim Abschmelzen von Gletschern oder Eiskappen im Byrranga-Gebirge angeliefert wurde, gekennzeichnet sind (HARWART et al. 1998). Weitere Hinweise auf eine Erwärmung des Landklimas und auf zunehmende Niederschläge in dieser Zeit zeigen die Ergebnisse von Pollenuntersuchungen an diesen Seesedimenten (HAHNE & MELLES 1997). Daher könnten die hohen Glimmergehalte in diesem Kernabschnitt, die mit hohen Akkumulationsraten und hohen Sandgehalten einhergehen, auf das aus dem Byrranga-Gebirge eingetragene Material zurückzuführen sein.

Fluviatile Bedingungen herrschen auch noch in Abschnitt 2 (10.200 - 9.800 J. v. h.) vor (siehe Abb. 27 und 31). Das Verschwinden von Glimmer, der Rückgang der Akkumulationsraten und die Abnahme im Sandgehalt zeigen an, daß der Schmelzwassereintrag hier schon stark zurückgegangen ist. Vielleicht könnte dies eine Abkühlungsphase in der Jüngeren Dryas andeuten, die sich nach Untersuchungen von HAHNE & MELLES (1997) und KIENEL (1998) in den Seesedimenten nachzeichnet. In diesem Kernabschnitt wurden allerdings auch „age-reversals“ beobachtet (BAUCH et al. in Vorb.), die einen Zusammenhang mit dieser Abkühlungsphase nicht zweifellos bedingen.

Der Beginn von Abschnitt 3 (9.800 - 8.200 J. v. h.) ist durch erstmaliges Auftreten von marinen Organismen gekennzeichnet (BAUCH et al. in Vorb., KUNZ-PIRRUNG 1997). Die Schwermineralzusammensetzung entspricht der des rezenten Chatanga-Ästuars. Die Anreicherung von Granat und das erstmalige Erscheinen von opaken Mineralen zeigen an, daß sich in dieser Zeit eine Verbindung zum Anabarschild über den Anabar und/oder den in die Chatanga entwässernden Popigay herstellen läßt. Wie zuvor schon gezeigt, enthält das Schwermineralspektrum der Sedimente der Chatangas nur sehr geringe Granatanteile. Verglichen mit Abschnitt 2 ist eine leichte Zunahme von Sand, Ton und Glimmer zu erkennen (siehe Abb. 27). Sehr wahrscheinlich kennzeichnet dieser Abschnitt den präborealen Zeitraum, in dem sich das klimatische Optimum auf der Taimyrhalbinsel herausgebildet hat (HAHNE & MELLES 1997, KIENEL 1998).

Abschnitt 4 (8.200 - 6.000 J. v. h.) ist gekennzeichnet durch sehr niedrige Akkumulationsraten und offensichtliche Unterschiede in der Schwermineralzusammensetzung. Im Schwermineralspektrum dominieren die Pyroxene. Wie bereits im Kap. 5.1 über die rezente Schwermineralanteile in den Oberflächensedimenten angeführt wurde, hängt die Schwermineralverteilung nicht nur von der Lithologie der Ursprungsgebiete ab, sondern auch von hydrodynamischen Prozessen. Aus diesem Grund werden Granat und opake Minerale bevorzugt im Mündungsbereich der Flüsse abgelagert. Der starke Rückgang der Akkumulationsraten und die Abnahme von Granat legen nahe, daß die Transgression im wesentlichen während 8.200 und ca. 6.000 J. v. H. stattfand. Während dieser Zeit verlagerte sich das Sedimentationszentrum der Chatanga nach Süden. Für die in dieser Zeit herrschenden brackigen Bedingungen sprechen auch die hohen Anteile von framboidal ausgeprägten Pyritkörnern in diesem Abschnitt. Pyrit in marinen

Sedimenten ist meist autigen gebildet und entsteht frühdiagenetisch aus marinem Porenwasser in reduzierendem Milieu (BERNER 1981). Ein detritischer Transport dieser Minerale vom erodierten Hinterland ist auszuschließen. Er hätte vermutlich zu ihrer vollständigen Oxidation geführt (SAAGER 1981).

Zu Beginn von Abschnitt 5 (6.000 - 2.000 J. v. h.) waren bereits vollständig marine Bedingungen ausgebildet. In Übereinstimmung mit vorangegangenen Arbeiten (HOLMES & CREAGER 1974) kann davon ausgegangen werden, daß die Küstenlinien und Flußmündungen bereits mit ihrer heutigen Lage in etwa übereinstimmten. Nur noch sehr geringe Akkumulationsraten kennzeichnen diesen Zeitraum. Wie in der östlichen Laptewsee deutet dies auch hier darauf hin, daß die transgressionsbedingte landeinwärts schreitende Küstenerosion mit Erreichen des heutigen Meeresspiegels zum Stillstand kam.

Ein leichter Anstieg der Sedimentationsraten ist in Abschnitt 6 (< 2.000 J. v. h.) zu beobachten. Die schwermineralogische Zusammensetzung entspricht in etwa der von rezenten Oberflächensedimenten in diesem Bereich. Die Folge eines Umschwungs im allgemeinen Abkühlungstrend von 6.000 bis 2.000 J. v. h., wie er anhand von Untersuchungen an Palynomorphen in der Laptewsee (KUNZ-PIRRUNG 1997) und an Seesedimenten auf der Taimyrhalbinsel (HAHNE & MELLES 1997, KIENEL 1998) angenommen wird, könnte einen Anstieg der Niederschläge im sibirischen Hinterland und damit einen zunehmenden Sedimenteintrag durch Erosion verursacht haben. Eine Verlagerung der mittleren Meereisgrenze nach Norden (KUNZ-PIRRUNG 1997) ließe dann ab ca. 2.000 J. v. h. auch vermehrt Sedimenteintrag durch Suspensionsfracht nach Norden hin zu.

### 5.3.2 Östliche Laptewsee

Sehr hochauflösend ließen sich sedimentpetrologische Untersuchungen am Sedimentkern IK 93 97-10 durchführen. Bei einem  $^{14}\text{C}$ -Alter von 2.300 J. v. h. im Liegenden und einem Oberflächenalter von 730 J. v. h. (BAUCH unveröff. Daten) ergibt sich bei einem Kerngewinn von 109 cm eine mittlere Sedimentationsrate von ca. 70 cm in 1.000 Jahren. Die hieraus berechneten Akkumulationsraten steigen recht gleichmäßig von ca.  $50 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$  im Liegenden auf  $70 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$  im Hangenden leicht an. Auch in der Schwermineral- und Korngrößenzusammensetzung sind keine Veränderungen erkennbar, die eine Faziesuntergliederung von einzelnen Kernabschnitten ermöglichen könnten (siehe Abb. 24). Die einzelnen Schwermineralanteile entsprechen ihrem Verteilungsmuster in der „Lena-Provinz“. Auffallend sind allerdings die für die Laptewsee recht untypischen hohen Karbonatanteile von bis zu 20 Korn-% im Schwermineralanteil. Da hierfür keiner der in die Laptewsee entwässernden Flüsse als Lieferant in Frage kommen kann, wie zuvor bereits diskutiert, und die Karbonate unter den in arktischen Breiten vorherrschenden Verwitterungsbedingungen keine weiten Transportwege überstehen würden, kommt als Liefergebiet nur die

nahegelegene Insel Belkowskii in Frage. Geologisch gesehen ist Belkowskii der Werchojansker-Tschukotscher-Region zuzurechnen (DOLGINOV & KROPATSCHOV 1994), deren Erosionsprodukte auch das Schwermineralinventar der Lena maßgeblich mitprägen, wodurch eine Übereinstimmung des Schwermineralspektrums mit dem der Lenasedimente zwangsläufig gegeben ist. Insgesamt sprechen die Ergebnisse für relativ konstante Sedimentationsbedingungen im untersuchten Sedimentationszeitraum.

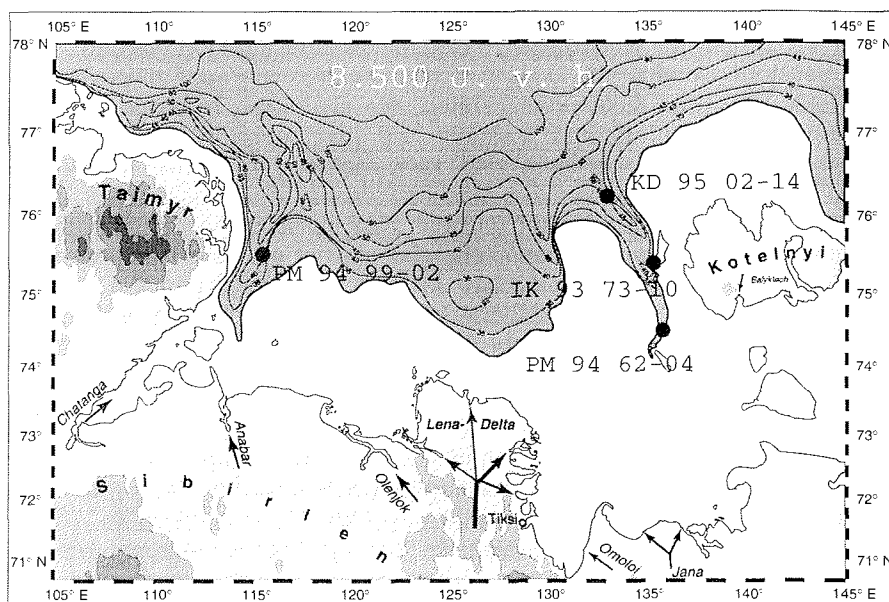
Zwei wesentlich unterschiedliche Abschnitte prägen die Sedimentationsverhältnisse im Sedimentkern KD 96 02-14 aus der nordöstlichen Lapteewsee. Vom Liegenden zum Hangenden wurde von ca. 8.000 bis 6.000 J. v. h. eine 200 cm mächtige Sedimentschicht abgelagert, was einer durchschnittlichen Sedimentationsrate von 100 cm in 1.000 Jahren entspricht (siehe Abb. 25). Obwohl die Kernposition in der Janarinne liegt, spiegelt die Zusammensetzung des Schwermineralspektrums, das in beiden Kernabschnitten nur unwesentlichen Schwankungen insgesamt unterliegt, deutlich die Schwermineralzusammensetzung der „Lena-Provinz“ wider. Demzufolge hat die Lena schon sehr früh bis weit nach Osten hin entwässert, und ihre Wassermassen sind in erster Linie auch für die Ausbildung dieser Rinne und deren spätere Sedimentauffüllung maßgeblich mit verantwortlich. Hierfür spricht auch der im Vergleich zur Lena relativ geringe Süßwasser- und Sedimenteintrag der Jana (ALABYAN et al. 1995). Bei ca. 6.000 J. v. h. war mit der Transgression in etwa der heutige Meeresspiegelstand erreicht. Ab diesem Zeitpunkt findet in der Janarinne an der o. a. Kernposition keine wesentliche Sedimentation mehr statt. Der gleichbleibende Tonanteil bis zur Oberfläche mit rezentem Alter schließt eine mögliche Erosion von danach abgelagerten Sedimenten allerdings praktisch aus. Da es keine Anhaltspunkte für einen rapiden Rückgang der fluviatil eingetragenen Sedimente gibt, wie die weiterhin stattfindende Sedimentakkumulation in den weiter südlich entnommenen Sedimentkernen IK 93 73-10 und PM 94 62-04 zeigt (siehe Abb. 24 und 26), müssen andere Prozesse zur Erklärung dieser Sedimentationsverhältnisse herangezogen werden. Wie zuvor schon erwähnt, scheint der Küstenerosion beim Sedimenteintrag in die Lapteewsee heute eine große Bedeutung zuzukommen (ARE in Vorb.). Dieser Einfluß auf den Sedimenteintrag wurde vermutlich während des Meeresspiegelanstiegs durch die stetig landeinwärts wandernde Küstenlinie noch wesentlich verstärkt und hat dadurch in beträchtlichem Umfang eine Resuspendierung der Schelfsedimente bewirkt, die nach Erreichen des heutigen Meeresspiegelstandes in der Lapteewsee bei ca. 6.000 J. v. h. (BAUCH et al. in Vorb.) weitgehend zum Erliegen kam. Zum fluviatilen Sedimenteintrag und zum Eintrag durch Küstenerosion kamen also transgressionsbedingte Erosionsvorgänge und laterale Sedimentumlagerungen hinzu; allein die Sedimentfracht der Lena würde die Auffüllung der Janarinne nicht erklären können, wie auch die relativ niedrigeren Akkumulationsraten der näher zur Küstenlinie liegenden Kernpositionen PM 94 62-04 und IK 93 73-10 zeigen (siehe Abb. 24 und 26). Hierfür spricht auch die Korngrößenverteilung. Während sich die Sandgehalte zwi-

schen 5 und 30 Gew.-% bewegen, welche im gleichen Zeitabschnitt im Sedimentkern PM 94 62-04 auf etwa 5 Gew.-% zurückgegangen sind, und zum Hangenden bei einem in etwa gleichbleibenden Siltgehalt von 50 Gew.-% weiterhin kontinuierlich abnehmen, schwanken hier die Siltanteile zwischen etwa 10 und 30 Gew.-%, während der Tonanteil relativ konstant bei etwa 60 Gew.-% liegt (siehe Abb. 25). Aufgrund der relativ weiteren Entfernung der Kernposition KD 95 02-14 zur Flußmündung kann der im Vergleich zum Sedimentkern PM 94 62-04 höhere Ton- und geringere Siltanteil auf die fluviatil eingetragenen Sedimente zurückgeführt werden, nicht aber der hohe Sandgehalt. Dessen Schwankungen wie auch die extremen Schwankungen der Akkumulationsraten, die allerdings im einzelnen sehr schlecht korrelieren, deuten vielmehr auf den erosiven Charakter der Transgression in der östlichen und südöstlichen Laptewsee hin, deren Bathymetrie noch heute von Untiefen und sandigen Terrassen, vor allem westlich der Janarinne, gekennzeichnet sind (LINDEMANN 1994). Nach Erreichen des heutigen Meeresspiegelstandes hat sich die Küstenerosion mehr oder weniger auf das heutige Maß eingependelt, und die rezente Suspensionsfracht erreicht größtenteils die o. a. Kernposition nicht mehr sondern gelangt bereits vorher zur Ablagerung.

In Abschnitt 1 (> 7.400 J. v. h.) von Sedimentkern PM 94 62-04 (siehe Abb. 26) deuten der hohe Sandgehalt und der hohe organische Anteil, der größtenteils aus Pflanzenresten besteht (BAUCH unveröff. Daten), auf den fluviatilen Charakter dieser Sedimente hin (Abb. 32). Die erhöhten Anteile von Granat und opaken Mineralen im Schwermineralspektrum, wie sie auch in rezenten Sedimenten der Laptewsee im küstennahen Bereich und in den Flüssen selbst zu finden sind, bestätigen diese Annahme zusätzlich. Die erste marine Muschel erscheint 7.950 J. v. h. bei einer Teufe von 445 cm (BAUCH unveröff. Daten). Da hier der hohe Sandanteil und die Pflanzenreste, deren Alter bei der gleichen Teufe ca. 10.000 J. v. h. beträgt, noch fluviatile Sedimente anzeigen, ist nicht auszuschließen, daß sich die Muschel ein Stück weit in das Sediment eingegraben hat.

Ein Anstieg der Akkumulationsraten bei gleichzeitigem Rückgang der Gehalte von Granat und opaken Mineralen zeigt den bei Beginn von Abschnitt 2 (7.400 - 6.000 J. v. h.) nun verstärkt einsetzenden marinen Einfluß an. Die Sandanteile gehen nur langsam zurück. Daraus, wie auch aus der bathymetrischen Lage der Kernposition am Beginn der Janarinne, läßt sich schließen, daß hier für einige Zeit lang der Mündungsbereich lag. Hier treten nun auch vermehrt Schalen und -bruchstücke von marinen Muscheln im Sediment auf (KASSENS et al. 1995). Der Anstieg der Akkumulationsraten (siehe Abb. 26) deutet eine verstärkt einsetzende Resuspendierung der Schelfsedimente einerseits und eine bevorzugte Ablagerung von Sedimenten in den Flußrinnen andererseits (siehe auch BENTHIEN 1994) an. Aufgrund der Schwermineralzusammensetzung wird bis zu dieser Zeit auch weiterhin hier der überragende Anteil der fluviatil eingebrachten Sedimente von der Lena geliefert. Ein allmählicher Anstieg der Glimmergehalte weist

auf einen verstärkt einsetzenden Einfluß auf die Sedimentation durch die Suspension der Jana hin, die sowohl im Mündungsbereich (siehe Abb. 22) als auch in den Flußsedimenten selbst (HOOPS unveröff. Daten) höhere Glimmeranteile aufweist als die Sedimente der Lena-Provinz.



**Abb. 32:** Rekonstruierte Küstenlinien im Holozän (nach der Meeresspiegelanstiegskurve von FAIRBANKS 1989).

Zu Beginn des Abschnitts 3 (6.000 - 2.200 J. v. h.) gehen die Akkumulationsraten wieder stark zurück. Hierdurch ist auch hier das Erreichen des heutigen Meeresspiegels markiert; der Einfluß auf die Sedimentation durch transgressionsbedingte Resuspension der Schelfsedimente und die dadurch verstärkte Rinnenfüllung ist stark reduziert. Die Schwermineralverteilung hat sich bis hierhin noch nicht verändert. Der bereits in Abschnitt 2 einsetzende Anstieg der Glimmeranteile im Schwermineralspektrum setzt sich nun fort und erreicht mit ca. 40 Korn-% einen Höhepunkt bei 5.200 J. v. h. Ursache hierfür könnte eine gegen 6.000 J. v. h. einsetzende starke Versumpfung und Torfbildung in den Niederungen des sibirischen Hinterlands sein (SIEGERT pers. Mitt.), die das Wasser im Einzugsbereich der Lena verstärkt zurückhält. Dadurch kann kurzzeitig die Suspension der Jana verstärkt nach Norden vordringen, was die hohe Glimmeranreicherung in diesem Abschnitt erklären kann. Der plötzliche Rückgang der Glimmerwerte, die sich dann bei ca. 5 bis 10 Korn-% einpendeln, legt nun wieder



einen verstärkten Süßwasser- und Sedimenteintrag der Lena in die östliche Laptewsee nahe. Dadurch bedingt können die Janasedimente nicht mehr soweit nach Norden verfrachtet werden und gelangen überwiegend schon vorher zur Ablagerung. Dies könnte durch den von KUNZ-PIRRUNG (1997) beobachteten Anstieg des Flußwassereintrags von 5.200 bis 4.200 J. v. h. in die östliche Laptewsee bestätigt werden. Es ist aber auch nicht auszuschließen, daß die Lena zeitweise verstärkt nach Norden oder gar nach Westen hin entwässert hat und dadurch ihr Süßwasser- und Sedimenteintrag in die östliche Laptewsee zeitweilig reduziert war. Ein weiterer Anstieg des Tongehalts bei gleichzeitigem Rückgang der Sand- und Siltwerte bis 2.200 J. v. h. zeigt einen leichten Rückgang der Transportkraft der in die östliche Laptewsee entwässernden Flüsse an, wodurch der Sand- und Siltanteil der fluviatilen Suspensionsfracht schon größtenteils vor Erreichen der o. a. Kernlokation auf dem Schelf abgelagert wird.

Der Abschnitt 4 (< 2.200 J. v. h.) beginnt mit einem sprunghaften Anstieg der Akkumulationsraten. Zeitlich leicht verzögert ist ein Anstieg der Siltgehalte und ein Rückgang des Tonanteils zu verzeichnen. Eine erhöhte Erosion als Folge eines Anstiegs der Niederschläge im Hinterland, bedingt durch eine zunehmende Abkühlung seit Beginn des Subatlantikums (MELLES et al. 1996), könnte hierfür ursächlich sein. Hinweise für eine Verlagerung der mittleren Meereisgrenze im Sommer nach Süden zeigen die Ergebnisse der Untersuchungen von Palynomorphen (KUNZ-PIRRUNG 1997). Dies könnte zu einem zeitweiligen Aufstauen des Flußwassereintrags geführt haben, wodurch die Suspension ab ca. 2.000 J. v. h. schon eher zur Ablagerung gelangt und nicht mehr soweit hinaus auf den Schelf verfrachtet.

---

Sedimentkerne aus der östlichen und westlichen Laptewsee dokumentieren ganz oder, bedingt durch den Kerngewinn und somit auch das Alter nur teilweise, das Einsetzen der Transgression auf dem Schelf bei ca. 11.000 J. v. h., den erosiven Einfluß der Transgression, durch welchen zunächst die Rinnen verstärkt aufgefüllt werden, bis zum Erreichen der heutigen Küstenlinien vor etwa 6.000 Jahren, Schwankungen im Wasser- und Sedimenteintrag in der darauffolgenden Zeit und die relativ gleichbleibenden Sedimentationsbedingungen nach einem Klimaumschwung in den letzten 2.000 Jahren (siehe Abb. 24 bis 27). Die inzwischen vielfach eindeutig belegten klimatischen Veränderungen während der letzten 2.000 Jahre sind in den sedimentpetrographischen Parametern der hier untersuchten Sedimentkerne nicht mehr zu verfolgen.

Ein Abbild der aus dem sibirischen Hinterland eingetragenen Sedimente ist eindeutig nur bei den Sedimentkernen PM 94 99-02 (westliche Laptewsee) und PM 94 62-04 (östliche Laptewsee) zu erkennen, wobei die

Sedimentpetrographie des ersteren die Flußfracht der in die westliche Laptewsee entwässernden Flüsse Chatanga, Anabar und Olenjok widerspiegelt und letzterer die sedimentpetrographischen Charakteristika von Lena, Jana und Omoloi nachzeichnet, wobei hier das Lenasignal eindeutig dominiert. Die Ablagerungen im Sedimentkern IK 93 73-10 (östliche Laptewsee) sind anhand der Karbonatgehalte von den Erosionsprodukten der Neusibirischen Inseln gekennzeichnet, deren Schwermineralinventar allerdings deutlich mit dem der Lena übereinstimmt. Der Sedimentkern KD 95 02-14 (nordöstliche Laptewsee) schließlich ist geprägt durch die transgressionsbedingt ab- und umgelagerten Schelfsedimente in der Lena-Provinz zum einen und die fluviatilen Sedimente der Lena zum anderen, wobei das Janasignal anhand der Glimmeranteile zwischenzeitlich besonders stark zum Vorschein kommt.

## 6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Laptewsee kann anhand der Schwermineralverteilung in den Schelfsedimenten in drei petrologische Provinzen untergliedert werden:

Die „Chatanga-Provinz“ zeichnet die westliche Laptewsee durch hohe Pyroxengehalte und Granatanreicherungen im südlichen Küstenbereich aus.

Die „Lena-Provinz“ bestimmt durch ihre hohen Amphibolanteile das Bild der zentralen und östlichen Laptewsee.

Die „Jana-Provinz“ prägt schließlich die südöstliche Laptewsee durch Anreicherungen von opaken Mineralen, Glimmer und Gesteinsbruchstücken bei gleichzeitig geringen Amphibol- und Pyroxengehalten.

- Die charakteristische Schwermineralzusammensetzung der Oberflächensedimente in der Laptewsee ermöglicht eine generelle Unterscheidung von den angrenzenden Schelfmeeren des Arktischen Ozeans.
- Die qualitative Sedimentzusammensetzung der Laptewsee wird in erster Linie durch fluviatilen Sedimenteintrag bestimmt, während die Küstenerosion eher einen wesentlichen quantitativen Beitrag zum Sedimenthaushalt in der Laptewsee leistet.
- Durch spezifische Sedimenteintragsmechanismen werden bevorzugt feinkörnige und leichte Sedimentpartikel in das Eis eingebaut, wodurch sich das Schwermineralspektrum dieser Sedimente geringfügig zugunsten relativ leichter und feinkörnigerer Minerale verschiebt.
- Ein Wechsel von sandigen zu überwiegend siltig-tonigen Sedimenten bei etwa 10.000 J. v. h. zeigt das Einsetzen mariner Verhältnisse auf dem Schelf der Laptewsee im Zuge der voranschreitenden Transgression an.

- Bis etwa 6.000 J. v. h. ist die Sedimentation zumindest auf dem äußeren Schelf durch den erosiven Charakter der Transgression gekennzeichnet, was zu einer bevorzugten Auffüllung der ehemaligen Flußrinnen führt.
- Im darauffolgenden Zeitraum weisen leichte Änderungen in der Sedimentakkumulation und in der Schwermineralzusammensetzung der Schelfsedimente auf Schwankungen in der Aktivität der in die Laptewsee entwässernden Flüsse, bedingt durch klimatische Änderungen, hin.

**7 SCHRIFTENVERZEICHNIS**

- AAGAARD, K. & CARMACK, E. C. (1989): The role of sea ice and other fresh water in the arctic circulation. - *J. Geophys. Res.*, **94** (C 10): 14485-14498.
- AAGAARD, K. & CARMACK, E. C. (1994): The Arctic Ocean and climate: a perspective. - In: JOHANNESSEN, O. M., MUENCH, R. D. & OVERLAND, J. E. (eds.): *The Polar Oceans and Their Role in Shaping the Global Environment: The Nansen Centennial Volume*. - AGU, Washington, D C, **85**: 5-20.
- ABELMANN, A. (1992): Diatom assemblages in the arctic sea ice - indicator for ice drift pathways. - *Deep-Sea Research*, **39** (2): 525-538.
- ALABYAN, A. M., CHALOV, R. S., KOROTAEV, V. N., SIDORCHUK, A. Y. & ZAITZEV, A. A. (1995): Natural and technogenic components of water and sediment supply to the Laptev Sea. - In: KASSENS, H., PIEPENBURG, D., THIEDE, J., THIMOKHOV, L., HUBBERTEN, H.-W. & PRIAMIKOV, S. M. (eds.): *Russian-German Cooperation: Laptev Sea System*. - *Ber. Polarforsch.*, **176**: 265-271.
- ALEKSEEVSKIY, N. I. & SIDORCHUK, A. Y. (1992): The accelerated erosion in the landscapes, changed by mining works: a case study of the Yana River and the Omoloy River basins. - In: CHALOV, R. S. (ed.): *The Ecological Problems of Soil Erosion and Channel Processes*. - Moscow Univ. Publ. House (in russ.), Moscow; 187-198.
- ALEXANDROV, V. Y., EICKEN, H. & KOLATSCHEK, J. (1995): Satellite radar monitoring of ice drift in the Laptev Sea. - In: KASSENS, H., PIEPENBURG, D., THIEDE, J., THIMOKHOV, L., HUBBERTEN, H.-W. & PRIAMIKOV, S. M. (eds.): *Russian-German Cooperation: Laptev Sea System*. - *Ber. Polarforsch.*, **176**: 17-19.
- ANDEL VAN, T. H. (1950): Provenance, transport and deposition of Rhine sediments. - *H. Veenman & Zonen, Wageningen*; 129 pp.
- ANDEL VAN, T. H. (1959): Reflection on the interpretation of heavy mineral analyses. - *Journ. Sed. Petrology*, **29**: 153-163.
- ANDEL VAN, T. H. & POOLE, D. M. (1960): Sources of recent sediments in the Northern Gulf of Mexico. - *Journ. Sed. Petrology*, **30**: 91-122.
- ANDEL VAN, T. H., HEATH, G. R. & MOORE, T. C. (1975): Cenozoic tectonics, sedimentation and paleo-oceanography of the central equatorial Pacific. - *Geol. Soc. Amer. Mem.*, **143**: 1-134.
- ARE, F. E. (1988): *Thermal abrasion of coasts*. - *Polar Geography and Geology* - 12.V.H. Winston & sons; 157 pp.
- ARE, F. (1996): Dynamics of the littoral zone of Arctic Seas (State of the art and goals). - *Polarforschung*, **64** (3): 123-131.
- ARE, F. E. (in Vorb.): *The map of the Laptev Sea shore dynamics*.
- ATTERBERG, A. (1912): Die mechanische Bodenanalyse und die Klassifikation der Böden Mittelschwedens. - *Int. Mitt. f. Bodenkunde*; 314.
- BARNES, P. W. & REIMNITZ, E. (1974): Sedimentary processes on Arctic shelves off the northern coast of Alaska. - In: REED, J. C. & SATER, J. E. (eds.): *The Coast and Shelf of the Beaufort Sea*. - Arctic Institute of North America, Arlington, Virginia; 439-476.
- BARNES, P. W., KEMPEMA, E. M. & REIMNITZ, E. (1988): Source, characteristics, and significance of sediment pellets formed on the sea ice of the Arctic Basin. - *EOS*, **69** (44): 1263.

- BARNETT, D. (1991): Sea ice distribution in the Soviet Arctic. - In: BRIGHAM, L. W. (ed.): The Soviet Maritime Arctic. - Belhaven Press, London; 47-62.
- BAUCH, H., KASSENS, H., ERLLENKEUSER, H., GROOTES, P., DEHN, J., PEREGOVICH, B. & THIEDE, J. (1998): Changes in sea-level and sedimentation on the western Laptev Sea shelf (Arctic Siberia) during the Holocene. - submitted to *Boreas*.
- BEHRENDTS, M. (in Vorb.): Schwerminerale im Arktischen Ozean. - Dissertation.
- BEHRENDTS, M., PEREGOVICH, B. & STEIN, R. (1995): Heavy-mineral associations at the Laptev-Sea continental margin: Indicator for terrigenous sediment supply in the Eastern Arctic Ocean. - In: MAYER, L., PIPER, D. & RACK, F. (eds.): 5th International Conference on Paleooceanography, Halifax, Nova Scotia, Canada. Dept. of Geodesy & Geomatics Engineering, Univ. New Brunswick, Fredericton, Canada, 153.
- BEHRENDTS, M., HOOPS, E. & PEREGOVICH, B. (1998): Distribution patterns of heavy minerals in Siberian rivers, the Laptev Sea and Eastern Arctic Ocean: An approach to identify sources, transport and pathways of terrigenous matter. - In: KASSENS, H., BAUCH, H., DMITRENKO, I., EICKEN, H., HUBBERTEN H.-W., MELLE, M., THIEDE, J. & TIMOKHOV, L. (eds.): Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. - Lecture Notes in Earth Science, Springer, Berlin; (in press).
- BENTHIE, A. (1994): Echographiekartierung und physikalische Eigenschaften der oberflächennahen Sedimente in der Laptevsee. - Unveröffentl. Diplomarbeit, Geol.-Paläont. Inst. Kiel; 80 pp.
- BERNER, R. A. (1981): Authigenic mineral formation resulting from organic matter decomposition in modern sediments. - *Fortschr. Miner.*, **59**: 117-135.
- BISCHOF, J. (1991): Dropstones im Europäischen Nordmeer - Indikatoren für Meeresströmungen in den letzten 300.000 Jahren - *Ber. SFB 313, Univ. Kiel*, **30**: 200 pp.
- BISCHOF, J. F. & DARBY, D. A. (1997): Mid- to Late Pleistocene ice drift in the western Arctic Ocean: Evidence for a different circulation in the past. - *Science Reprint Series*, **277**: 74-78.
- BOENIGK, W. (1983): Schwermineralanalyse. - Enke, Stuttgart; 158 pp.
- BORISOV, L. A. (1973): Recent vertical movements of the shores of the Laptev Sea. - *Oceanology*, **13**: 691-696.
- CHAIN, E. & KORONOVSKIJ, N. (1995): *Geologie der Erde Band 3: Nordasien*. - Enke, Stuttgart; 188 pp.
- CHURKIN, M. J., SOLEIMANI, G., CARTER, C. & ROBINSON, R. (1981): Geology of the Soviet Arctic: Kola Peninsula to Lena River. - In: NAIRN, A. E. M., CHURKIN, M. J. & STEHLI, G. (eds.): *The Ocean Basins and Margins, Volume 5: The Arctic Ocean*. - Plenum Press, New York; 331-375.
- CLARK, D. L. (1982): Origin, nature and world climate effect of Arctic Ocean ice-cover. - *Nature*, **300**: 321-325.
- CLARK, D. L. & HANSON, A. (1983): Central Arctic Ocean sediment texture: A key to ice transport mechanisms. - In: MOLNIA, B. F. (ed.): *Glacial-Marine Sedimentation*. - Plenum Press, London; 301-330.
- COFFIN, M. F. (1992): Large Igneous Provinces Studied. - *EOS*, **73**: 66-67.
- CORRENS, C. W. (1939): Die Sedimentgesteine. - In: BARTH, T. F. W., CORRENS, C. W. & ESKOLA, P. (eds.): *Die Entstehung der Gesteine*. - Springer, Berlin; 116-262.
- DARBY, D. A. (1982): Provenance of Late Pleistocene coastal sands using trace elements in detrital ilmenite. - *Geol. Soc. Amer. Abstr. & Progr.*, **14** (7): 472 pp.

- DARBY, D. A. & BISCHOF, J. F. (1996): A statistical approach to source determination of lithic and Fe oxide grains: an example from the Alpha Ridge, Arctic Ocean. - *Journ. Sed. Petrology*, **66** (3): 599-607.
- DARBY, D. A., BURCKLE, L. H. & CLARK, D. L. (1974): Airborne dust on the arctic pack ice, its composition and fallout rate. - *Earth Planet. Science Lett.*, **24**: 166-172.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. & ZUSSMANN, J. (1978): *Rockforming Minerals*. 2nd. edn. Vol 2a: Single-chain silicates. - Longman, Green & Co., London; 668 pp.
- DETHLEFF, D. (1994): Dynamics of the Laptev Sea flaw lead. - In: KASSENS, H., HUBBERTEN, H.-W., PRYAMIKOV, S. M. & STEIN, R. (eds.): *Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo System Laptev-Sea*. - *Ber. Polarforsch.*, **144**: 49-54.
- DETHLEFF, D. (1995a): Die Laptevsee - eine Schlüsselregion für den Fremdstoffeintrag in das arktische Meereis. - Unveröffentl. Dissertation, Univ. Kiel; 111 pp.
- DETHLEFF, D. (1995b): Sea ice and sediment export from the Laptev Sea flaw lead during 1991/92 winter season. - In: KASSENS, H., PIEPENBURG, D., THIEDE, J., THIMOKHOV, L., HUBBERTEN, H.-W. & PRIAMIKOV, S. M. (eds.): *Russian-German Cooperation: Laptev Sea System*. - *Ber. Polarforsch.*, **176**: 78-93.
- DETHLEFF, D., NÜRNBERG, D., REIMNITZ, E., SAARSO, M. & SAVCHENKO, Y. P. (1993): East Siberian Arctic Region Expedition '92: The Laptev Sea - Its significance for Arctic sea-ice formation and transpolar sediment flux. - *Ber. Polarforsch.*, **120**: 3-37.
- DMITRENKO, I., DEHN, J., GOLOVIN, P., KASSENS, H. & ZATSEPIN, A. (1998): Influence of sea ice on under-ice mixing under stratified conditions: Potential impacts on particle distribution. - *Estuar. Coast.*, **46**: (in press)
- DOLGINOW, J. & KROPATSCHJOW, S. (1994): *Abriß der Geologie Rußlands und angrenzender Staaten*. - Schweizerbart, Stuttgart; 174 pp.
- DORONINA, N. A. (1962): Reki (The rivers). - In: *Severnaya Yakutia*. Transactions of AARI. - *Morskoy transport Publ.*, Leningrad, **236**: 193-222.
- DOYLE, L. J., CARDER, K. L. & STEWARD, R. G. (1983): The hydraulic equivalence of mica. - *Journ. Sed. Petrology*, **53** (2): 643-648.
- DRACHEV, S. S., SAVOSTIN, L. A. & BRUNI, I. E. (1995): Structural pattern and tectonic history of the Laptev Sea region. - In: KASSENS, H., PIEPENBURG, D., THIEDE, J., THIMOKHOV, L., HUBBERTEN, H.-W. & PRIAMIKOV, S. M. (eds.): *Russian-German Cooperation: Laptev Sea System*. - *Ber. Polarforsch.*, **176**: 348-366.
- DRYDEN, A. L. (1931): Accuracy in percentage representation of heavy mineral frequencies. - *Proc. Ac. Nat. Sci.*, Easton, (Pa.), **17**: 233-238.
- EDELMANN, C. H. (1933): *Petrologische provincies in het Nederlandse Kwartair*. - Dissertation, Amsterdam.
- EHRMANN, W. & THIEDE, J. (1985): History of Mesozoic and Cenozoic Sediment Fluxes to the North Atlantic Ocean. - *Contr. Sediment.*, **15**: 1-109.
- EICKEN, H., VIEHOFF, T., MARTIN, T., KOLATSCHEK, J., ALEXANDROV, V. & REIMNITZ, E. (1995): Studies of clean and sediment-laden ice in the Laptev Sea. - In: KASSENS, H., PIEPENBURG, D., THIEDE, J., THIMOKHOV, L., HUBBERTEN, H.-W. & PRIAMIKOV, S. M. (eds.): *Russian-German Cooperation: Laptev Sea System*. - *Ber. Polarforsch.*, **176**: 62-70.
- ELLIS, A. J. (1959): The solubility of calcite in carbon dioxide solutions. - *Amer. J. Sci.*, **257**: 334-365.
- ELLIS, A. J. (1963): The solubility of calcite in sodium chlorid solutions at high temperatures. - *Amer. J. Sci.*, **261**: 259-267.

- ENGELHARDT VON, W. (1973): Sediment-Petrologie, Teil III: Die Bildung von Sedimenten und Sedimentgesteinen. - Schweizerbart, Stuttgart; 378 pp.
- ETOPO 5: (Datensatz im Internet, basierend auf Zusammenstellung von verschiedenen Quellen und Karten aus USA, Japan, Australien und Europa). - NGDC, Boulder (CO/USA).
- FAIRBANKS, R. G. (1989): A 17.000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep ocean circulation. - *Nature*, **130**: 19-28.
- FESSENDEN, F. W. (1959): Removal of heavy liquid separates from glass centrifuge tubes. - *Journ. Sed. Petrology*, **29**: 621.
- FRIEDMAN, G. M. & SANDERS, J. E. (1978): Principles of Sedimentology. - Wiley & Sons, New York, Sta. Barbara, Chichester, Brisbane, Toronto; 792 pp.
- FÜCHTBAUER, H. (1964): Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen. - *Eclog. geol. Helv.*, **57**: 157-298.
- FÜCHTBAUER, H. (1988): Sandsteine. - In: FÜCHTBAUER, H. (ed.): Sediment-Petrologie, Teil II: Sedimente und Sedimentgesteine, 4. Aufl. - Schweizerbart, Stuttgart; 97-183.
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1977): Sediment-Petrologie, Teil II: Sedimente und Sedimentgesteine, 3. Aufl. - Schweizerbart, Stuttgart; 784 pp.
- FÜTTERER, D. K. (1994): Die Expedition ARCTIC '93, der Fahrtabschnitt ARK-IX/4 mit FS "Polarstern". - *Ber. Polarforsch.* **149**: 244 pp.
- GAKKEL, Y. Y. (1958): Razrushenie ostrova Semionovskogo (The destruction of Semionovsky island). - In: Problemy Arktiki, vypusk 4. Morskoy transport Publ., Leningrad; 95-97.
- GALEHOUSE, J. S. (1969): Counting grain mounts: number percentage vs. number frequency. - *Journ. Sed. Petrology*, **39**: 812-815.
- GALEHOUSE, J. S. (1971): Point counting. - In: CARVER, R. E. (ed.): Procedures in Sedimentary Petrology. - Wiley, New York; 385-407.
- GORBATSCHEV, R. (1962): Secondary sphen in the Mälar sandstone. - *Geol. Fören. Stockholm, Förh.*, **84**: 32-37.
- GORDEEV, B. B. & SIDOROV, I. S. (1993): Concentrations of major elements and their outflow into the Laptev Sea by the Lena River. - *Mar. Chem.*, **43**: 33-45.
- HAHNE, J. & MELLES, M. (1997): Late- and post-glacial vegetation and climate history of the south-western Taymyr Peninsula, central Siberia, as revealed by pollen analysis of a core from Lake Lama. - *Veget. Hist. Archaeobot.*, **6**: 1-8.
- HARTEN VAN, D. (1965): On the estimation of relative grain frequencies in heavy mineral slides. - *Geol. Mijnb.*, **44**: 357-363.
- HARWART, S., HAGEDORN, B., MELLES, M. & WAND, U. (1998): Lithological and biochemical properties in sediments of Lama Lake as indicators for the Late Pleistocene and Holocene evolution of the southern Taymyr Peninsula, central Siberia. - submitted to *Boreas*.
- HASS, C., ANTONOW, M. & SHIPBOARD SCIENTIFIC PARTY (1995): Movement of Laptev Sea shelf waters during the Transdrift II expedition. - In: KASSENS, H., PIEPENBURG, D., THIEDE, J., TIMOKHOV, L., HUBBERTEN, H.-W. & PRIAMIKOV, S. M. (eds.): Russian-German Cooperation: Laptev Sea System. - *Ber. Polarforsch.*, **176**: 114-120.
- HEINRICH, E. W. (1965): Microscopic Identification of Minerals. - McGraw-Hill, New York; 414 pp.



- HERMEL, J. (1995): Sedimentpetrographische Untersuchungen an Flußsedimenten der Lena (Yakutsk - Laptev-See), Ostsibirien. - Unveröff. Diplomarbeit, Univ. Braunschweig; 100 pp.
- HJULSTRØM, F. (1935): Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. - Bull. geol., Inst. Univ. Uppsala, **25**: 221-452.
- HOLMES, M. L. (1967): Late Pleistocene and Holocene History of the Laptev Sea. - M. Sc. thesis, Univ. Seattle; 176 pp.
- HOLMES, M. L. & CREAGER, J. S. (1974): Holocene history of the Laptev Sea continental shelf. - In: HERMAN, Y. (ed.): Marine Geology and Oceanography of the Arctic Seas. - Springer, New York; 211-230.
- HOUGHTON, J. T., MEIRA FILHO, L. G., CALLANDER, B. A., HARRIS, N., KATTENBERG, A. & MASKELL, K. (1996): Climate Change 1995: The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. - University Press, Cambridge; 571 pp.
- HUBERT, J. F. (1962): A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. - Journ. Sed. Petrology, **32**: 440-450.
- HUBERT, J. F. (1971): Analysis of heavy mineral assemblages. - In: CARVER, R. E. (ed.): Procedures in Sedimentary Petrology. - Wiley, New York; 453-478.
- IVANOV, V. V. & PISKUN, A. A. (1995): Distribution of river water and suspended sediments in the river deltas of the Laptev Sea. - In: KASSENS, H., PIEPENBURG, D., THIEDE, J., THIMOKHOV, L., HUBBERTEN, H.-W. & PRIAMIKOV, S. M. (eds.): Russian-German Cooperation: Laptev Sea System. - Ber. Polarforsch., **176**: 142-153.
- JOHANNESSEN, O. M., MUENCH, R. D. & OVERLAND, J. E. (1994): The Polar Oceans and their Role in Shaping the Global Environment: The Nansen Centennial Volume. - Geophysical Monographs, AGU, Washington, D C, **85**: 525 pp.
- KARPIY, V., LEBEDEV, N. & IPATOV, A. (1994): Thermohaline and dynamic water structure in the Laptev Sea. - In: KASSENS, H. & KARPIY, V. Y. (eds.): Russian-German Cooperation: The Transdrift I Expedition to the Laptev Sea. - Ber. Polarforsch., **151**: 16-47.
- KASSENS, H. & KARPIY, V. Y. (1994): Russian-German Cooperation: The Transdrift I Expedition to the Laptev Sea. - Ber. Polarforsch., **151**: 1-168.
- KASSENS, H. & DMITRENKO, I. (1995): The Transdrift II Expedition to the Laptev Sea. - In: KASSENS, H. (ed.): Laptev Sea System: Expeditions in 1994. - Ber. Polarforsch., **182**: 1-180.
- KASSENS, H., HUBBERTEN, H.-W., PRYAMIKOV, S. M. & STEIN, R. (1994): Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo-System Laptev-Sea. - Ber. Polarforsch., **144**: 1-117.
- KASSENS, H., DMITRENKO, I., THIMOKHOV, L. & THIEDE, J. (1997): The Transdrift III Expedition: Freeze-up studies in the Laptev Sea. - In: KASSENS, H. (ed.): Laptev Sea System: Expeditions in 1995. - Ber. Polarforsch., **248**: 1-192.
- KEMPEMA, E. W., REIMNITZ, E. & HUNTER, R. E. (1986): Flume studies and field observations of the interaction of frazil and anchor ice with sediments. - U.S.G.S.-Open-File Report, **86-515**: 46 pp.
- KEMPEMA, E. W., REIMNITZ, E. & BARNES, P. W. (1989): Sea ice sediment entrainment and rafting in the Arctic. - Journ. Sed. Petrology, **59** (2): 308-317.
- KEMPEMA, E. W., REIMNITZ, E., CLAYTON, J. R. J. & PAYNE, J. R. (1993): Interactions of frazil and anchor ice with sedimentary particles in a flume. - Cold Reg. Sci. Technol., **21**: 137-149.

- KIENEL, U. (1998): Late Weichselian to Holocene diatom succession in a sediment core from Lama Lake, Siberia and presumed ecological implications. - In: KASSENS, H., BAUCH, H., DMITRENKO, I., EICKEN, H., HUBBERTEN H.-W., MELLES, M., THIEDE, J. & TIMOKHOV, L. (eds.): Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. - Lecture Notes in Earth Science, Springer, Berlin; (in press).
- KLUYEV, Y. V. (1965): The role of permafrost factors in the dynamics of bottom topography in polar seas. - Acad. Sci. USSR Oceanology, **5**: 78-83.
- KLUYEV, Y. V. (1970): Termicheskaya abraziya pribreznoy polosy polyarnyh morey (Thermal abrasion of near shore zone of polar seas). - Izvestiya vsesoyuznogo geograficheskogo obschestva, **102** (2): 129-135.
- KNEBEL, H. J. & CREAGER, J. S. (1974): Heavy minerals of the East Central Bering Sea continental shelf. - Journ. Sed. Petrology, **44** (2): 553-561.
- KOLATSCHEK, J., VIEHOFF, T., EICKEN, H., NÄGELSBACH, E. & ALEXANDROV, V. (1995): Ice dynamics in the south-western Laptev Sea as derived from ERS-1 SAR images. - In: KASSENS, H., PIEPENBURG, D., THIEDE, J., TIMOKHOV, L., HUBBERTEN, H.-W. & PRIAMIKOV, S. M. (eds.): Russian-German Cooperation: Laptev Sea System. - Ber. Polarforsch., **176**: 20-24.
- KUNZ-PIRRUNG, M. (1997): Rekonstruktion der Oberflächenwassermassen der östlichen Laptev See im Holozän anhand von aquatischen Palynomorphen.- Dissertation, Univ. Kiel; 112 pp.
- LAPINA, N. N. (1965): The determination of distribution paths of sediments, based on mineralogical investigations of marine deposits (example Laptev Sea) (in russ.). - Uchenyye Zapiski NIIGA, Ser. Region. Geol, **7**: 139-157.
- LARSEN, B. B., ELVERHØI, A. & AAGAARD, P. (1987): Study of particulate material in sea ice in the Fram Streat - a contribution to paleoclimatic research? - Polar Res., **5** (3): 313-315.
- LEAKE, B. E. (1978): Nomenclature of amphiboles. - Min. Mag., **42**: 533-563.
- LÉTOLLE, R., MARTIN, J. M., THOMAS, A. J., GORDEEV, V. V., GUSAROVA, S. & SIDOROV, I. S. (1993): <sup>18</sup>O-abundance and dissolved silicate in the Lena delta and Laptev Sea (Russia). - Mar. Chem., **43**: 47-64.
- LETZIG, T. (1993): Meereistransportiertes lithogenes Feinmaterial in spätquartären Tiefseesedimenten des zentralen östlichen Arktischen Ozeans und der Framstraße. - Dissertation, Univ. Kiel; 162 pp.
- LEVITAN, M. A., DEKOV, V. M., GORBUNOVA, Z. N., GURVICH, E. G., MUYAKSHIN, S. I., NÜRNBERG, D. PAVLIDIS, M. A., RUSKOVA, N. P., SHELEKHOVA, E. S., VASILKOV, A. V. & WAHSNER, M. (1996): The Kara Sea: A reflection of modern environment in grain size, mineralogy, and chemical composition of the surface layer of bottom sediments. - In: STEIN, R., IVANOV, G. I., LEVITAN, M. A. & FAHL, K. (eds): Surface-Sediment Composition and Sedimentary Processes in the Central Arctic Ocean and along the Eurasian Continental Margin. - Ber. Polarforsch., **212**: 58-80.
- LINDEMANN, F. (1994): Sonographische und sedimentologische Untersuchungen in der Laptevsee, sibirische Arktis. - Unveröffentl. Diplomarbeit, Geol.-Paläont. Inst. Kiel; 80 pp.
- LINDEMANN, F. (in Vorb.): Sedimente im arktischen Meereis - Einbau, Charakterisierung und Quantifizierung. - Dissertation.
- LISITZIN, A. P. (1972): Sedimentation in the World Ocean. - SEPM. Spec. Pub., **17**: 218 pp.
- LISITZIN, A. P. (1978): Processes of oceanic sedimentation (in russ.). - Izd. "Nauka", Moscow; 392 pp.

- LUDWIG, G. (1955): Neue Ergebnisse der Schwermineral- und Kornanalyse im Oberkarbon und Rotliegenden des südlichen und östlichen Harzvorlandes. - *Beih. Zeitschr. Geologie*, **14**: 1-76.
- LUEPKE, G. (1984): *Stability of Heavy Minerals in Sediments*. - Van Nostrand Reinhold Co. Inc., Benchmark Papers in Geology; 315 pp.
- LUEPKE, G. (1985): Heavy-mineral trends in the Beaufort Sea. - U.S.G.S. bull., Open-File Report, **75-667**: 1-25.
- LUEPKE, G. & ESCOWITZ, E. C. (1989): Grain-size, heavy-mineral, and geochemical analyses of sediments from the Chuckchi Sea, Alaska. - U.S.G.S. bull., **1896**: 1-12.
- MACKIE, W. (1923): The principles that regulate the distribution of particles of heavy minerals in sedimentary rocks as illustrated by the sandstones of the north-east of Scotland. - *Trans. Edinburgh Geol. Soc.*, **11**: 138-164.
- MANGE, M. A. & MAURER, H. F. W. (1991): *Schwerminerale in Farbe*. - Enke, Stuttgart; 148 pp.
- MARTIN, J. M., GUAN, D. M., ELBAZ-POULICHET, F., THOMAS, A. J. & GORDEEV, V. V. (1993): Preliminary assessment of the distributions of some trace elements (As, Cd, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn) in a pristine aquatic environment: the Lena River estuary (Russia). - *Mar. Chem.*, **43**: 185-199.
- MELLES, M., SIEGERT, C., HAHNE, J. & HUBBERTEN, H.-W. (1996): Klima- und Umweltgeschichte des nördlichen Mittelsibiriens im Spätquartär: Erste Ergebnisse. - *Geowissenschaften*, **14** (9): 376-380.
- MORAD, S. & ALDAHAN, A. A. (1985): Leucoxene-calcite-quartz aggregates in sandstones and the relation to decomposition of sphene. - *Neues Jb. Min. Mh.*, **10**: 458-468.
- MORTON, A. C. (1985a): Heavy minerals in provenance studies. - In: ZUFFA, G. G. (ed.): *Provenance of Arenites*. - NATO ASI, Reidel, Dordrecht; 249-277.
- MORTON, A. C. (1985b): A new approach to provenance studies: electron microprobe analysis of detrital garnets from Middle Jurassic sandstones of the North Sea. - *Sedimentology*, **32**: 553-566.
- MÜLLER, G. (1967): *Sedimentary Petrology, Part I: Methods in Sedimentary Petrology*. - Schweizerbart, Stuttgart; 283 pp.
- NAD SCIENCE COMMITTEE (1992): *The Arctic Ocean Record: Key to Global Change (Initial Science Plan)* - *Polarforschung* **61** (1); 1-102.
- NALIVKIN, D. V., MARKOVSKIY, A. P., MUZYLEV, S. A., SHALATOV, E. T. & KOLOSOVA, L. P. (1965): *Geological Map of the Union of Soviet Socialist Republics, Scale 1 : 2.500.000*. - Moscow, The Ministry of Geology of the USSR.
- NANSEN, F. (1897): *Farthest North*. - Archibald Constable & Co, London; 510 pp.
- NAUGLER, F. P., SILVERBERG, N. & CREAGER, J. S. (1974): *Recent sediments of East Siberian Seas*. - In: HERMAN, Y. (ed.): *Marine Geology and Oceanography of the Arctic Seas*. - Springer, New York; 191-210.
- NESSE, W. D. (1986): *Introduction to Optical Mineralogy*. - Oxford University Press, New York; 325 pp.
- NØRGAARD-PEDERSEN, N., SPIELHAGEN R. F., THIEDE J. & KASSENS, H. (1998): Central Arctic surface ocean environment during the past 80,000 years. - submitted to *Paleoceanography*.
- NÜRNBERG, D., WOLLENBURG, I., DETHLEFF, D., EICKEN, H., KASSENS, H., LETZIG, T., REIMNITZ, E. & THIEDE, J. (1994): Sediments in the Arctic sea ice: Implications for entrainment, transport and release. - *Mar. Geol.*, **119**: 185-214.

- OSTERKAMP, T. E. & GOSINK, J. P. (1984): Observations and analyses of sediment-laden sea ice. - In: BARNES, P. W., SCHELL, D. M. & REIMNITZ, E. (eds.): The Alaskan Beaufort Sea: Ecosystems and Environments. - Academic Press; 73-93.
- PARFENOV, L. M., NATAPOV, L. M., SOKOLOV, S. D. & TSUKANOV, N. V. (1993): Terrane analysis and accretion in North-East Asia. - *The Island Arc*, **2**: 35-54.
- PEREGOVICH, B., HOOPS, E. & RACHOLD, V. (1998): Sediment transport to the Laptev Sea (Siberian Arctic) during the Holocene - evidence from the heavy mineral composition of fluvial and marine sediments. - submitted to *Boreas*.
- PETTIJOHN, F. J., POTTER, P. E. & SIEVER, R. (1973): Sand and Sandstone. - Springer, New York; 618 pp.
- PFIRMAN, S. L., LANGE, M. A., WOLLENBURG, I. & SCHLOSSER, P. (1990): Sea ice characteristics and the role of sediment inclusions in deep-sea deposition: Arctic - Antarctic comparisons. - In: BLEIL, U. & THIEDE, J. (eds.): Geological History of the Polar Oceans: Arctic Versus Antarctic. - Kluwer Acad. Publ., Amsterdam; 187-211.
- PFIRMAN, S. L., COLONY, R., NÜRNBERG, D., EICKEN, H., & RIGOR, I. (1997): Reconstructing the origin and trajectory of drifting arctic sea ice. - *J. Geophys. Res.*, **102** (C6): 12575-12586.
- PHILLIPS, W. R. & GRIFFEN, D. T. (1981): Optical Mineralogy: The Nonopaque Minerals. - Freeman, San Francisco; 677 pp.
- PICHLER, H. & SCHMITT-RIEGRAF, C. (1987): Gesteinsbildende Minerale im Dünnschliff. - Enke, Stuttgart; 230 pp.
- RACHOLD, V., ALABYAN, A., HUBBERTEN, H.-W., KOROTAEV, V. N. & ZAITSEV, A. A. (1996): Sediment transport to the Laptev Sea - hydrology and geochemistry of the Lena River. - *Polar Research*, **15**: 183-196.
- RACHOLD, V., EISENHAEUER, A., HUBBERTEN, H.-W., HANSEN, B. & MEYER, H. (1997): Sr isotopic composition of suspended particulated material (SPM) of East Siberian Rivers: Sediment transport to the Arctic Ocean. - *Arctic and Alpine Research*, **29** (4): 422-429.
- REARIC, D. M., BARNES, P. W. & REIMNITZ, E. (1990): Bulldozing and resuspension of shallow-shelf-sediment by ice keels: Implications for Arctic sediment transport trajectories. - *Mar. Geol.*, **91**: 133-147.
- REIMNITZ, E. & BRUDER, K. F. (1972): River discharge into an ice-covered ocean and related sediment dispersal, Beaufort Sea, coast of Alaska. - *Geol. Soc. Am. Bull.*, **83**: 861-866.
- REIMNITZ, E. & BARNES, P. W. (1974): Sea ice as a geological agent on the Beaufort Sea Shelf of Alaska. - In: REED, J. C. & SATER, J. E. (eds.): The Coast and Shelf of Beaufort Sea, Proceedings of the Arctic Institute of North America Symposium on Beaufort Sea Coast and Shelf Research. - Arctic Institute of North America, Arlington, Virginia; 301-353.
- REIMNITZ, E. & KEMPEMA, E. W. (1987): Field observations on slush ice generated during freeze up in Arctic coastal waters. - *Mar. Geol.*, **77**: 219-231.
- REIMNITZ, E., TOIMIL, L. & BARNES, P. W. (1978): Arctic continental shelf morphology related to sea-ice zonation, Beaufort Sea, Alaska. - *Mar. Geol.*, **28**: 179-210.
- REIMNITZ, E., KEMPEMA, E. W. & BARNES, P. W. (1986): Anchor ice and bottom-freezing in high-latitude marine sedimentary environments: Observations of the Alaskan Beaufort Sea. - U.S.G.S. Open-File Report, **86-298**: 21 pp.
- REIMNITZ, E., KEMPEMA, W. & BARNES, P. W. (1987): Anchor ice, seabed freezing, and sediment dynamics in shallow arctic seas. - *J. Geophys. Res.*, **92** (C13): 14671-14678.

- REIMNITZ, E., GRAVES, S. M. & BARNES, P. W. (1988): Beaufort Sea coastal erosion, sediment flux, shoreline evolution, and the erosional shelf profile. - U.S.G.S. Miscellaneous Field Investigations Map I-1182-G; 22 pp.
- REIMNITZ, E., KEMPEMA, E. W., WEBER, W. S., CLAYTON, J. R. & PAYNE, J. R. (1990): Suspended-matter scavenging by rising frazil ice. - In: ACKLEY, S. F. & WEEKS, W. F. (eds.): Sea ice properties and processes. - U.S Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory Monograph, **90-1**: 97-100.
- REIMNITZ, E., MARINCOVICH, L. J., McCORMICK, M. & BRIGGS, W. M. (1992): Suspension freezing of bottom sediment and biota in the Northwest Passage and implications for Arctic Ocean sedimentation. - Can. J. Earth Sci., **29**: 693-703.
- REIMNITZ, E., BARNES, P. W. & WEBER, W. S. (1993a): Particulate matter in pack ice of the Beaufort Gyre. - J. Glaciol., **39** (131): 186-198.
- REIMNITZ, E., CLAYTON, J. R., KEMPEMA, E. W., PAYNE, J. R. & WEBER, W. S. (1993b): Interaction of rising frazil with suspended particles: tank experiments with application to nature. - Cold Reg. Sci. Technol., **21**: 117-135.
- REIMNITZ, E., McCORMICK, M., McDOUGALL, K. & BROUWERS, E. (1993c): Sediment export by ice rafting from a coastal polynya, Arctic Alaska, U.S.A. - Arctic and Alpine Research, **25**: 83-98.
- REIMNITZ, E., DETHLEFF, D. & NÜRNBERG, D. (1994): Contrasts in Arctic shelf sea-ice regimes and some implications: Beaufort Sea versus Laptev Sea. - Mar. Geol., **119**: 215-225.
- REIMNITZ, E., KASSENS, H. & EICKEN, H. (1995): Sediment transport by Laptev Sea ice. - In: KASSENS, H., PIEPENBURG, D., THIEDE, J., THIMOKHOV, L., HUBBERTEN, H.-W. & PRIAMIKOV, S. M. (eds.): Russian-German Cooperation: Laptev Sea System. - Ber. Polarforsch., **176**: 71-77.
- REIMNITZ, E., McCORMICK, M., BISCHOF, J., DARBY, D. & BARNES, P. W. (in Vorb.): Comparison of sediment composition in sea ice with that of the shallow source area.
- ROSSAK, B. (1995): Zur Tonmineralverteilung und Sedimentzusammensetzung in Oberflächensedimenten der Laptevsee, sibirische Arktis.- Unveröff. Diplomarbeit, Univ. Würzburg; 101 pp.
- SAAGER, L. (1981): Geochemical studies on the origin of the detrital pyrites in the conglomerates of the Witwatersrand goldfields, South Africa. - U.S.G.S. Prof. Paper, **1161-L**: 10-17.
- SARNTHEIN, M., THIEDE, J. & ZAHN, R. (1992): Short and long-term global change: Records and modelling. - 4th Int. Conf. Paleoceanogr., Abstr. Progr., GEOMAR Rep. **15**: 351 pp.
- SCULL, B. J. (1960): Removal of heavy liquid separates from glass centrifuge tubes - alternate method. - Journ. Sed. Petrology, **30**: 626.
- SEIBOLD, E. (1991): Das Gedächtnis des Meeres. - Piper, München, Zürich; 447 pp.
- SEYFRIED, H. & LEINFELDER, R. (1992): Meeresspiegelschwankungen - Ursachen, Folgen, Wechselwirkungen. - "Wechselwirkungen"-Jahrbuch 1992, Univ. Stuttgart; 16 pp.
- SHUYSHI, Y. D. (1983): Sovremenny balans nanosov v beregovoy zone morya (Recent sediment balance in the shore zone of the sea).- Author abstract of doctor thesis, geographical science; 41 pp.
- SILVERBERG, N. (1972): Sedimentology of the Surface Sediments of the East Siberian and Laptev Seas.- Dissertation, Univ. of Washington, seattle; 184 pp.

- SPIELHAGEN, R. F. (1991): Die Eisdrift in der Framstraße während der letzten 200.000 Jahre. - *Geomar Report*, **4**: 137 pp.
- SPIELHAGEN, R. F. (1997): Deglacial freshwater outflow from Lena River across the Laptev Sea (Siberia). - *EOS, suppl.*, **78** (46): F370.
- STATTEGGER, K. (1982): Schwermineraluntersuchungen in der östlichen Grauwackenzone (Steiermark/Österreich) und deren statistische Auswertung. - *Verh. Geol. B. - A.*, **2**: 107-121.
- STATTEGGER, K. (1987): Heavy minerals and provenance of sands: Modeling of lithological end members from river sands of northern Austria and from sandstones of the Austroalpine Gosau formation (Late Cretaceous). - *Jour. Sed. Petrology*, **57** (2): 301-310.
- STEIN, R. & KOROLEV, S. (1994): Shelf-to-basin sediment transport in the eastern Arctic Ocean. - In: KASSENS, H., HUBBERTEN, H.-W., PRYAMIKOV, S. M. & STEIN, R. (eds.): Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo-System Laptev-Sea. - *Ber. Polarforsch.*, **144**: 87-100.
- SUSLOV, S. P. (1961): Physical geography of Asiatic Russia. - Freeman & Co, San Francisco; 594 pp.
- SUZDALSKY, O. V. (1974): Litodynamika melkovodja Belogo, Barenceva i Karskogo morey (Lithodynamics of White, Barents and Kara Sea shallows). - In: *Geologiya morya* (Sbornik statey), vypusk 4, NII geologii Arktiki, **4**: 27-33.
- THIEDE, J., (1996): Arctic Ocean geological variability: a monitor of global climate change. - In: HEMPEL, G. (ed.): The Ocean and the Poles. Grand Challenge for European Cooperation. - Gustav Fischer Verlag, Jena; 181-192.
- THIEDE, J., STRAND, J.-A. & AGDESTEN, T. (1981): The distribution of major pelagic sediment components in the Mesozoic and Cenozoic North Atlantic Ocean. - *SEPM Special Publication*, **32**: 67-90.
- TIMOKHOV, L. A. (1994): Regional characteristics of the Laptev and the East Siberian Seas: Climate, topography, ice phases, thermohaline regime, circulation. - In: KASSENS, H., HUBBERTEN, H.-W., PRYAMIKOV, S. M. & STEIN, R. (eds.): Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo-System Laptev-Sea. - *Ber. Polarforsch.*, **144**: 15-31.
- TIMOKHOV, L. & TANIS, F. (1997): Joint U.S. Russian Atlas of the Arctic Ocean, Oceanography Atlas for the winter period. - Environmental Working group, Version 1.0.
- TIMOKHOV, L. & TANIS, F. (1998): Joint U.S. Russian Atlas of the Arctic Ocean, Oceanography Atlas for the summer period. - Environmental Working group, Version 1.0.
- TOMIRDIARO, S. V. (1975): Thermoabrasion-induced shelf formation in the eastern Arctic Seas of the USSR during the Holocene. - *Doklady Earth Sci. Sections*, **219**: 23-26.
- TRÖGER, W. E. (1969): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 2, 2. Aufl. - Schweizerbart, Stuttgart; 822 pp.
- TRÖGER, W. E. (1971): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 1, 2. 4. Aufl. - Schweizerbart, Stuttgart; 188 pp.
- UNESCO (1978): World water balance and water resources of the Earth. - *Stud. and Rep. in Hydrol.*, **25**.
- VINOGRADOV, V. A., GRAMBERG, I. S., POGREBITSKY, Y. E., RABKIN, M. I., RAVICH, M. G., SOKOLOV, V. N. & SOROKOV, D. S. (1973): Main Features of Geologic structure and history of North-Central Siberia. - In: PITCHER, M. G. (ed.): Arctic Geology. - Tulsa, Oklahoma (AAPG); 181-188.

- VOGT, C. (1997): Zeitliche und räumliche Verteilung von Mineralvergesellschaftungen in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans und ihre Nützlichkeit als Klimaindikatoren während der Glazial/Interglazial Wechsel. - Ber. Polarforsch., **251**: 309 pp.
- WAHSNER, M. (1995): Mineralogical and sedimentological characterization of surface sediments from the Laptev Sea. - In: KASSENS, H., PIEPENBURG, D., THIEDE, J., THIMOKHOV, L., HUBBERTEN, H.-W. & PRIAMIKOV, S. M. (eds.): Russian-German Cooperation: Laptev Sea System. - Ber. Polarforsch., **176**: 303-313.
- WEYL, R. (1952): Erscheinungsbild und Vorkommen der Schwermineralverwitterung. - In: ANDEL VAN, T. H. & WEYL, R. (eds): Zur Frage der Schwermineralverwitterung in Sedimenten. - Erdöl u. Kohle, **5**: 9-16.
- WOLLENBURG, I. (1993): Sedimenttransport durch das arktische Meereis: Die rezente lithogene und biogene Materialfracht. - Ber. Polarforsch., **127**: 159 pp.
- ZAITSEV, A. A. & CHALOV, R. S. (1989): Channel processes and channel management in the Lena River at Yakutsk City (in russ.). - Wodnye Resursy; 75-80.
- ZENKOVICH, V. P. (1985): Arctic USSR. - In: BIRD, E. C. F. & SCHWARTZ, M. L. (eds.): The World's Coastline. - Van Nostrand Reinhold, New York; 963-971.
- ZIGAREV, L. A. & SOVERSHAEV, V. A. (1984): Termoabrazionnoe razrushenie arkticheskikh ostrovov (Thermoabrasional destruction of Arctic Islands). - In: Beregovye processy v krio-litozone. - Nauka, Novosibirsk; 31-38.
- ZIMMERLE, W. (1972): Sind detritische Zirkone rötlicher Farbe auch in Mitteleuropa Indikatoren für präkambrische Liefergebiete? - Geol. Rundsch., **56**: 116-139.

## 8 DANK

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Jörn Thiede für die Vergabe und Betreuung dieser Arbeit. Die freie wissenschaftliche Entfaltungsmöglichkeit im Rahmen der von ihm geleiteten Arbeitsgruppe trug grundlegend zum Werden und Gelingen meiner Arbeit bei.

Ganz herzlich bedanke ich mich bei Frau Dr. Heidemarie Kassens für die vielseitige und großzügige Unterstützung in jeglicher Hinsicht, für die anregenden Diskussionen, die kritische Durchsicht des Manuskripts und die Ermöglichung der Teilnahme an den Expeditionen TRANSDRIFT II und III in die Laptewsee.

Bei Dr. Winfried Zimmerle und Dr. Heinz Lange möchte ich mich bedanken für die Einarbeitung in die Schwermineralthematik hinsichtlich der Aufbereitung, Methodik und Analytik.

Dr. Erk Reimnitz, Dr. Jens Bischof und Dr. Dennis Darby möchte ich besonders für wertvolle Diskussionen und ihre Unterstützung und Gastfreundschaft während eines Forschungs-Aufenthaltes in den USA danken.

Sehr herzlich bedanke ich mich bei Marion Behrends und Erich Hoops für die gute und fruchtbare Zusammenarbeit sowie die vielen kritischen und anregenden Diskussionen.

Meinen Kolleginnen und Kollegen Dr. Martin Antonow, Dr. Henning Bauch, Dr. Nicole Biebow, Dr. Dirk Blomeier, Dr. Holger Cremer, Dr. Jon Dehn, Dr. Dirk Dethleff, Veit Haase, Dr. Christian Hass, Dr. Moshira Hassan, Bertram Heinze, Dr. Jens Hölemann, Dr. Harald Hommers, Dr. Martina Kunz-Pirrung, Frank Lindemann, Ulrike Mosler, Dr. Niels Nørgaard-Pedersen, Sven Ole-Bude, Dr. Volker Rachold, Bettina Rossak, Emanuel Söding, Dr. Robert Spielhagen, Christopher Strobl, Renate Volkmann sowie zahlreichen Kolleginnen und Kollegen des GEOMAR-Forschungszentrums sei herzlichst gedankt für hilfreiche Anregungen und Diskussionen, gute Ratschläge sowie praktische Unterstützung in kleinen und größeren Dingen.

Für die Hilfe bei Übersetzungsarbeiten bedanke ich mich besonders bei Andrea Dopke, Dr. Sergey Dratchev, Edna Hütten, Dr. Sergey Pivovarov, Bettina Rohr und Iris Werner.

Ein ganz herzliches Dankeschön an alle russischen Kolleginnen und Kollegen, die durch ihre unermüdliche Kooperations- und Diskussionsbereitschaft entscheidend zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Den studentischen Hilfskräften Martina Petschner und Gerald Dieckmann sei vor allem für die Unterstützung und Hilfe bei den zeitaufwendigen Laborarbeiten gedankt.

Den Kapitänen und den Besatzungen der Forschungsschiffe RV Professor Multanovskiy und IB Kapitan Dranitsyn, die uns sicher in die Laptewsee und zurück brachten und durch ihren unermüdlichen Einsatz den Erfolg der Expeditionen ermöglichten, gilt mein besonderer Dank.



Meinen sehr herzlichen Dank an die Kolleginnen und Kollegen der Verwaltung am GEOMAR-Forschungszentrum, ohne deren freundliche Unterstützung bei vielen großen und kleinen Problemen diese Arbeit sicher nicht zustande gekommen wäre.

Ein ganz besonderes Dankeschön geht an Ortrud Runze, die sich selbst von einer schweren Grippe nicht davon abhalten ließ meine Manuskript-Entwürfe gründlich durchzusehen und nach den verstecktesten Fehlern darin zu suchen.

Zu guter Letzt bedanke ich mich beim Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), das diese Arbeit im Rahmen des deutsch-russischen Forschungsprojektes „Laptev Sea System“ finanziell gefördert hat.



## Folgende Hefte der Reihe „Berichte zur Polarforschung“ sind bisher erschienen:

- \* **Sonderheft Nr. 1/1981** – „Die Antarktis und ihr Lebensraum“  
Eine Einführung für Besucher – Herausgegeben im Auftrag von SCAR  
**Heft Nr. 1/1982** – „Die Filchner-Schelfeis-Expedition 1980/81“  
zusammengestellt von Heinz Kohnen
- **Heft Nr. 2/1982** – „Deutsche Antarktis-Expedition 1980/81 mit FS ‚Meteor‘“  
First International BIOMASS Experiment (FIBEX) – Liste der Zooplankton- und Mikronektonnetzfüge  
zusammengestellt von Norbert Klages  
**Heft Nr. 3/1982** – „Digitale und analoge Krill-Echolot-Rohdatenerfassung an Bord des Forschungsschiffes ‚Meteor‘“ (im Rahmen von FIBEX 1980/81, Fahrtabschnitt ANT III), von Bodo Morgenstern  
**Heft Nr. 4/1982** – „Filchner-Schelfeis-Expedition 1980/81“  
Liste der Planktonfänge und Lichtstärkemessungen  
zusammengestellt von Gerd Hubold und H. Eberhard Drescher
- **Heft Nr. 5/1982** – „Joint Biological Expedition on RRS ‚John Biscoe‘, February 1982“  
by G. Hempel and R. B. Heywood
- **Heft Nr. 6/1982** – „Antarktis-Expedition 1981/82 (Unternehmen ‚Eiswarte‘)“  
zusammengestellt von Gode Gravenhorst  
**Heft Nr. 7/1982** – „Marin-Biologisches Begleitprogramm zur Standorterkundung 1979/80 mit MS ‚Polar-  
sirkel‘ (Pre-Site Survey)“ – Stationslisten der Mikronekton- und Zooplanktonfänge sowie der Bodenfischerei  
zusammengestellt von R. Schneppenheim  
**Heft Nr. 8/1983** – „The Post-Fibex Data Interpretation Workshop“  
by D. L. Cram and J.-C. Freytag with the collaboration of J. W. Schmidt, M. Mall, R. Kresse, T. Schwinghammer
- **Heft Nr. 9/1983** – „Distribution of some groups of zooplankton in the inner Weddell Sea in summer 1979/80“  
by I. Hempel, G. Hubold, B. Kaczmaruk, R. Keller, R. Weigmann-Haass  
**Heft Nr. 10/1983** – „Fluor im antarktischen Ökosystem“ – DFG-Symposium November 1982  
zusammengestellt von Dieter Adelung  
**Heft Nr. 11/1983** – „Joint Biological Expedition on RRS ‚John Biscoe‘, February 1982 (II)“  
Data of micronekton and zooplankton hauls, by Uwe Piatkowski  
**Heft Nr. 12/1983** – „Das biologische Programm der ANTARKTIS-I-Expedition 1983 mit FS ‚Polarstern‘“  
Stationslisten der Plankton-, Benthos- und Grundschieppnetzfüge und Liste der Probennahme an Robben  
und Vögeln, von H. E. Drescher, G. Hubold, U. Piatkowski, J. Plötz und J. Voß
- \* **Heft Nr. 13/1983** – „Die Antarktis-Expedition von MS ‚Polarbjörn‘ 1982/83“ (Sommerkampagne zur  
Atka-Bucht und zu den Kraul-Bergen), zusammengestellt von Heinz Kohnen
- \* **Sonderheft Nr. 2/1983** – „Die erste Antarktis-Expedition von FS ‚Polarstern‘ (Kapstadt, 20. Januar 1983 –  
Rio de Janeiro, 25. März 1983)“, Bericht des Fahrtleiters Prof. Dr. Gotthilf Hempel  
**Sonderheft Nr. 3/1983** – „Sicherheit und Überleben bei Polarexpeditionen“  
zusammengestellt von Heinz Kohnen
- **Heft Nr. 14/1983** – „Die erste Antarktis-Expedition (ANTARKTIS I) von FS ‚Polarstern‘ 1982/83“  
herausgegeben von Gotthilf Hempel  
**Sonderheft Nr. 4/1983** – „On the Biology of Krill *Euphausia superba*“ – Proceedings of the Seminar  
and Report of the Krill Ecology Group, Bremerhaven 12. - 16. May 1983, edited by S. B. Schnack  
**Heft Nr. 15/1983** – „German Antarctic Expedition 1980/81 with FRV ‚Walther Herwig‘ and RV ‚Meteor‘“ –  
First International BIOMASS Experiment (FIBEX) – Data of micronekton and zooplankton hauls  
by Uwe Piatkowski and Norbert Klages  
**Sonderheft Nr. 5/1984** – „The observatories of the Georg von Neumayer Station“, by Ernst Augstein  
**Heft Nr. 16/1984** – „FIBEX cruise zooplankton data“  
by U. Piatkowski, I. Hempel and S. Rakusa-Suszczewski  
**Heft Nr. 17/1984** – „Fahrtbericht (cruise report) der ‚Polarstern‘-Reise ARKTIS I, 1983“  
von E. Augstein, G. Hempel und J. Thiede  
**Heft Nr. 18/1984** – „Die Expedition ANTARKTIS II mit FS ‚Polarstern‘ 1983/84“,  
Bericht von den Fahrtabschnitten 1, 2 und 3, herausgegeben von D. Fütterer  
**Heft Nr. 19/1984** – „Die Expedition ANTARKTIS II mit FS ‚Polarstern‘ 1983/84“,  
Bericht vom Fahrtabschnitt 4, Punta Arenas-Kapstadt (Ant-II/4), herausgegeben von H. Kohnen  
**Heft Nr. 20/1984** – „Die Expedition ARKTIS II des FS ‚Polarstern‘ 1984, mit Beiträgen des FS ‚Valdivia‘  
und des Forschungsflugzeuges ‚Falcon 20‘ zum Marginal Ice Zone Experiment 1984 (MIZEX)“  
von E. Augstein, G. Hempel, J. Schwarz, J. Thiede und W. Weigel  
**Heft Nr. 21/1985** – „Euphausiid larvae in plankton from the vicinity of the Antarctic Peninsula,  
February 1982“ by Sigrid Marschall and Elke Mizdalski  
**Heft Nr. 22/1985** – „Maps of the geographical distribution of macrozooplankton in the Atlantic sector of  
the Southern Ocean“ by Uwe Piatkowski  
**Heft Nr. 23/1985** – „Untersuchungen zur Funktionsmorphologie und Nahrungsaufnahme der Larven  
des Antarktischen Krills *Euphausia superba* Dana“ von Hans-Peter Marschall

- Heft Nr. 24/1985** – „Untersuchungen zum Periglazial auf der König-Georg-Insel Südshetlandinseln/ Antarktika. Deutsche physiogeographische Forschungen in der Antarktis. – Bericht über die Kampagne 1983/84“ von Dietrich Barsch, Wolf-Dieter Blümel, Wolfgang Flügel, Roland Mäusbacher, Gerhard Stäblein, Wolfgang Zick
- \* **Heft Nr. 25/1985** – „Die Expedition ANTARKTIS III mit FS ‚Polarstern‘ 1984/1985“ herausgegeben von Gotthilf Hempel.
- \* **Heft Nr. 26/1985** – „The Southern Ocean“; A survey of oceanographic and marine meteorological research work by Hellmer et al.
- Heft Nr. 27/1986** – „Spätpleistozäne Sedimentationsprozesse am antarktischen Kontinentalhang vor Kapp Norvegia, östliche Weddell-See“ von Hannes Grobe
- Heft Nr. 28/1986** – „Die Expedition ARKTIS III mit ‚Polarstern‘ 1985 mit Beiträgen der Fahrtteilnehmer, herausgegeben von Rainer Gersonde
- \* **Heft Nr. 29/1986** – „5 Jahre Schwerpunktprogramm ‚Antarktisforschung‘ der Deutschen Forschungsgemeinschaft.“ Rückblick und Ausblick. Zusammengestellt von Gotthilf Hempel, Sprecher des Schwerpunktprogramms
- Heft Nr. 30/1986** – „The Meteorological Data of the Georg-von-Neumayer-Station for 1981 and 1982“ by Marianne Gube and Friedrich Obleitner
- Heft Nr. 31/1986** – „Zur Biologie der Jugendstadien der Notothenioidei (Pisces) an der Antarktischen Halbinsel“ von A. Kellermann
- Heft Nr. 32/1986** – „Die Expedition ANTARKTIS IV mit FS ‚Polarstern‘ 1985/86“ mit Beiträgen der Fahrtteilnehmer, herausgegeben von Dieter Fütterer
- Heft Nr. 33/1987** – „Die Expedition ANTARKTIS-IV mit FS ‚Polarstern‘ 1985/86 – Bericht zu den Fahrtabschnitten ANT-IV/3-4“ von Dieter Karl Fütterer
- Heft Nr. 34/1987** – „Zoogeographische Untersuchungen und Gemeinschaftsanalysen an antarktischen Makroplankton“ von U. Piatkowski
- Heft Nr. 35/1987** – „Zur Verbreitung des Meso- und Makrozooplanktons in Oberflächenwasser der Weddell See (Antarktis)“ von E. Boysen-Ennen
- Heft Nr. 36/1987** – „Zur Nahrungs- und Bewegungsphysiologie von *Salpa thompsoni* und *Salpa fusiformis*“ von M. Reinke
- Heft Nr. 37/1987** – „The Eastern Weddell Sea Drifting Buoy Data Set of the Winter Weddell Sea Project (WWSP)“ 1986 by Heinrich Hoerber und Marianne Gube-Lehnhardt
- Heft Nr. 38/1987** – „The Meteorological Data of the Georg von Neumayer Station for 1983 and 1984“ by M. Gube-Lehnhardt
- Heft Nr. 39/1987** – „Die Winter-Expedition mit FS ‚Polarstern‘ in die Antarktis (ANT V/1-3)“ herausgegeben von Sigrid Schnack-Schiel
- Heft Nr. 40/1987** – „Weather and Synoptic Situation during Winter Weddell Sea Project 1986 (ANT V/2) July 16 - September 10, 1986“ by Werner Rabe
- Heft Nr. 41/1988** – „Zur Verbreitung und Ökologie der Seegurken im Weddellmeer (Antarktis)“ von Julian Gutt
- Heft Nr. 42/1988** – „The zooplankton community in the deep bathyal and abyssal zones of the eastern North Atlantic“ by Werner Beckmann
- Heft Nr. 43/1988** – „Scientific cruise report of Arctic Expedition ARK IV/3“ Wissenschaftlicher Fahrtbericht der Arktis-Expedition ARK IV/3, compiled by Jörn Thiede
- Heft Nr. 44/1988** – „Data Report for FV ‚Polarstern‘ Cruise ARK IV/1, 1987 to the Arctic and Polar Fronts“ by Hans-Jürgen Hirche
- Heft Nr. 45/1988** – „Zoogeographie und Gemeinschaftsanalyse des Makrozoobenthos des Weddellmeeres (Antarktis)“ von Joachim Voß
- Heft Nr. 46/1988** – „Meteorological and Oceanographic Data of the Winter-Weddell-Sea Project 1986 (ANT V/3)“ by Eberhard Fahrbach
- Heft Nr. 47/1988** – „Verteilung und Herkunft glazial-mariner Gerölle am Antarktischen Kontinentalrand des östlichen Weddellmeeres“ von Wolfgang Oskierski
- Heft Nr. 48/1988** – „Variationen des Erdmagnetfeldes an der GvN-Station“ von Arnold Brodscholl
- \* **Heft Nr. 49/1988** – „Zur Bedeutung der Lipide im antarktischen Zooplankton“ von Wilhelm Hagen
- Heft Nr. 50/1988** – „Die gezeitenbedingte Dynamik des Ekström-Schelfeises, Antarktis“ von Wolfgang Kobarg
- Heft Nr. 51/1988** – „Ökomorphologie nototheniider Fische aus dem Weddellmeer, Antarktis“ von Werner Ekau
- Heft Nr. 52/1988** – „Zusammensetzung der Bodenfauna in der westlichen Fram-Straße“ von Dieter Piepenburg
- \* **Heft Nr. 53/1988** – „Untersuchungen zur Ökologie des Phytoplanktons im südöstlichen Weddellmeer (Antarktis) im Jan./Febr. 1985“ von Eva-Maria Nöthig
- Heft Nr. 54/1988** – „Die Fischfauna des östlichen und südlichen Weddellmeeres: geographische Verbreitung, Nahrung und trophische Stellung der Fischarten“ von Wiebke Schwarzbach
- Heft Nr. 55/1988** – „Weight and length data of zooplankton in the Weddell Sea in austral spring 1986 (Ant. V/3)“ by Elke Mizdalski
- Heft Nr. 56/1989** – „Scientific cruise report of Arctic expeditions ARK IV/1, 2 & 3“ by G. Krause, J. Meinke und J. Thiede

- Heft Nr. 57/1989** – „Die Expedition ANTARKTIS V mit FS ‚Polarstern‘ 1986/87“  
Bericht von den Fahrtabschnitten ANT V/4-5 von H. Miller und H. Oerter
- **Heft Nr. 58/1989** – „Die Expedition ANTARKTIS VI mit FS ‚Polarstern‘ 1987/88“  
von D. K. Fütterer
- Heft Nr. 59/1989** – „Die Expedition ARKTIS V/1a, 1b und 2 mit FS ‚Polarstern‘ 1988“  
von M. Spindler
- Heft Nr. 60/1989** – „Ein zweidimensionales Modell zur thermohalinen Zirkulation unter dem Schelfeis“  
von H. H. Hellmer
- Heft Nr. 61/1989** – „Die Vulkanite im westlichen und mittleren Neuschwabenland,  
Vestfjella und Ahlmannryggen, Antarktika“ von M. Peters
- \* **Heft Nr. 62/1989** – „The Expedition ANTARKTIS VII/1 and 2 (EPOS I) of RV ‚Polarstern‘  
in 1988/89“, by I. Hempel
- Heft Nr. 63/1989** – „Die Eisalgenflora des Weddellmeeres (Antarktis): Artenzusammensetzung und Biomasse  
sowie Ökophysiologie ausgewählter Arten“ von Annette Bartsch
- Heft Nr. 64/1989** – „Meteorological Data of the G.-v.-Neumayer-Station (Antarctica)“ by L. Helmes
- Heft Nr. 65/1989** – „Expedition Antarktis VII/3 in 1988/89“ by I. Hempel, P. H. Schalk, V. Smetacek
- Heft Nr. 66/1989** – „Geomorphologisch-glaziologische Detailkartierung  
des arid-hochpolaren Borgmassivet, Neuschwabenland, Antarktika“ von Karsten Brunk
- Heft Nr. 67/1990** – „Identification key and catalogue of larval Antarctic fishes“,  
edited by Adolf Kellermann
- Heft Nr. 68/1990** – „The Expedition Antarktis VII/4 (Epos leg 3) and VII/5 of RV ‚Polarstern‘ in 1989“,  
edited by W. Arntz, W. Ernst, I. Hempel
- Heft Nr. 69/1990** – „Abhängigkeiten elastischer und rheologischer Eigenschaften des Meereises vom  
Eisgefüge“, von Harald Hellmann
- Heft Nr. 70/1990** – „Die beschalten benthischen Mollusken (Gastropoda und Bivalvia) des  
Weddellmeeres, Antarktis“, von Stefan Hain
- Heft Nr. 71/1990** – „Sedimentologie und Paläomagnetik an Sedimenten der Maudkuppe (Nordöstliches  
Weddellmeer)“, von Dieter Cordes
- Heft Nr. 72/1990** – „Distribution and abundance of planktonic copepods (Crustacea) in the Weddell Sea  
in summer 1980/81“, by F. Kurbjweit and S. Ali-Khan
- Heft Nr. 73/1990** – „Zur Frühdiagenese von organischem Kohlenstoff und Opal in Sedimenten des südlichen  
und östlichen Weddellmeeres“, von M. Schlüter
- Heft Nr. 74/1990** – „Expeditionen ANTARKTIS-VIII/3 und VIII/4 mit FS ‚Polarstern‘ 1989“  
von Rainer Gersonde und Gotthilf Hempel
- Heft Nr. 75/1991** – „Quartäre Sedimentationsprozesse am Kontinentalhang des Süd-Orkey-Plateaus im  
nordwestlichen Weddellmeer (Antarktis)“, von Sigrun Grünig
- Heft Nr. 76/1990** – „Ergebnisse der faunistischen Arbeiten im Benthal von King George Island  
(Südshetlandinseln, Antarktis)“, von Martin Rauschert
- Heft Nr. 77/1990** – „Verteilung von Mikroplankton-Organismen nordwestlich der Antarktischen Halbinsel  
unter dem Einfluß sich ändernder Umweltbedingungen im Herbst“, von Heinz Klöser
- Heft Nr. 78/1991** – „Hochauflösende Magnetostratigraphie spätquartärer Sedimente arktischer  
Meeresgebiete“, von Norbert R. Nowaczyk
- Heft Nr. 79/1991** – „Ökophysiologische Untersuchungen zur Salinitäts- und Temperaturtoleranz  
antarktischer Grünalgen unter besonderer Berücksichtigung des  $\beta$ -Dimethylsulfoniumpropionat  
(DMSP) - Stoffwechsels“, von Ulf Karsten
- Heft Nr. 80/1991** – „Die Expedition ARKTIS VII/1 mit FS ‚Polarstern‘ 1990“,  
herausgegeben von Jörn Thiede und Gotthilf Hempel
- Heft Nr. 81/1991** – „Paläoglaziologie und Paläozeanographie im Spätquartär am Kontinentalrand des  
südlichen Weddellmeeres, Antarktis“, von Martin Melles
- Heft Nr. 82/1991** – „Quantifizierung von Meereseigenschaften: Automatische Bildanalyse von  
Dünnschnitten und Parametrisierung von Chlorophyll- und Salzgehaltsverteilungen“, von Hajo Eicken
- Heft Nr. 83/1991** – „Das Fließen von Schelfeisen - numerische Simulationen  
mit der Methode der finiten Differenzen“, von Jürgen Determann
- Heft Nr. 84/1991** – „Die Expedition ANTARKTIS-VIII/1-2, 1989 mit der Winter Weddell Gyre Study  
der Forschungsschiffe ‚Polarstern‘ und ‚Akademik Fedorov‘“, von Ernst Augstein,  
Nikolai Bagriantsev und Hans Werner Schenke
- Heft Nr. 85/1991** – „Zur Entstehung von Unterwassereis und das Wachstum und die Energiebilanz  
des Meereises in der Atka Bucht, Antarktis“, von Josef Kipfstuhl
- Heft Nr. 86/1991** – „Die Expedition ANTARKTIS-VIII mit FS ‚Polarstern‘ 1989/90. Bericht vom  
Fahrtabschnitt ANT-VIII/5“, von Heinz Miller und Hans Oerter
- Heft Nr. 87/1991** – „Scientific cruise reports of Arctic expeditions ARK VI/1-4 of RV ‚Polarstern‘  
in 1989“, edited by G. Krause, J. Meincke & H. J. Schwarz
- Heft Nr. 88/1991** – „Zur Lebensgeschichte dominanter Copepodenarten (*Calanus finmarchicus*,  
*C. glacialis*, *C. hyperboreus*, *Metridia longa*) in der Framstraße“, von Sabine Diel

- Heft Nr. 89/1991** – „Detaillierte seismische Untersuchungen am östlichen Kontinentalrand des Weddell-Meereres vor Kapp Norvegia, Antarktis“, von Norbert E. Kaul
- Heft Nr. 90/1991** – „Die Expedition ANTARKTIS-VIII mit FS ‚Polarstern‘ 1989/90. Bericht von den Fahrtabschnitten ANT-VIII/6-7“, herausgegeben von Dieter Karl Fütterer und Otto Schrems
- Heft Nr. 91/1991** – „Blood physiology and ecological consequences in Weddell Sea fishes (Antarctica)“, by Andreas Kunzmann
- Heft Nr. 92/1991** – „Zur sommerlichen Verteilung des Mesozooplanktons im Nansen-Becken, Nordpolarmeere“, von Nicolai Mumm
- Heft Nr. 93/1991** – „Die Expedition ARKTIS VII mit FS ‚Polarstern‘, 1990. Bericht vom Fahrtabschnitt ARK VII/2“, herausgegeben von Gunther Krause
- Heft Nr. 94/1991** – „Die Entwicklung des Phytoplanktons im östlichen Weddellmeer (Antarktis) beim Übergang vom Spätwinter zum Frühjahr“, von Renate Scharek
- Heft Nr. 95/1991** – „Radioisotopenstratigraphie, Sedimentologie und Geochemie jungquartärer Sedimente des östlichen Arktischen Ozeans“, von Horst Bohrmann
- Heft Nr. 96/1991** – „Holozäne Sedimentationsentwicklung im Scoresby Sund, Ost-Grönland“, von Peter Marienfeld
- Heft Nr. 97/1991** – „Strukturelle Entwicklung und Abkühlungsgeschichte von Heimfrontfjella (Westliches Dronning Maud Land/Antarktika)“, von Joachim Jacobs
- Heft Nr. 98/1991** – „Zur Besiedlungsgeschichte des antarktischen Schelfes am Beispiel der Isopoda (Crustacea, Malacostraca)“, von Angelika Brandt
- Heft Nr. 99/1992** – „The Antarctic ice sheet and environmental change: a three-dimensional modelling study“, by Philippe Huybrechts
- \* **Heft Nr. 100/1992** – „Die Expeditionen ANTARKTIS IX/1-4 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1990/91“ herausgegeben von Ulrich Bathmann, Meinhard Schulz-Baldes, Eberhard Fahrback, Victor Smetacek und Hans-Wolfgang Hubberten
- Heft Nr. 101/1992** – „Wechselbeziehungen zwischen Schwermetallkonzentrationen (Cd, Cu, Pb, Zn) im Meerwasser und in Zooplanktonorganismen (Copepoda) der Arktis und des Atlantiks“, von Christa Pohl
- Heft Nr. 102/1992** – „Physiologie und Ultrastruktur der antarktischen Grünalge *Prasiola crispa* ssp. *antarctica* unter osmotischem Streß und Austrocknung“, von Andreas Jacob
- Heft Nr. 103/1992** – „Zur Ökologie der Fische im Weddellmeer“, von Gerd Hubold
- Heft Nr. 104/1992** – „Mehrkanalige adaptive Filter für die Unterdrückung von multiplen Reflexionen in Verbindung mit der freien Oberfläche in marinen Seismogrammen“, von Andreas Rosenberger
- Heft Nr. 105/1992** – „Radiation and Eddy Flux Experiment 1991 (REFLEX I)“, von Jörg Hartmann, Christoph Kottmeier und Christian Wamser
- Heft Nr. 106/1992** – „Ostracoden im Epipelagial vor der Antarktischen Halbinsel - ein Beitrag zur Systematik sowie zur Verbreitung und Populationsstruktur unter Berücksichtigung der Saisonalität“, von Rüdiger Kock
- Heft Nr. 107/1992** – „ARCTIC '91: Die Expedition ARK-VIII/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1991“, von Dieter K. Fütterer
- Heft Nr. 108/1992** – „Dehnungsbeben an einer Störungszone im Ekström-Schelfeis nördlich der Georg-von-Neumayer-Station, Antarktis. – Eine Untersuchung mit seismologischen und geodätischen Methoden“, von Uwe Nixdorf.
- Heft Nr. 109/1992** – „Spätquartäre Sedimentation am Kontinentalrand des südöstlichen Weddellmeeres, Antarktis“, von Michael Weber.
- Heft Nr. 110/1992** – „Sedimentfazies und Bodenwasserstrom am Kontinentalhang des norwestlichen Weddellmeeres“, von Isa Brehme.
- Heft Nr. 111/1992** – „Die Lebensbedingungen in den Solekanälchen des antarktischen Meereises“, von Jürgen Weissenberger.
- Heft Nr. 112/1992** – „Zur Taxonomie von rezenten benthischen Foraminiferen aus dem Nansen Becken, Arktischer Ozean“, von Jutta Wollenburg.
- Heft Nr. 113/1992** – „Die Expedition ARKTIS VIII/1 mit FS ‚Polarstern‘ 1991“, herausgegeben von Gerhard Kattner.
- \* **Heft Nr. 114/1992** – „Die Gründungsphase deutscher Polarforschung, 1865 - 1875“, von Reinhard A. Krause.
- Heft Nr. 115/1992** – „Scientific Cruise Report of the 1991 Arctic Expedition ARK VIII/2 of RV ‚Polarstern‘ (EPOS II)“, by Eike Racher.
- Heft Nr. 116/1992** – „The Meteorological Data of the Georg-von-Neumayer-Station (Antarctica) for 1988, 1989, 1990 and 1991“, by Gert König-Langlo.
- Heft Nr. 117/1992** – „Petrogenese des metamorphen Grundgebirges der zentralen Heimfrontfjella (westliches Dronning Maud Land / Antarktis)“, von Peter Schulze.
- Heft Nr. 118/1993** – „Die mafischen Gänge der Shackleton Range / Antarktika: Petrographie, Geochemie, Isotopengeochemie und Paläomagnetik“, von Rüdiger Hotten.
- \* **Heft Nr. 119/1993** – „Gefrierschutz bei Fischen der Polarmeere“, von Andreas P. A. Wöhrmann.
- \* **Heft Nr. 120/1993** – „East Siberian Arctic Region Expedition '92: The Laptev Sea - its Significance for Arctic Sea-Ice Formation and Transpolar Sediment Flux“, by D. Dethleff, D. Nürnberg, E. Reimnitz, M. Saarso and Y. P. Sacchenko. – „Expedition to Novaja Zemlja and Franz Josef Land with RV. ‚Dainie Zelentsy‘“, by D. Nürnberg and E. Groth.

- \* **Heft Nr. 121/1993** – „Die Expedition ANTARKTIS X/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Michael Spindler, Gerhard Dieckmann und David Thomas
- Heft Nr. 122/1993** – „Die Beschreibung der Korngestalt mit Hilfe der Fourier-Analyse: Parametrisierung der morphologischen Eigenschaften von Sedimentpartikeln“, von Michael Diepenbroek.
- \* **Heft Nr. 123/1993** – „Zerstörungsfreie hochauflösende Dichteuntersuchungen mariner Sedimente“, von Sebastian Gerland.
- Heft Nr. 124/1993** – „Umsatz und Verteilung von Lipiden in arktischen marinen Organismen unter besonderer Berücksichtigung unterer trophischer Stufen“, von Martin Graeve.
- Heft Nr. 125/1993** – „Ökologie und Respiration ausgewählter arktischer Bodenfischarten“, von Christian F. von Dorrien.
- Heft Nr. 126/1993** – „Quantitative Bestimmung von Paläoumweltparametern des Antarktischen Oberflächenwassers im Spätquartier anhand von Transferfunktionen mit Diatomeen“, von Ulrich Zielinski
- Heft Nr. 127/1993** – „Sedimenttransport durch das arktische Meereis: Die rezente lithogene und biogene Materialfracht“, von Ingo Wollenburg.
- Heft Nr. 128/1993** – „Cruise ANTARKTIS X/3 of RV ‚Polarstern‘: CTD-Report“, von Marek Zwierz.
- Heft Nr. 129/1993** – „Reproduktion und Lebenszyklen dominanter Copepodenarten aus dem Weddellmeer, Antarktis“, von Frank Kurbjeweit
- Heft Nr. 130/1993** – „Untersuchungen zu Temperaturregime und Massenhaushalt des Filchner-Ronne-Schelfeises, Antarktis, unter besonderer Berücksichtigung von Anfrier- und Abschmelzprozessen“, von Klaus Grosfeld
- Heft Nr. 131/1993** – „Die Expedition ANTARKTIS X/5 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Rainer Gersonde
- Heft Nr. 132/1993** – „Bildung und Abgabe kurzketziger halogener Kohlenwasserstoffe durch Makroalgen der Polarregionen“, von Frank Laturnus
- Heft Nr. 133/1994** – „Radiation and Eddy Flux Experiment 1993 (REFLEX III)“, by Christoph Kottmeier, Jörg Hartmann, Christian Wamser, Axel Bochert, Christof Lüpkes, Dietmar Freese and Wolfgang Cohrs
- \* **Heft Nr. 134/1994** – „The Expedition ARKTIS-IX/1“, edited by Hajo Eicken and Jens Meincke
- Heft Nr. 135/1994** – „Die Expeditionen ANTARKTIS X/6-8“, herausgegeben von Ulrich Bathmann, Victor Smetacek, Hein de Baar, Eberhard Fahrbach und Gunter Krause
- Heft Nr. 136/1994** – „Untersuchungen zur Ernährungsökologie von Kaiserpinguinen (*Aptenodytes forsteri*) und Königspinguinen (*Aptenodytes patagonicus*)“, von Klemens Pütz
- \* **Heft Nr. 137/1994** – „Die känozoische Vereisungsgeschichte der Antarktis“, von Werner U. Ehrmann
- Heft Nr. 138/1994** – „Untersuchungen stratosphärischer Aerosole vulkanischen Ursprungs und polarer stratosphärischer Wolken mit einem Mehrwellenlängen-Lidar auf Spitzbergen (79° N, 12° E)“, von Georg Beyerle
- Heft Nr. 139/1994** – „Charakterisierung der Isopodenfauna (Crustacea, Malacostraca) des Scotia-Bogens aus biogeographischer Sicht: Ein multivariater Ansatz“, von Holger Winkler.
- Heft Nr. 140/1994** – „Die Expedition ANTARKTIS X/4 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Peter Lemke
- Heft Nr. 141/1994** – „Satellitenaltimetrie über Eis – Anwendung des GEOSAT-Altimeters über dem Ekströmisen, Antarktis“, von Clemens Heidland
- Heft Nr. 142/1994** – „The 1993 Northeast Water Expedition. Scientific cruise report of RV ‚Polarstern‘ Arctic cruises ARK IX/2 and 3, USCG ‚Polar Bear‘ cruise NEWP and the NEWLand expedition“, edited by Hans-Jürgen Hirche and Gerhard Kattner
- Heft Nr. 143/1994** – „Detaillierte refraktionsseismische Untersuchungen im inneren Scoresby Sund Ost-Grönland“, von Notker Fechner
- Heft Nr. 144/1994** – „Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo-System Laptev Sea“, edited by Heidemarie Kassens, Hans-Wolfgang Hubberten, Sergey M. Pryamikov and Rüdiger Stein
- \* **Heft Nr. 145/1994** – „The 1993 Northeast Water Expedition. Data Report of RV ‚Polarstern‘ Arctic Cruises IX/2 and 3“, edited by Gerhard Kattner and Hans-Jürgen Hirche.
- Heft Nr. 146/1994** – „Radiation Measurements at the German Antarctic Station Neumayer 1982 - 1992“, by Torsten Schmidt and Gerd König-Langlo.
- Heft Nr. 147/1994** – „Krustenstrukturen und Verlauf des Kontinentalrandes im Weddell-See / Antarktis“, von Christian Hübscher.
- Heft Nr. 148/1994** – „The expeditions NORILSK/TAYMYR 1993 and BUNGER OASIS 1993/94 of the AWI Research Unit Potsdam“, edited by Martin Melles.
- \*\* **Heft Nr. 149/1994** – „Die Expedition ARCTIC '93. Der Fahrtabschnitt ARK-IX/4 mit FS ‚Polarstern‘ 1993“, herausgegeben von Dieter K. Fütterer.
- Heft Nr. 150/1994** – „Der Energiebedarf der Pygoscelis-Pinguine: eine Synopse“, von Boris M. Culik.
- Heft Nr. 151/1994** – „Russian-German Cooperation: The Transdrift I Expedition to the Laptev Sea“, edited by Heidemarie Kassens and Valeriy Y. Karpiy.
- Heft Nr. 152/1994** – „Die Expedition ANTARKTIS-X mit FS ‚Polarstern‘ 1992. Bericht von den Fahrtabschnitten / ANT-X / 1a und 2“, herausgegeben von Heinz Miller.
- Heft Nr. 153/1994** – „Aminosäuren und Huminstoffe im Stickstoffkreislauf polarer Meere“, von Ulrike Hubberten.
- Heft Nr. 154/1994** – „Regional and seasonal variability in the vertical distribution of mesozooplankton in the Greenland Sea“, by Claudio Richter.

- Heft Nr. 155/1995** – „Benthos in polaren Gewässern“, herausgegeben von Christian Wiencke und Wolf Arntz.
- Heft Nr. 156/1995** – “An adjoint model for the determination of the mean oceanic circulation, air-sea fluxes and mixing coefficients”, by Reiner Schlitzer.
- Heft Nr. 157/1995** – „Biochemische Untersuchungen zum Lipidstoffwechsel antarktischer Copepoden“, von Kirsten Fahl.
- \*\* Heft Nr. 158/1995** – „Die Deutsche Polarforschung seit der Jahrhundertwende und der Einfluß Erich von Drygalskis“, von Cornelia Lüdecke.
- Heft Nr. 159/1995** – “The distribution of  $\delta^{18}\text{O}$  in the Arctic Ocean: Implications for the freshwater balance of the halocline and the sources of deep and bottom waters”, by Dorothea Bauch.
- \* Heft Nr. 160/1995** – „Rekonstruktion der spätquartären Tiefenwasserzirkulation und Produktivität im östlichen Südatlantik anhand von benthischen Foraminiferenvergesellschaftungen“, von Gerhard Schmiedl.
- Heft Nr. 161/1995** – „Der Einfluß von Salinität und Lichtintensität auf die Osmolytkonzentrationen, die Zellvolumina und die Wachstumsraten der antarktischen Eisdiatomeen *Chaetoceros sp.* und *Navicula sp.* unter besonderer Berücksichtigung der Aminosäure Prolin“, von Jürgen Nothnagel.
- Heft Nr. 162/1995** – „Meereistransportiertes lithogenes Feinmaterial in spätquartären Tiefseesedimenten des zentralen östlichen Arktischen Ozeans und der Framstraße“, von Thomas Letzig.
- Heft Nr. 163/1995** – „Die Expedition ANTARKTIS-XI/2 mit FS ‚Polarstern‘ 1993/94“, herausgegeben von Rainer Gersonde.
- Heft Nr. 164/1995** – „Regionale und altersabhängige Variation gesteinsmagnetischer Parameter in marinen Sedimenten der Arktis“, von Thomas Frederichs.
- Heft Nr. 165/1995** – „Vorkommen, Verteilung und Umsatz biogener organischer Spurenstoffe: Sterole in antarktischen Gewässern“, von Georg Hanke.
- Heft Nr. 166/1995** – „Vergleichende Untersuchungen eines optimierten dynamisch-thermodynamischen Meereismodells mit Beobachtungen im Weddellmeer“, von Holger Fischer.
- Heft Nr. 167/1995** – „Rekonstruktionen von Paläo-Umweltparametern anhand von stabilen Isotopen und Faunen-Vergesellschaftungen planktischer Foraminiferen im Südatlantik“, von Hans-Stefan Niebler
- Heft Nr. 168/1995** – „Die Expedition ANTARKTIS XII mit FS ‚Polarstern‘ 1993/94. Bericht von den Fahrtabschnitten ANT XII/1 und 2“, herausgegeben von Gerhard Kattner und Dieter Karl Fütterer
- Heft Nr. 169/1995** – „Medizinische Untersuchung zur Circadianrhythmik und zum Verhalten bei Überwinterern auf einer antarktischen Forschungsstation“, von Hans Wortmann
- Heft-Nr. 170/1995** – DFG-Kolloquium: Terrestrische Geowissenschaften – Geologie und Geophysik der Antarktis.
- Heft Nr. 171/1995** – „Strukturentwicklung und Petrogenese des metamorphen Grundgebirges der nördlichen Heimfrontfjella (westliches Dronning Maud Land/Antarktika)“, von Wilfried Bauer.
- Heft Nr. 172/1995** – „Die Struktur der Erdkruste im Bereich des Scoresby Sund, Ostgrönland: Ergebnisse refraktionsseismischer und gravimetrischer Untersuchungen“, von Holger Mandler.
- Heft Nr. 173/1995** – „Paläozoische Akkretion am paläopazifischen Kontinentalrand der Antarktis in Nordvictorialand – P-T-D-Geschichte und Deformationsmechanismen im Bowers Terrane“, von Stefan Matzer.
- Heft Nr. 174/1995** – “The Expedition ARKTIS-X/2 of RV ‚Polarstern‘ in 1994“, edited by Hans-W. Hubberten
- Heft Nr. 175/1995** – “Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR 1994“, edited by Christine Siebert and Gmityr Bolshiyayov.
- Heft Nr. 176/1995** – “Russian-German Cooperation: Laptev Sea System“, edited by Heidemarie Kassens, Dieter Piepenburg, Jörn Thiede, Leonid Timokhov, Hans-Wolfgang Hubberten and Sergey M. Priamikov.
- Heft Nr. 177/1995** – „Organischer Kohlenstoff in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans: Terrigener Eintrag und marine Produktivität“, von Carsten J. Schubert
- Heft Nr. 178/1995** – “Cruise ANTARKTIS XII/4 of RV ‚Polarstern‘ in 1995: CTD-Report“, by Jüri Sildam.
- Heft Nr. 179/1995** – „Benthische Foraminiferenfaunen als Wassermassen-, Produktions- und Eisdriftanzeiger im Arktischen Ozean“, von Jutta Wollenburg.
- Heft Nr. 180/1995** – „Biogenopal und biogenes Barium als Indikatoren für spätquartäre Produktivitätsänderungen am antarktischen Kontinentalhang, atlantischer Sektor“, von Wolfgang J. Bonn.
- Heft Nr. 181/1995** – „Die Expedition ARKTIS X/1 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1994“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach.
- Heft Nr. 182/1995** – “Laptev Sea System: Expeditions in 1994“, edited by Heidemarie Kassens.
- Heft Nr. 183/1996** – „Interpretation digitaler Parasound Echolotaufzeichnungen im östlichen Arktischen Ozean auf der Grundlage physikalischer Sedimenteigenschaften“, von Uwe Bergmann.
- Heft Nr. 184/1996** – “Distribution and dynamics of inorganic nitrogen compounds in the troposphere of continental, coastal, marine and Arctic areas“, by Maria Dolores Andrés Hernández.
- Heft Nr. 185/1996** – „Verbreitung und Lebensweise der Aphroditen und Polynoiden (Polychaeta) im östlichen Weddellmeer und im Lazarevmeer (Antarktis)“, von Michael Stiller.
- Heft Nr. 186/1996** – “Reconstruction of Late Quaternary environmental conditions applying the natural radionuclides  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{231}\text{Pa}$  and  $^{239}\text{U}$ : A study of deep-sea sediments from the eastern sector of the Antarctic Circumpolar Current System“, by Martin Frank.
- Heft Nr. 187/1996** – “The Meteorological Data of the Neumayer Station (Antarctica) for 1992, 1993 and 1994“, by Gert König-Langlo and Andreas Herber.
- Heft Nr. 188/1996** – „Die Expedition ANTARKTIS-XI/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1994“, herausgegeben von Heinz Miller und Hannes Grobe.
- Heft Nr. 189/1996** – „Die Expedition ARKTIS-VII/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1990“, herausgegeben von Heinz Miller und Hannes Grobe



- Heft Nr. 190/1996** – "Cruise report of the Joint Chilean-German-Italian Magellan 'Victor Hensen' Campaign in 1994", edited by Wolf Arntz and Matthias Gorny.
- Heft Nr. 191/1996** – „Leitfähigkeits- und Dichtemessung an Eisbohrkernen“, von Frank Wilhelms.
- Heft Nr. 192/1996** – „Photosynthese-Charakteristika und Lebensstrategie antarktischer Makroalgen“, von Gabriele Weykam.
- Heft Nr. 193/1996** – „Heterogene Reaktionen von N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und Hbr und ihr Einfluß auf den Ozonabbau in der polaren Stratosphäre“, von Sabine Seisel.
- Heft Nr. 194/1996** – „Ökologie und Populationsdynamik antarktischer Ophiuroiden (Echinodermata)“, von Corinna Dahm.
- Heft Nr. 195/1996** – „Die planktische Foraminifere *Neoglobobulimina pachyderma* (Ehrenberg) im Weddellmeer, Antarktis“, von Doris Berberich.
- Heft Nr. 196/1996** – „Untersuchungen zum Beitrag chemischer und dynamischer Prozesse zur Variabilität des stratosphärischen Ozons über der Arktis“, von Birgit Heese.
- Heft Nr. 197/1996** – "The Expedition ARKTIS-XI/2 of 'Polarstern' in 1995", edited by Gunther Krause.
- Heft Nr. 198/1996** – „Geodynamik des Westantarktischen Riftsystems basierend auf Apatit-Spaltspuranalysen“, von Frank Lisker.
- Heft Nr. 199/1996** – "The 1993 Northeast Water Expedition. Data Report on CTD Measurements of RV 'Polarstern' Cruises ARKTIS IX/2 and 3", by Gerion Budéus and Wolfgang Schneider.
- Heft Nr. 200/1996** – "Stability of the Thermohaline Circulation in analytical and numerical models", by Gerrit Lohmann.
- Heft Nr. 201/1996** – „Trophische Beziehungen zwischen Makroalgen und Herbivoren in der Potter Cove (King George-Insel, Antarktis)“, von Katrin Iken.
- Heft Nr. 202/1996** – „Zur Verbreitung und Respiration ökologisch wichtiger Bodentiere in den Gewässern um Svalbard (Arktis)“, von Michael K. Schmid.
- Heft Nr. 203/1996** – „Dynamik, Rauigkeit und Alter des Meereises in der Arktis – Numerische Untersuchungen mit einem großskaligen Modell“, von Markus Harder.
- Heft Nr. 204/1996** – „Zur Parametrisierung der stabilen atmosphärischen Grenzschicht über einem antarktischen Schelfeis“, von Dörthe Handorf.
- Heft Nr. 205/1996** – "Textures and fabrics in the GRIP ice core, in relation to climate history and ice deformation", by Thorsteinn Thorsteinsson.
- Heft Nr. 206/1996** – „Der Ozean als Teil des gekoppelten Klimasystems: Versuch der Rekonstruktion der glazialen Zirkulation mit verschiedenen komplexen Atmosphärenkomponenten“, von Kerstin Fieg.
- Heft Nr. 207/1996** – „Lebensstrategien dominanter antarktischer Oithonidae (Cyclopoida, Copepoda) und Oncaeidae (Poecilostomatoida, Copepoda) im Bellingshausenmeer“, von Cornelia Metz.
- Heft Nr. 208/1996** – „Atmosphäreneinfluß bei der Fernerkundung von Meereis mit passiven Mikrowellenradiometern“, von Christoph Oelke.
- Heft Nr. 209/1996** – „Klassifikation von Radarsatellitendaten zur Meereiserkennung mit Hilfe von Line-Scanner-Messungen“, von Axel Bochert.
- Heft Nr. 210/1996** – „Die mit ausgewählten Schwämmen (Hexactinellida und Demospongiae) aus dem Weddellmeer, Antarktis, vergesellschaftete Fauna“, von Kathrin Kunzmann.
- Heft Nr. 211/1996** – "Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR 1995 and the Expedition KOLYMA 1995", by Dima Yu. Bolshiyarov and Hans-W. Hubberten.
- Heft Nr. 212/1996** – "Surface-sediment composition and sedimentary processes in the central Arctic Ocean and along the Eurasian Continental Margin", by Ruediger Stein, Gennadij I. Ivanov, Michael A. Levitan, and Kirsten Fahl.
- Heft Nr. 213/1996** – „Gonadenentwicklung und Eiproduktion dreier *Calanus*-Arten (Copepoda): Freilandbeobachtungen, Histologie und Experimente“, von Barbara Niehoff.
- Heft Nr. 214/1996** – „Numerische Modellierung der Übergangszone zwischen Eisschild und Eisschelf“, von Christoph Mayer.
- Heft Nr. 215/1996** – „Arbeiten der AWI-Forschungsstelle Potsdam in Antarktika, 1994/95“, herausgegeben von Ulrich Wand.
- Heft Nr. 216/1996** – „Rekonstruktion quartärer Klimaänderungen im atlantischen Sektor des Südpolarmeeres anhand von Radiolarien“, von Uta Brathauer.
- Heft Nr. 217/1996** – „Adaptive Semi-Lagrange-Finite-Elemente-Methode zur Lösung der Flachwassergleichungen: Implementierung und Parallelisierung“, von Jörn Behrens.
- Heft Nr. 218/1997** – "Radiation and Eddy Flux Experiment 1995 (REFLEX III)", by Jörg Hartmann, Axel Bochert, Dietmar Freese, Christoph Kottmeier, Dagmar Nagel and Andreas Reuter.
- Heft Nr. 219/1997** – „Die Expedition ANTARKTIS-XII mit FS 'Polarstern' 1995. Bericht vom Fahrtabschnitt ANT-XII/3, herausgegeben von Wilfried Jokat und Hans Oerter.
- Heft Nr. 220/1997** – „Ein Beitrag zum Schwerefeld im Bereich des Weddellmeeres, Antarktis. Nutzung von Altimetermessungen des GEOSAT und ERS-1“, von Tilo Schöne.
- Heft Nr. 221/1997** – „Die Expeditionen ANTARKTIS-XIII/1-2 des Forschungsschiffes 'Polarstern' 1995/96“, herausgegeben von Ulrich Bathmann, Mike Lukas und Victor Smetacek.
- Heft Nr. 222/1997** – "Tectonic Structures and Glaciomarine Sedimentation in the South-Eastern Weddell Sea from Seismic Reflection Data", by László Oszkó.

- Heft Nr. 223/1997** – „Bestimmung der Meereisdicke mit seismischen und elektromagnetisch-induktiven Verfahren“, von Christian Haas.
- Heft Nr. 224/1997** – „Troposphärische Ozonvariationen in Polarregionen“, von Silke Wessel.
- Heft Nr. 225/1997** – „Biologische und ökologische Untersuchungen zur kryopelagischen Amphipodenfauna des arktischen Meereises“, von Michael Poltermann.
- Heft Nr. 226/1997** – “Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XI/1 of RV ‘Polarstern’ in 1995“, edited by Eike Rachor.
- Heft Nr. 227/1997** – „Der Einfluß kompatibler Substanzen und Kryoprotektoren auf die Enzyme Malatdehydrogenase (MDH) und Glucose-6-phosphat-Dehydrogenase (G6P-DH) aus *Acrosiphonia arctica* (Chlorophyta) der Arktis“, von Katharina Kück.
- Heft Nr. 228/1997** – „Die Verbreitung epibenthischer Mollusken im chilenischen Beagle-Kanal“, von Katrin Linse.
- Heft Nr. 229/1997** – „Das Mesozooplankton im Laptevmeer und östlichen Nansen-Becken - Verteilung und Gemeinschaftsstrukturen im Spätsommer“, von Hinrich Hanssen.
- Heft Nr. 230/1997** – „Modell eines adaptierbaren, rechnergestützten, wissenschaftlichen Arbeitsplatzes am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung“, von Lutz-Peter Kurdelski
- Heft Nr. 231/1997** – „Zur Ökologie arktischer und antarktischer Fische: Aktivität, Sinnesleistungen und Verhalten“, von Christopher Zimmermann
- Heft Nr. 232/1997** – „Persistente chlororganische Verbindungen in hochantarktischen Fischen“, von Stephan Zimmermann
- Heft Nr. 233/1997** – „Zur Ökologie des Dimethylsulfoniumpropionat (DMSP)-Gehaltes temperierter und polarer Phytoplanktongemeinschaften im Vergleich mit Laborkulturen der Coccolithophoride *Emiliania huxleyi* und der antarktischen Diatomee *Nitzschia lecontei*“, von Doris Meyerdieterks.
- Heft Nr. 234/1997** – „Die Expedition ARCTIC '96 des FS ‚Polarstern‘ (ARK XIII) mit der Arctic Climate System Study (ACSYS)“, von Ernst Augstein und den Fahrtteilnehmern.
- Heft Nr. 235/1997** – „Polonium-210 und Blei-210 im Südpolarmeer: Natürliche Tracer für biologische und hydrographische Prozesse im Oberflächenwasser des Antarktischen Zirkumpolarstroms und des Weddellmeeres“, von Jana Friedrich
- Heft Nr. 236/1997** – “Determination of atmospheric trace gas amounts and corresponding natural isotopic ratios by means of ground-based FTIR spectroscopy in the high Arctic“, by Arndt Meier.
- Heft Nr. 237/1997** – “Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR/SEVERNAYA ZEMLYA 1996“, edited by Martin Melles, Birgit Hagedorn and Dmitri Yu. Bolshiyarov
- Heft Nr. 238/1997** – “Life strategy and ecophysiology of Antarctic macroalgae“, by Iván M. Gómez.
- Heft Nr. 239/1997** – „Die Expedition ANTARKTIS XIII/4-5 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1996“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach und Dieter Gerdes.
- Heft Nr. 240/1997** – „Untersuchungen zur Chrom-Speziation in Meerwasser, Meereis und Schnee aus ausgewählten Gebieten der Arktis“, von Heide Giese.
- Heft Nr. 241/1997** – “Late Quaternary glacial history and paleoceanographic reconstructions along the East Greenland continental margin: Evidence from high-resolution records of stable isotopes and ice-rafted debris“, by Seung-II Nam.
- Heft Nr. 242/1997** – “Thermal, hydrological and geochemical dynamics of the active layer at a continuous permafrost site, Taymyr Peninsula, Siberia“, by Julia Boike.
- Heft Nr. 243/1997** – „Zur Paläoozeanographie hoher Breiten: Stellvertreterdaten aus Foraminiferen“, von Andreas Mackensen.
- Heft Nr. 244/1997** – “The Geophysical Observatory at Neumayer Station, Antarctica, Geomagnetic and seismological observations in 1995 and 1996“, by Alfons Eckstaller, Thomas Schmidt, Viola Graw, Christian Müller and Johannes Røgenhagen.
- Heft Nr. 245/1997** – „Temperaturbedarf und Biogeographie mariner Makroalgen - Anpassung mariner Makroalgen an tiefe Temperaturen, von Bettina Bischoff-Bäsmann.
- Heft Nr. 246/1997** – „Ökologische Untersuchungen zur Fauna des arktischen Meereises“, von Christine Friedrich.
- Heft Nr. 247/1997** – „Entstehung und Modifizierung von marinen gelösten organischen Substanzen“, von Berit Kirchhoff.
- Heft Nr. 248/1997** – “Laptev Sea System: Expeditions in 1995“, edited by Heidemarie Kassens.
- Heft Nr. 249/1997** – “The Expedition ANTARKTIS XIII/3 (EASIZ I) of RV ‘Polarstern’ to the eastern Weddell Sea in 1996“, edited by Wolf Arntz and Julian Gutt.
- Heft Nr. 250/1997** – „Vergleichende Untersuchungen zur Ökologie und Biodiversität des Mega-Epibenthos der Arktis und Antarktis“, von Andreas Starmans.
- Heft Nr. 251/1997** – „Zeitliche und räumliche Verteilung von Mineralvergesellschaftungen in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans und ihre Nützlichkeit als Klimaindikatoren während der Glazial/Interglazial-Wechsel“, von Christoph Vogt.
- Heft Nr. 252/1997** – „Solitäre Ascidien in der Potter Cove (King George Island, Antarktis). Ihre ökologische Bedeutung und Populationsdynamik“, von Stephan Kühne.
- Heft Nr. 253/1997** – “Distribution and role of microprotozoa in the Southern Ocean“, by Christine Klaas.
- Heft Nr. 254/1997** – „Die spätquartäre Klima- und Umweltgeschichte der Bungeer-Oase, Ostantarktis“, von Thomas Kulbe

- Heft Nr. 255/1997** – "Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/2 of RV 'Polarstern' in 1997", edited by Ruediger Stein and Kirsten Fahl.
- Heft Nr. 256/1998** – „Das Radionuklid Tritium im Ozean: Meßverfahren und Verteilung von Tritium im Südatlantik und im Weddellmeer“, von Jürgen Sültenfuß.
- Heft Nr. 257/1998** – „Untersuchungen der Saisonalität von atmosphärischem Dimethylsulfid in der Arktis und Antarktis“, von Christoph Kleefeld.
- Heft Nr. 258/1998** – „Bellingshausen- und Amundsenmeer: Entwicklung eines Sedimentationsmodells“, von Frank-Oliver Nitsche.
- Heft Nr. 259/1998** – "The Expedition ANTARKTIS-XIV/4 of RV 'Polarstern' in 1997", by Dieter K. Fütterer.
- Heft Nr. 260/1998** – „Die Diatomeen der Laptevsee (Arktischer Ozean): Taxonomie und biogeographische Verbreitung“, von Holger Cremer
- Heft Nr. 261/1998** – „Die Krustenstruktur und Sedimentdecke des Eurasischen Beckens, Arktischer Ozean: Resultate aus seismischen und gravimetrischen Untersuchungen“, von Estella Weigelt.
- Heft Nr. 262/1998** – "The Expedition ARKTIS-XIII/3 of RV 'Polarstern' in 1997", by Gunther Krause.
- Heft Nr. 263/1998** – „Thermo-tektonische Entwicklung von Oates Land und der Shackleton Range (Antarktis) basierend auf Spaltspuranalysen“, von Thorsten Schäfer.
- Heft Nr. 264/1998** – „Messungen der stratosphärischen Spurengase ClO, HCl, O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O und OH mittels flugzeuggetragener Submillimeterwellen-Radiometrie“, von Joachim Urban.
- Heft Nr. 265/1998** – „Untersuchungen zu Massenhaushalt und Dynamik des Ronne Ice Shelves, Antarktis“, von Astrid Lambrecht.
- Heft Nr. 266/1998** – "Scientific Cruise Report of the Kara Sea Expedition of RV 'Akademic Boris Petrov' in 1997", edited by Jens Matthiessen and Oleg Stepanets.
- Heft Nr. 267/1998** – „Die Expedition ANTARKTIS-XIV mit FS ‚Polarstern‘ 1997. Bericht vom Fahrtabschnitt ANT-XIV/3“, herausgegeben von Wilfried Jokat und Hans Oerter.
- Heft Nr. 268/1998** – „Numerische Modellierung der Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Meereis in der arktischen Eisrandzone“, von Gerit Birnbaum.
- Heft Nr. 269/1998** – "Katabatic wind and Boundary Layer Front Experiment around Greenland (KABEG '97)", by Günther Heinemann.
- Heft Nr. 270/1998** – "Architecture and evolution of the continental crust of East Greenland from integrated geophysical studies", by Vera Schindwein.
- Heft Nr. 271/1998** – "Winter Expedition to the Southwestern Kara Sea - Investigations on Formation and Transport of Turbid Sea-Ice", by Dirk Dethleff, Per Loewe, Dominik Weiel, Hartmut Nies, Gesa Kuhlmann, Christian Bahe and Gennady Tarasov.
- Heft Nr. 272/1998** – „FTIR-Emissionsspektroskopische Untersuchungen der arktischen Atmosphäre“, von Edo Becker.
- Heft Nr. 273/1998** – „Sedimentation und Tektonik im Gebiet des Agulhas Rückens und des Agulhas Plateaus („SETA-RAP“)", von Gabriele Uenzelmann-Neben.
- Heft Nr. 274/1998** – "The Expedition ANTARKTIS XIV/2", by Gerhard Kattner.
- Heft Nr. 275/1998** – „Die Auswirkung der 'NorthEastWater'-Polynya auf die Sedimentation von NO-Grönland und Untersuchungen zur Paläo-Ozeanographie seit dem Mittelwechsel“, von Hanne Notholt.
- Heft Nr. 276/1998** – „Interpretation und Analyse von Potentialfelddaten im Weddellmeer, Antarktis: der Zerfall des Superkontinents Gondwana“, von Michael Studinger.
- Heft Nr. 277/1998** – „Koordiniertes Programm Antarktisforschung“. Berichtskolloquium im Rahmen des Koordinierten Programms „Antarktisforschung mit vergleichenden Untersuchungen in arktischen Eisgebieten“, herausgegeben von Hubert Miller.
- Heft Nr. 278/1998** – „Messung stratosphärischer Spurengase über Ny-Ålesund, Spitzbergen, mit Hilfe eines bodengebundenen Mikrowellen-Radiometers“, von Uwe Raffalski.
- Heft Nr. 279/1998** – "Arctic Paleo-River Discharge (APARD). A New Research Programme of the Arctic Ocean Science Board (AOSB)", edited by Ruediger Stein.
- Heft Nr. 280/1998** – „Fernerkundungs- und GIS-Studien in Nordostgrönland“ von Friedrich Jung-Rothenhäusler.
- Heft Nr. 281/1998** – „Rekonstruktion der Oberflächenwassermassen der östlichen Laptevsee im Holozän anhand von aquatischen Palynomorphen“, von Martina Kunz-Pirrung.
- Heft Nr. 282/1998** – "Scavenging of <sup>231</sup>Pa and <sup>230</sup>Th in the South Atlantic: Implications for the use of the <sup>231</sup>Pa/<sup>230</sup>Th ratio as a paleoproductivity proxy", by Hans-Jürgen Walter.
- Heft Nr. 283/1998** – „Sedimente im arktischen Meereis - Eintrag, Charakterisierung und Quantifizierung“, von Frank Lindemann.
- Heft Nr. 284/1998** – „Langzeitanalyse der antarktischen Meereisbedeckung aus passiven Mikrowellendaten“, von Christian H. Thomas.
- Heft Nr. 285/1998** – „Mechanismen und Grenzen der Temperaturanpassung beim Pierwurm *Arenicola marina* (L.)“, von Angela Sommer.
- Heft Nr. 286/1998** – „Energieumsätze benthischer Filtrierer der Potter Cove (King George Island, Antarktis)“, von Jens Kowalke.
- Heft Nr. 287/1998** – "Scientific Cooperation in the Russian Arctic: Research from the Barents Sea up to the Laptev Sea", edited by Eike Rachor.

- Heft Nr. 288/1998** – „Alfred Wegener. Kommentiertes Verzeichnis der schriftlichen Dokumente seines Lebens und Wirkens“, von Ulrich Wutzke.
- Heft Nr. 289/1998** – „Retrieval of Atmospheric Water Vapor Content in Polar Regions Using Spaceborne Microwave Radiometry“, by Jungang Miao.
- Heft Nr. 290/1998** – „Strukturelle Entwicklung und Petrogenese des nördlichen Kristallingürtels der Shackleton Range, Antarktis: Proterozoische und Ross-orogene Krustendynamik am Rand des Ostantarktischen Kratons“, von Axel Brommer.
- Heft Nr. 291/1998** – „Dynamik des arktischen Meereises - Validierung verschiedener Rheologieansätze für die Anwendung in Klimamodellen“, von Martin Kreyscher.
- Heft Nr. 292/1998** – „Anthropogene organische Spurenstoffe im Arktischen Ozean, Untersuchungen chlorierter Biphenyle und Pestizide in der Laptevsee, technische und methodische Entwicklungen zur Probenahme in der Arktis und zur Spurenstoffanalyse“, von Sven Utschakowski.
- Heft Nr. 293/1998** – „Rekonstruktion der spätquartären Klima- und Umweltgeschichte der Schirmacher Oase und des Wohlthat Massivs (Ostantarktika)“, von Markus Julius Schwab.
- Heft Nr. 294/1998** – „Besiedlungsmuster der benthischen Makrofauna auf dem ostgrönländischen Kontinentalhang“, von Klaus Schnack.
- Heft Nr. 295/1998** – „Gehäuseuntersuchungen an planktischen Foraminiferen hoher Breiten: Hinweise auf Umweltveränderungen während der letzten 140.000 Jahre“, von Harald Hommers.
- Heft Nr. 296/1998** – „Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/1 of RV 'Polarstern' in 1997“, edited by Michael Spindler, Wilhelm Hagen and Dorothea Stübing.
- Heft Nr. 297/1998** – „Radiometrische Messungen im arktischen Ozean - Vergleich von Theorie und Experiment“, von Klaus-Peter Johnsen.
- Heft Nr. 298//1998** – „Patterns and Controls of CO<sub>2</sub> Fluxes in Wet Tundra Types of the Taimyr Peninsula, Siberia - the Contribution of Soils and Mosses“, by Martin Sommerkorn.
- Heft Nr. 299/1998** – „The Potter Cove coastal ecosystem, Antarctica. Synopsis of research performed within the frame of the Argentinean-German Cooperation at the Dallmann Laboratory and Jubany Station (Kind George Island, Antarctica, 1991 - 1997)“, by Christian Wiencke, Gustavo Ferreyra, Wolf Arntz & Carlos Rinaldi.
- Heft Nr. 300/1999** – „The Kara Sea Expedition of RV 'Akademik Boris Petrov' 1997: First Results of a Joint Russian-German Pilot Study“, edited by Jens Matthiessen, Oleg V. Stepanets, Ruediger Stein, Dieter K. Fütterer, and Eric M. Galimov.
- Heft Nr. 301/1999** – „The Expedition ANTARKTIS XV/3 (EASIZ II)“, edited by Wolf E. Arntz and Julian Gutt.
- Heft Nr. 302/1999** – „Sterole im herbstlichen Weddellmeer (Antarktis): Großräumige Verteilung, Vorkommen und Umsatz“, von Anneke Mühlebach.
- Heft Nr. 303/1999** – „Polare stratosphärische Wolken: Lidar-Beobachtungen, Charakterisierung von Entstehung und Entwicklung“, von Jens Biele.
- Heft Nr. 304/1999** – „Spätquartäre Paläoumweltbedingungen am nördlichen Kontinentalrand der Barents- und Kara-See. Eine Multi-Parameter-Analyse“, von Jochen Knies.
- Heft Nr. 305/1999** – „Arctic Radiation and Turbulence Interaction Study (ARTIST)“, by Jörg Hartmann, Frank Albers, Stefania Argenti, Axel Bocher, Ubaldo Bonafé, Wolfgang Cohrs, Alessandro Conidi, Dietmar Freese, Teodoro Georgiadis, Alessandro Ippoliti, Lars Kaleschke, Christof Lüpkes, Uwe Maixner, Giangiuseppe Mastrantonio, Fabrizio Ravegnani, Andreas Reuter, Giuliano Trivellone and Angelo Viola.
- Heft Nr. 306/1999** – „German-Russian Cooperation: Biogeographic and biostratigraphic investigations on selected sediment cores from the Eurasian continental margin and marginal seas to analyze the Late Quaternary climatic variability“, edited by Robert R. Spielhagen, Max S. Barash, Gennady I. Ivanov, and Jörn Thiede.
- Heft Nr. 307/1999** – „Struktur und Kohlenstoffbedarf des Makrobenthos am Kontinentalhang Ostgrönlands“, von Dan Seiler.
- Heft Nr. 308/1999** – „ARCTIC '98: The Expedition ARK-XIV/1a of RV 'Polarstern' in 1998“, edited by Wilfried Jokat.
- Heft Nr. 309/1999** – „Variabilität der arktischen Ozonschicht: Analyse und Interpretation bodengebundener Millimeterwellenmessungen“, von Björn-Martin Sinnhuber.
- Heft Nr. 310/1999** – „Rekonstruktion von Meereisdrift und terrigenem Sedimenteintrag im Spätquartär: Schwermineralassoziationen in Sedimenten des Laptev-See-Kontinentalrandes und des zentralen Arktischen Ozeans“, von Marion Behrends.
- Heft Nr. 311/1999** – „Parameterisierung atmosphärischer Grenzschichtprozesse in einem regionalen Klimamodell der Arktis“, von Christoph Abegg.
- Heft Nr. 312/1999** – „Solare und terrestrische Strahlungswechselwirkung zwischen arktischen Eisflächen und Wolken“, von Dietmar Freese.
- Heft Nr. 313/1999** – „Snow accumulation on Ekströmsen, Antarctica“, by Elisabeth Schlosser, Hans Oerter and Wolfgang Graf.
- Heft Nr. 314/1999** – „Die Expedition ANTARKTIS XV/4 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1998“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach.
- Heft Nr. 315/1999** – „Expeditions in Siberia in 1998“, edited by Volker Rachold.
- Heft Nr. 316/1999** – „Die postglaziale Sedimentationsgeschichte der Laptevsee: schwermineralogische und sedimentpetrographische Untersuchungen“, von Bernhard Peregovich.

\* vergriffen/out of print.  
 \*\* nur noch beim Autor/only from the author.