

**Quantitative Bestimmung von Paläoumweltparametern des  
Antarktischen Oberflächenwassers im Spätquartär anhand  
von Transferfunktionen mit Diatomeen**

**Quantitative estimation of palaeoenvironmental parameters of  
the Antarctic Surface Water in the Late Quaternary using  
transfer functions with diatoms**

---

**Ulrich Zielinski**

**Ber. Polarforsch. 126 (1993)  
ISSN 0176 - 5027**

**Ulrich Zielinski**

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung  
Columbusstraße; D-2850 Bremerhaven; Bundesrepublik Deutschland

Die vorliegende Arbeit ist die inhaltlich unveränderte Fassung einer Dissertation, die 1993 am Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen angefertigt wurde.

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
KURZFASSUNG/ABSTRACT .....	III
DANKSAGUNG .....	VII
1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG.....	1
2. FRÜHERE ARBEITEN ZU TRANSFERFUNKTIONEN AUS DIATOMEEN- ZÄHLDATEN .....	3
3. UNTERSUCHUNGSGEBIET.....	7
3.1. Geographischer Überblick .....	7
3.2. Hydrographie.....	8
3.3. Meereisverbreitung und Eisbergtransport.....	12
4. MATERIAL UND METHODEN.....	15
4.1. Probenmaterial und Entnahme .....	15
4.2. Aufbereitung und Präparation.....	19
4.3. Zählmethodik.....	21
4.4. Erfassung des Erhaltungszustandes.....	24
4.5. Statistische Methoden .....	26
4.5.1. Faktorenanalyse (Programm CABFAC).....	28
4.5.2. Regressionsanalyse (Programm REGRESS).....	29
4.5.3. Berechnung der Paläoumweltparameter (THREAD).....	30
4.5.4. Problematik der Methode.....	32
5. BILDUNG UND VERÄNDERUNGEN DES DIATOMEEN-SIGNALS.....	33
5.1. Euphotische Zone.....	33
5.2. Transport durch die Wassersäule.....	34
5.3. Grenzschicht Wasser/Sediment.....	35
5.4. Oberflächensediment.....	36

6.	QUANTITATIVE ANALYSE DER OBERFLÄCHENSEDIMENTE .....	3 8
6.1.	Verbreitung ausgewählter Diatomeenarten im Oberflächensedi- ment und ihre Bedeutung für palökologische Rekonstruktionen....	3 9
6.1.1.	<i>Eucampia antarctica</i> .....	4 0
6.1.2.	<i>Nitzschia curta</i> und <i>Nitzschia cylindrus</i> .....	4 3
6.1.3.	<i>Nitzschia kerguelensis</i> .....	4 6
6.1.4.	<i>Chaetoceros</i> -Dauersporen .....	5 0
6.2.	Variabilität der Diatomeenvergesellschaftungen.....	5 4
6.3.	Statistische Auswertung.....	5 6
6.3.1.	Antarktischer Rohdatensatz (AR 178/88).....	5 6
6.3.2.	Faktorenanalyse am gewichteten Datensatz (AG 177/31).....	6 1
6.3.3.	Antarktischer Referenzdatensatz (AG 130/30).....	7 1
6.3.4.	Regressionsanalyse des antarktischen Referenzdatensatzes.....	7 4
7.	ANWENDUNG DER TRANSFERFUNKTION AN KERN PS1768-8.....	7 7
7.1.	Stratigraphie.....	7 7
7.2.	Berechnung der Paläoumweltparameter.....	8 1
8.	AUSBLICK UND SCHLUßFOLGERUNG.....	8 8
9.	LITERATUR.....	8 9
10.	ANHANG .....	1 03
10.1.	Taxonomie.....	1 03
10.2.	Fototafeln.....	1 17
10.3.	Kernbeschreibung.....	1 32
10.4.	Stationsliste.....	1 34
10.5.	Tabellen zur statistischen Auswertung.....	1 38

## KURZFASSUNG

Die Bestimmung quantitativer Paläoumweltparameter mit statistischen Methoden ist ein wichtiger Bestandteil palökologischer Rekonstruktionen. In der Mikropaläontologie werden diese Bestimmungen mit Hilfe der Transferfunktionstechnik nach IMBRIE & KIPP (1971) durchgeführt, die auch in dieser Arbeit angewendet wurde.

Planktische Organismen mit silikatischen Gehäusen (Radiolarien, Diatomeen und Silikoflagellaten) sind die häufigsten Mikrofossilien in den Sedimenten des Antarktischen Ozeans. Aufgrund der kalten Oberflächenwassertemperaturen ist kalkiges Nannoplankton hier nicht lebensfähig, planktische Foraminiferen sind lediglich durch eine Art (*Neogloboquadrina pachyderma*, sin.) vertreten. Für die Berechnung von Paläoumweltparametern sind Diatomeen besonders geeignet, da sie in der euphotischen Zone leben und eine weite Verbreitung im Antarktischen Ozean aufweisen. Die Zusammensetzung der Diatomeenvergesellschaftungen in Sedimenten spiegelt damit die Umweltbedingungen des Oberflächenwassers und ihre Variationen im Wechsel der Kalt- und Warmzeiten des Spätquartärs wider.

In dieser Arbeit wurden Transferfunktionen aus Zählraten von Diatomeen an Oberflächensedimentproben aus dem Atlantischen Sektor des Antarktischen Ozeans entwickelt. Hierfür wurde zunächst ein Referenzdatensatz für den Antarktischen Ozean erstellt, der auf statistischem Wege mit der Hydrographie des Oberflächenwassers in Beziehung gesetzt wurde. Die daraus entwickelten Transferfunktionen konnten zur Rekonstruktion von Paläoumweltparametern (Temperatur, Salz- und Phosphatgehalt) an Sedimentkernmaterial getestet werden.

Der Rohdatensatz umfaßt 178 Proben mit 85 Diatomeentaxa bzw. taxagruppen, zwei Silikoflagellatenarten und Chrysophyceen-Zysten. Für die statistische Auswertung wurden zunächst die Diatomeen auf 34 Taxa bzw. Taxagruppen reduziert und mittels einer Faktorenanalyse in vier Faktoren (Artenvergesellschaftungen) gegliedert. Dabei stellte sich heraus, daß die Dominanz der Art *Nitzschia kerguelensis* die Signale weniger häufig vorkommender, aber ökologisch relevanter Arten überdeckt. Deshalb zeigten sich nur geringe Korrelationen der Faktoren zu hydrographischen Parametern (Temperatur, Salz- und Phosphatgehalt) des Oberflächenwassers. Der Datensatz wurde aus diesem Grund modifiziert.

Um die Signale geringer auftretender Arten zu verstärken und gleichzeitig die Dominanz häufiger Arten zu dämpfen, wurden die relativen Häufigkeiten der Diatomeenarten in ein Klassifizierungssystem aus vier Abundanzgruppen überführt. Nach einer Reduzierung dieses gewichteten Datensatzes auf 130 Proben und 30 Diatomeenarten, ergab die Faktorenanalyse einen in drei Faktoren gegliederten antarktischen Referenzdatensatz. Diese Faktoren lassen sich im Untersuchungsgebiet Bereichen unterschiedlicher Ober-

flächenwassertemperatur zuordnen. Im Gegensatz zum bereits bestehenden Referenzdatensatz des Antarktischen Ozeans von PICHON et al. (1992b), wurde in den vorliegenden Untersuchungen die Gruppe der *Chaetoceros*-Dauersporen mit einbezogen. Sie zeigen zusammen mit Eisdiatomeen ein Maximum relativer Häufigkeiten in den Glazialzeiten. Durch die Integration der *Chaetoceros*-Dauersporen in den in dieser Arbeit aufgestellten Referenzdatensatz ergibt sich im Gegensatz zum Datensatz von PICHON et al. (1992b) eine verbesserte Informationsbasis für Transferfunktionen und palökologische Interpretationen.

Mit dem Referenzdatensatz und heutigen hydrographischen Daten konnten in einer Regressionsanalyse Transferfunktionen entwickelt werden. Die Analyse ergab für die palökologischen Gleichungen der Umweltparameter (Temperatur, Salz- und Phosphatgehalt) hohe Regressionskoeffizienten und niedrige Standardabweichungen.

Diese Transferfunktionen wurden an einem quartären Sedimentkern aus der Antarktischen Zone (ca. 52°S) angewendet. Er umfaßt die Sedimente der letzten ca. 140.000 Jahre. Die Berechnungen ergaben für diesen Zeitraum Paläo-Sommertemperaturen des Oberflächenwassers von -0,3°C bis 3,9°C sowie Variationen der Salzgehalte von 0,17 ‰ und Phosphatgehalte zwischen 1,55 und 1,77 µmol/kg. Die Paläotemperaturkurve zeigt zwei Maxima in den Klimaoptima des Stadiums 1 und des Stadiums 5.5 mit Temperaturen von 3,9°C bzw. 3,3°C. Die anderen Zeitabschnitte sind mit durchschnittlichen Oberflächenwassertemperaturen um 0°C charakterisiert. Die Temperaturamplitude zwischen Glazial- und Interglazialabschnitten beträgt etwa 4°C und stimmt mit Rekonstruktionen für die Subantarktis überein. Die errechneten Salzgehaltsänderungen zeigen nur geringe Schwankungen im Kern, die Phosphatgehalte sind mit der Paläotemperatur negativ korreliert. Die statistisch errechneten Faktoren (Artenvergesellschaftungen) des Sedimentkerndatensatzes zeigen die besten Korrelationen zur ermittelten Temperatur. Dies weist auf eine vorwiegende Steuerung der Zusammensetzung der Diatomeenvergesellschaftungen durch die Temperatur und weniger durch die Salz- bzw. Phosphatgehalte hin.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, daß mit Daten aus Diatomeenzählungen wichtige quantitative Resultate bei der Anwendung der Transferfunktions-technik gewonnen werden können. Diese sind insbesondere für paläozeanographische Rekonstruktionen und zukünftige Modellrechnungen der Oberflächenstromsysteme im Atlantischen Sektor des Antarktischen Ozeans von Bedeutung.

## ABSTRACT

The estimation of quantitative palaeoenvironmental parameters using statistical methods is an important tool for palaeoecological reconstructions. In micropaleontology these estimations are carried out by means of the transfer function technique of Imbrie & Kipp (1971). This technique was also used in the work presented here.

Planktonic organisms with siliceous hardparts (Radiolarians, diatoms, silicoflagellates) are the most abundant microfossils in the sediments of the Southern Ocean. The Antarctic Surface Water environment is hostile to calcareous nannoplankton, planktonic foraminiferas are represented by only one species (*Neogloboquadrina pachyderma*, sin.). Diatoms are the most appropriate indicator for the estimation of palaeoenvironmental parameters. They live in the euphotic zone of the surface water and have a wide distribution in the Southern Ocean. The diatom assemblages in the sediments reflect the environment of the surface water and its variation during the glacial/interglacial changes in the late Quaternary.

In the study presented here transfer functions were developed from diatom census data of surface sediment samples from the Atlantic sector of the Southern Ocean. First, a reference data set was created which was then correlated to hydrographic conditions of the surface water statistically. The transfer functions thus developed were tested on material of a sediment core to reconstruct palaeoenvironmental parameters (e.g. temperature, salinity, phosphate concentration).

The raw data set includes 178 samples with 85 diatom species and species groups, two silicoflagellate species and chrysophycean cysts. For the statistical analysis the diatoms were first reduced to 34 species. After a factor analysis, four factors (assemblages) could be distinguished. It was evident that the signal of the less abundant but ecologically important species were being masked by the highly abundant, dominant species *Nitzschia kerguelensis*. This restrained a good correlation between the factors and the surface water hydrology and made further data modification necessary.

The relative abundances of the diatom species were converted into a classification system of four abundance groups to increase the signals of less abundant species and to decrease them for dominant species. After factor analysis and reduction of the data set, an Antarctic reference data set was produced with 130 samples and 30 diatom species and species groups. Factor analysis revealed three assemblages, which could be correlated with distinct areas of different surface water temperatures in the study area. Contrary to the reference data set of Pichon et al. (1992b), resting spores of the genus *Chaetoceros* were included. The resting spores show, as do the ice diatoms, a

maximum relative abundance within the glacial periods. The reference data set presented here contain a wider range of data for creating transfer functions and palaeoecological reconstructions downcore.

The statistical data were tested in a regression analysis. The factors were correlated statistically with present hydrological data to obtain estimated environmental parameters (temperature, salinity, phosphate concentration). The resulting set of palaeoecological equations (transfer functions) show high correlation coefficients and low standard error estimates.

The transfer functions developed were applied to a sediment core from the Antarctic zone at around 52°S latitude. The core include approximately the last 140.000 years. Statistical analysis yielded down core surface water palaeotemperatures for the summer season between -0,3°C and 3,9°C, variations of the salinity of 0,17‰ and phosphate concentrations between 1,55 and 1,77 µmol/kg. The palaeotemperature curve contains two maxima in the climatic optima of the isotopic stages 1 and 5.5 with values of 3,9°C and 3,3°C. The other stages in the core exhibit mean temperatures of around 0°C. The difference between lowest (glacial) and highest (climatic optima) temperature values is around 4°C and is consistent with temperature reconstructions from the Subantarctic area. The estimated salinities display only minor variations in the sediment core. The phosphate concentrations are correlated negatively with the estimated temperature. The down core factors (diatom assemblages) show the best correlations with the estimated temperature. This suggests that the composition of the diatom assemblages is mainly controlled by the temperature. The salinity and phosphate concentration therefore have less of an influence on the assemblages.

The results of the work presented indicate that it is possible to obtain reliable quantitative data from diatom investigations and hence developed transfer functions. This data can be used in future projects for modelling previous surface water currents and the distribution of sea ice in the Atlantic sector of the Southern Ocean.

## DANKSAGUNG

Herrn Prof. Dr. D. K. Fütterer (Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven) danke ich für die Vergabe der Arbeit und die gewährte Unterstützung, Herrn Prof. Dr. H. Willems (Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen) für die freundliche Übernahme des Co-Referates. Für die Betreuung und kritische Durchsicht des Manuskriptes danke ich Dr. R. Gersonde.

Zahlreiche Kollegen standen bei der Entstehung dieser Arbeit hilfreich zur Seite. Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn T. Schöne für die Installierung des CABFAC-Programmes und die Hilfe bei zahlreichen Rechnerproblemen. K. Heidland und F. Niederjasper gaben Hilfestellungen bei der Benutzung der Großrechenanlage, G. Seiß bin ich für die Software zur Nutzung der ozeanographischen Datenbank dankbar.

Für stete Diskussionsbereitschaft und wertvolle Ratschläge danke ich Dipl.-Geol. U. Treppke (Universität Bremen), Dr. G. Bohrmann (GEOMAR Kiel), Dr. A. Abelmann, Dr. R. Crawford, Dr. W. Ehrmann, Dr. H. Grobe, Dr. A. Mackensen, Dr. R. Petschick, Dr. R. Scharek und Dipl.-Geol. H.-S. Niebler. Dr. G. Meinecke (Universität Bremen) bin ich für den Gedankenaustausch über Methoden der Paläotemperaturberechnung dankbar.

Frau R. Thomzik sei besonders für die Hilfe bei Fotoarbeiten gedankt, ebenso Frau U. Bock, Frau R. Cordelair und Frau I. Klappstein für ihre Hilfe bei labor- und fototechnischen Problemen und die stets frohe Arbeitsatmosphäre.

Dr. J.-J. Pichon (Universität Bordeaux) danke ich für die Nutzung des CABFAC-Programmes und die Unterstützung während meines Aufenthaltes in Bordeaux. Dr. U. Pflaumann (Universität Kiel) bin ich für die Anwendung des THREAD-Programmteiles und seiner Hilfestellung dankbar.

Allen Kolleginnen und Kollegen des Alfred-Wegener-Instituts sei an dieser Stelle herzlich für das gute Arbeitsklima gedankt, das mir die "Bremerhavener Zeit" sehr angenehm machte.



## 1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Der Antarktische Kontinent mit seiner bis zu vier Kilometer mächtigen Eisdecke und der ihn umgebende zirkumantarktische Ringozean spielen eine wesentliche Rolle im globalen Klimageschehen. Zum Verständnis des natürlichen Treibhauseffektes und seiner anthropogenen Verstärkung, gewinnen dabei die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Ozean, insbesondere der CO<sub>2</sub>-Austausch, immer mehr an Interesse.

Meeresströmungen wie der um den Antarktischen Kontinent strömende Antarktische Zirkumpolarstrom (ACC), sind wichtige Komponenten für das Klimageschehen und seinen Änderungen in der jüngeren Erdgeschichte. Der durch die gesamte Wassersäule bis zum Boden wirksame ACC stellt das Verbindungsglied zwischen dem Atlantischen, Pazifischen und Indischen Ozean dar und ermöglicht so den Austausch von Wassermassen, Wärme und Nährstoffen (WHITWORTH III 1988, OLBERS 1989). Die globale Wassermassenzirkulation wird durch den ACC maßgeblich beeinflusst, beispielsweise durch den Transport von im Weddellmeer gebildetem Antarktischen Bodenwasser, das sich in seinen Eigenschaften bis weit auf die nördliche Erdhalbkugel verfolgen läßt (DIETRICH et al. 1975).

Das Meereis hat neben den Oberflächenwasserströmungen großen Einfluß auf das Klimageschehen der Erde. Um die Antarktis vollzieht sich im Jahresrhythmus der Auf- und Abbau der größten, zusammenhängenden Meereisdecke der Erde (ROPELEWSKI 1983). Das Meereis behindert den Wärme- und Gasaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre (ABELMANN & GERSONDE 1991). Aufgrund dieses "Dämmeffektes" und der hohen Albedo stellt die Meereisbedeckung einen bedeutenden Faktor in der globalen Energiebilanz und im Wärmehaushalt der Erde dar (OLBERS 1989, EICKEN 1992).

Die Änderungen der Umweltbedingungen im Wechsel der Kalt- und Warmzeiten des Quartärs sind als vielfältige Signale in den Sedimenten des Antarktischen Ozeans gespeichert. Bestandteil dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methode zur Rekonstruktion dieser Veränderungen. Dabei werden Transferfunktionen aus Diatomeen-Zählraten und heutigen hydrographischen Bedingungen des Oberflächenwassers erstellt und an einem Sedimentkern angewendet.

Transferfunktionen in der Mikropaläontologie werden seit etwa 20 Jahren nach der Veröffentlichung der Methode von IMBRIE & KIPP (1971) und KLOVAN & IMBRIE (1971) angewendet. Diese Art der Berechnung von Klimaparametern wurde seitdem an mehreren Mikrofossilgruppen (Foraminiferen, Coccolithophoriden, Diatomeen und Radiolarien) erfolgreich getestet und stellt heute einen bedeutenden Beitrag der Mikropaläontologie in der Paläoklimatologie dar. Weiterhin wird die Methode neben anderen

Verfahren zur Bearbeitung von paläozeanographischen Fragestellungen genutzt.

Als Voraussetzung für die Entwicklung von Transferfunktionen ist es zunächst notwendig, einen Referenzdatensatz aus Diatomeenzählraten der Oberflächensedimente zu definieren. Dabei stehen folgende Fragen im Vordergrund:

- In welchem Umfang läßt sich das in den Diatomeenvergesellschaftungen gespeicherte Signal früherer Umweltbedingungen entschlüsseln?
- Wie weit müssen die Rohdaten modifiziert werden, um die Dominanz einer Art und die daraus resultierende Überdeckung des Signals anderer, wichtiger Arten zu kompensieren?
- Nach welchen Kriterien werden Proben aus dem Datensatz ausgeschlossen, um die Interpretation der statistischen Daten zu verbessern?

Um ein möglichst flächendeckendes Probennetz zur Verbreitung von Diatomeenvergesellschaftungen und die Grundlage einer statistischen Datenbasis zu erhalten, umfaßt das Arbeitsgebiet einen großen Teil des Südatlantiks mit dem angrenzenden Antarktischen Sektor des Südpolarmeeres. Die in dieser Arbeit ermittelten quantitativen Paläoumweltparameter können in Modellrechnungen einfließen, um Veränderungen des Antarktischen Zirkumpolarstromes in Verbindung mit der Meereisverbreitung zu rekonstruieren.

## 2. FRÜHERE ARBEITEN ZU TRANSFERFUNKTIONEN AUS DIATOMEEN-ZÄHLDATEN

Bisherige Arbeiten konzentrierten sich hauptsächlich auf die Faktorenanalyse von Zählraten aus Oberflächensedimenten. Die dabei gewonnenen Vergesellschaftungen (Faktoren) wurden bestimmten geographischen Gebieten zugeordnet und Muster der rezenten Verteilung wichtiger Diatomeenarten beschrieben (u.a. MAYNARD 1976, TRUESDALE & KELLOGG 1979, DEFELICE & WISE 1981, SCHÜTTE & SCHRADER 1981). In nachfolgenden Arbeiten konzentrierte man sich darauf, die Ergebnisse in Bezug zur Hydrographie des Oberflächenwassers zu setzen und auf statistischem Wege Abhängigkeiten zwischen Diatomeenverbreitung und physikalischen Parametern des Oberflächenwassers zu finden. Dabei wurden die statistischen Berechnungen z.T. auf Zeitscheiben, wie z. B. dem LGM (Last Glacial Maximum), angewendet (BURCKLE 1984a).

Die Dominanz weniger Arten als Folge von selektiver Lösung oder in Hochproduktionsgebieten wurde bereits von DEFELICE & WISE (1981), die ihre Untersuchungen im gleichen Arbeitsgebiet durchführten, als problematisch für die statistische Auswertung angesehen. Die Dominanz weniger Arten bzw. Artengruppen überdeckt dabei die Signale anderer, weniger häufig vorkommender Arten. PICHON (1985) schlug daher ein Klassifizierungssystem vor ("ranking"), in dem seltener auftretende Arten in ihrer Bedeutung steigen, während das Signal sehr häufiger Arten gedämpft wird (Kap. 6.3.2.). Dadurch ist eine Modifizierung der Zählraten erforderlich, indem die relativen Häufigkeiten aller Arten in vier Klassen eingeteilt werden. Die Klassifizierung von Zählraten nach diesem System wurde bereits von SANCETTA (1979a), hier als semiquantitative Daten bezeichnet, diskutiert. Relative Häufigkeiten aller Diatomeenarten, aufgeteilt in sechs Abundanzklassen ("rank values"), ergaben nach der Erstellung einer Transferfunktion Ergebnisse mit geringem, statistischem Informationsverlust gegenüber den Originalzählraten.

Diese Methode liefert sinnvolle Ergebnisse und erlaubt die Anwendung von Diatomeenvergesellschaftungen zur statistischen Berechnung von Paläoumweltparametern. Gestützt auf die "Ranking-Methode" wurden von PICHON (1985) Transferfunktionen für Paläotemperaturen und Salzgehalte entwickelt.

PICHON et al. (1992b) erweiterten den Datensatz von PICHON et al. (1987) und stellten Paläotemperaturkurven an zwei Sedimentkernen aus dem Indischen Sektor des Antarktischen Ozeans vor. Dieser Datensatz weist im Vergleich zur Datenbasis der vorliegenden Arbeit einige wesentliche Unterschiede auf. Beispielsweise wurden Dauersporen der Gattung *Chaetoceros*, die in Oberflächensedimenten des Antarktischen Ozeans bis 92 % relativer

Häufigkeit auftreten (Kap. 6.1.4.), von PICHON et al. (1992b) nicht berücksichtigt. Dies hat zur Folge, daß sich aufgrund der hohen Abundanz der Dauersporen Diskrepanzen in den relativen Häufigkeiten der Arten gegenüber dem Datensatz der vorliegenden Arbeit ergeben. So ist die Glazialart *Eucampia antarctica* in den Ergebnissen von PICHON et al. (1992b) mit 50 % relativer Häufigkeit im Vergleich zum Datensatz der vorliegenden Arbeit (12,2 %) deutlich überrepräsentiert.

Auf die große Häufigkeit der *Chaetoceros*-Dauersporen aus Vergesellschaftungen in Oberflächensedimenten weisen u.a. SCHÜTTE & SCHRADER (1981), GERSONDE (1986), WILLIAMS (1986) und LEVENTER (1992) hin. SANCETTA (1979b) beschreibt in ihrer Faktorenanalyse einen *Chaetoceros*-Sporen-Faktor, der fast ein Drittel der gesamten berechneten Daten enthält. In ihm dominieren die nicht näher differenzierten Dauersporen mit einer Faktorenladung von 0,97 (zur Definition der Begriffe zur Statistik s. Kap. 10.1.5.). Der Faktor wird von SANCETTA (1979b) als Produktivitätsfaktor gedeutet und mit salzärmerem Wasser aus dem Abschmelzen von Meereis in Verbindung gebracht. *Chaetoceros*-Sporen-Faktoren werden auch von SCHÜTTE & SCHRADER (1979, 1981) beschrieben. SCHRADER & KARPUZ (1990), sowie KARPUZ & SCHRADER (1990) und KARPUZ & JANSEN (1992) entfernen zur statistischen Analyse die *Chaetoceros*-Sporen aus ihrem Datensatz. Diese sind so zahlreich, daß alle anderen wichtigen Signale gestört werden. Sie sind gleichmäßig über das gesamte Arbeitsgebiet der Norwegisch-Grönländischen See verteilt und treten mit relativen Häufigkeiten zwischen 50 % und >60 %, also einem bestimmten Quantitätsbereich, auf. Sie können keinen bestimmten Umweltparametern zugeordnet werden. Außerdem wird hier nicht mit einer Klassifizierung der Rohdaten gearbeitet. Im Datensatz der vorliegenden Arbeit liegen die Häufigkeitswerte jedoch zwischen 0 % und 92 % und zeigen regional deutliche Unterschiede. Eine Entfernung der Sporen würde zu einem verfälschten Datensatz und damit zu verzerrten Zählergebnissen anderer Arten führen (vergl. Kap. 6.1.4.). Die Dauersporen zeigen in quartären Sedimentkernen in ihrem Auftreten ein Maximum in den Kaltzeiten (Kap. 6.1.4., 7.1.) und wurden deshalb in den Referenzdatensatz für Transferfunktionen integriert. Aufgrund der lokalen Unterschiede in der Sporenhäufigkeit und der daraus resultierenden schlechten Korrelation der Dauersporen zu Umweltparametern, wurden bestimmte Oberflächenproben aus dem Datensatz entfernt (Kap. 6.3.3.).

SHEMESH et al. (1989) und PICHON et al. (1992a) weisen auf die Lösung biogenen Opals hin. Da fein verkieselte Diatomeenarten in größerem Umfang der Lösung unterliegen als grob verkieselte Arten, kommt es insbesondere an der Wasser/Sediment-Grenzschicht zu Veränderungen der Vergesellschaftungen (Kap. 5.3.). Die Diatomeenassoziationen aus Oberflächensedimenten spiegeln demnach nicht die Planktongemeinschaft des Oberflächenwassers wider (GERSONDE & WEFER 1987, SANCETTA 1981, SANCETTA 1989). Durch die Lösung von Diatomeenschalen werden Rekonstruktionen von Paläoumweltparametern mittels Transferfunktionen beein-

flußt. Zur Quantifizierung der biogenen Opallösung ermitteln SHEMESH et al. (1989) mit Hilfe von Lösungsexperimenten unter Laborbedingungen einen Erhaltungsindex für Diatomeenvergesellschaftungen aus antarktischen Oberflächensedimenten. In diesem Zusammenhang bezweifeln die Autoren die Verlässlichkeit von Transferfunktionen aus Diatomeendaten. PICHON et al. (1992a) ermitteln demgegenüber durch Diatomeen-Transferfunktion einen Lösungsfaktor zur Abschätzung der Opallösung. Gleichzeitig heben die Autoren hervor, daß der Erhaltungsindex nach SHEMESH et al. (1989) nicht auf alle Bereiche des Antarktischen Ozeans angewendet werden kann.

Aus der Beurteilung der Literatur ergibt sich, daß Daten aus Diatomeenzählungen für Faktorenanalysen sinnvoll angewendet werden können. Mit Hilfe des Klassifizierungssystems können darüber hinaus trotz der Dominanz weniger Arten Transferfunktionen aus Diatomeendaten erarbeitet werden, um Paläoumweltparameter errechnen zu können.

Autoren	Gebiet	Methode	Ergebnis
BURCKLE (1972)	Scotia - und Weddellmeer	Faktorenanal.	3-Faktorenmodell
COOKE-POFERL et al. (1975)	Äquatorialer Atlantik	Faktorenanal.	6-Faktorenmodell, Anwendung für LGM (18 K)
MAYNARD (1976)	Gesamter Atlantik	Faktorenanal.	6-Faktorenmodell, Beziehung zur Oberflächenhydrographie
TRUESDALE & KELLOGG (1979)	Rossmeer	Faktorenanal.	4-Faktorenmodell, Beziehung zur Oberflächenhydrographie
SANCETTA (1979a)	Nordpazifik	Faktorenanal., Regression	5 Faktoren, Vergleich von quantit. mit semiquantit. Daten
SANCETTA (1979b)	Nordpazifik	Faktorenanal., Transferfunkt.	5-Faktorenmodell, Anwendung für LGM (18 K)
SCHÜTTE & SCHRADER (1979)	Auftriebsgebiet vor Peru	Faktorenanal.	5-Faktorenmodell, Verbreitung im Oberflächensediment
SCHÜTTE & SCHRADER (1981)	SE-Atlantik	Faktorenanal.	7-Faktorenmodell, Verbreitung im Oberflächensediment
DEFELICE & WISE (1981)*	SE Atlantik	Faktorenanal.	5-Faktorenmodell, Beziehung zur Oberflächenhydrographie
BURCKLE (1984a)	Antarktischer Ozean	Faktorenanal.	3-Faktorenmodell für Oberflächen- und LGM-Sedimente
PICHON (1985)	Atlant.- und Westind. Sektor des Ant. Ozeans	Faktorenanal., Regression, Transferfunkt.	3-Faktorenmodell, palökologische Gleichungen, Paläotemperaturen
POKRAS & MOLFINO (1986)	Äquatorial und SE-Atlantik	Faktorenanal.	5-Faktorenmodell für Oberflächen, rezente Verbreitung
WILLIAMS (1986)	Baffin Bay, (Arktis)	Faktorenanal., Regression	5-Faktorenmodell, Beziehung zur Oberflächenhydrographie
PICHON et al. (1987)	Atlant.- und Westind. Sektor	Faktorenanal., Regression	3-Faktorenmodell, palökologische Gleichungen
KARPUZ & SCHRADER (1990)	Norwegisch-Grönländische See	Faktorenanal., Transferfunktion	6-Faktorenmodell, palökologische Gleichungen, Paläotemperaturen
SCHRADER & KARPUZ (1990)	Norwegisch-Grönländ. See	Faktorenanal., Regression	4-Faktorenmodell, palökologische Gleichungen
PICHON et al. (1992a)	Atlant.- und Westind. Sektor des Ant. Ozeans	Faktorenanal., Transferfunktion	Quantifizierung von Lösung biog. Opals, Anwendung auf Sedimentkerne, 4 Faktoren
PICHON et al. (1992b)	Atlant.- und Westind. Sektor des Ant. Ozeans	Faktorenanal., Transferfunktion	4-Faktorenmodell, palökologische Gleichungen, Vergl. mit Temp.-kurve (Vostok Eiskern)
KARPUZ & JANSEN (1992)	SE Norwegische See	Faktorenanal., Transferfunkt.	6-Faktorenmodell, Paläotemperaturen

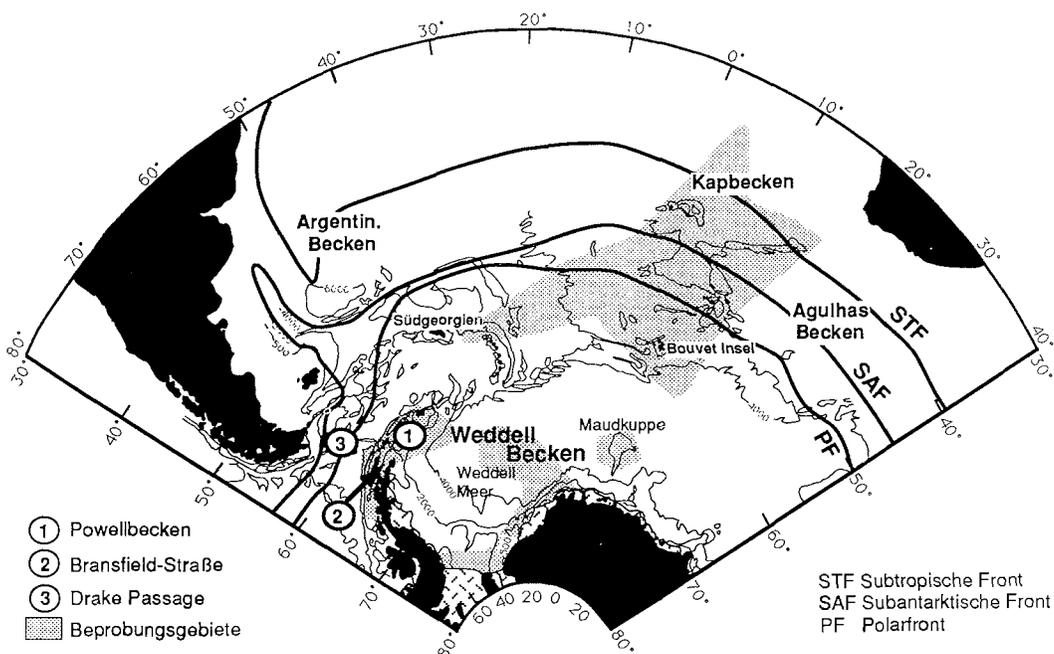
**Tab. 1:** Zusammenstellung wichtiger Arbeiten statistischer Auswertungen von Diatomeenzählungen aus Oberflächensedimenten mit Hilfe des CABFAC-Programms. LGM = Letztes Glaziales Maximum, 18 K = 18.000 Jahre vor heute. \* DEFELICE & WISE (1981) benutzten für ihre Statistik das Programm DUVAP (= Duke University Vector Analysis Program).

### 3. UNTERSUCHUNGSGEBIET

#### 3.1. Geographischer Überblick

Das Arbeitsgebiet im Antarktischen Sektor des Südatlantiks erstreckt sich vom antarktischen Schelf bis ins Kapbecken nördlich der Subtropischen Front (Abb. 1). Der südliche Teil des untersuchten Gebietes umfaßt nach der Zonierung des Antarktischen Ozeans von TRÉGUER & VAN BENNEKOM (1991) die kontinentalen Schelf- und Küstenbereiche (CCSZ) des Weddellmeeres und die saisonal eisbedeckte Zone (Seasonal Ice Zone = SIZ). Die Maudkuppe bildet dabei die östliche Begrenzung, im Westen schließt das Arbeitsgebiet Schelf- und Küstenbereiche der Antarktischen Halbinsel ein.

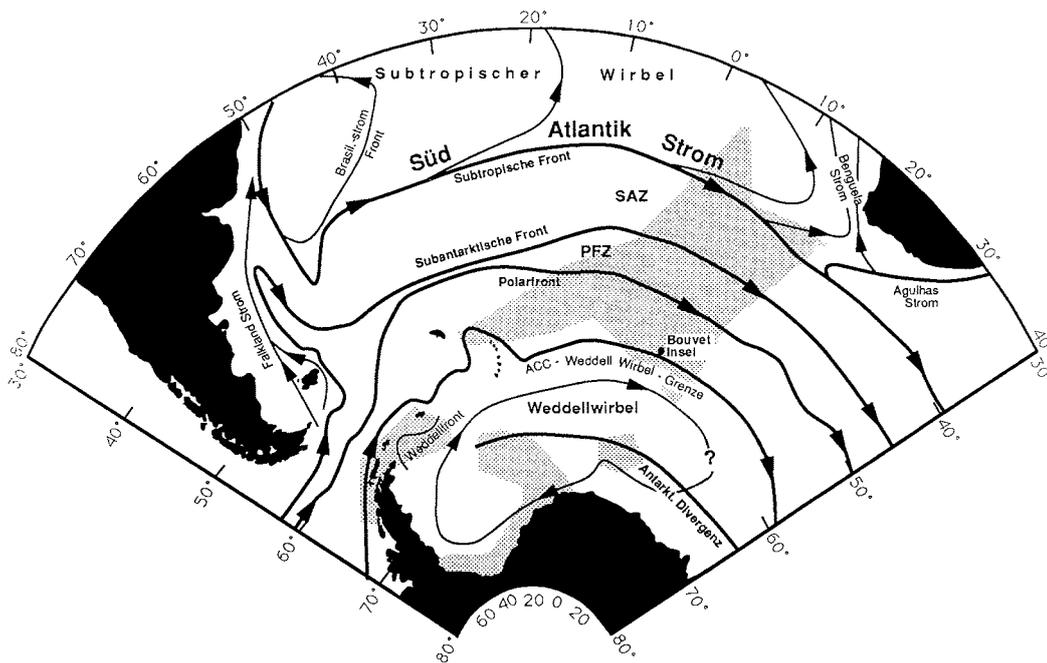
Im Norden erfassen mehrere Profile die ozeanischen Frontensysteme des Antarktischen Zirkumpolarstromes zwischen 30°W und 15°E bzw. 57°S und 35°S. Sie schließen dabei neben der Subtropischen- und Subantarktischen Zone nach der Einteilung von TRÉGUER & VAN BENNEKOM (1991) die Polarfrontzone (PFZ), die permanent eisfreie Zone (Permanently Open Ocean Zone = POOZ) und die saisonal eisbedeckte Zone ein (zur Zonierung vergl. Tabelle 2).



**Abb. 1:** Übersichtskarte des Südatlantiks mit angrenzendem Antarktischen Sektor. Beprobungsgebiete sind gerastert dargestellt. Lage der Fronten nach WHITWORTH (1988), PETERSON & STRAMMA (1991). Bathymetrie bis 40°S nach GEBCO (1983).

### 3.2. Hydrographie

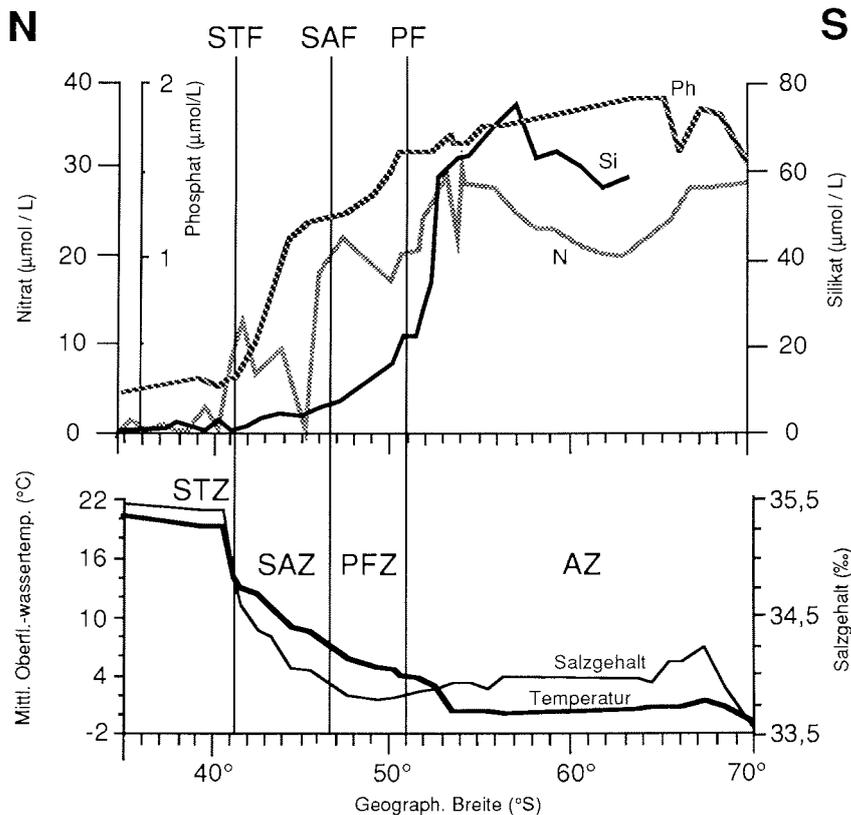
Das Muster der Oberflächenströmungen im Südatlantik (Abb. 2) wird durch die allgemeine Windzirkulation geprägt. Der Subtropische Wirbel, der aus dem Zusammenspiel von Passatwinden im Norden und Westwinden im Süden entsteht, wird durch den Süd-Atlantik-Strom im Süden begrenzt und transportiert Wasser in den nahe des Afrikanischen Kontinents nach Nordwesten fließenden Benguelastrom (PETERSON & STRAMMA 1991). Die ostwärts strömenden Oberflächenwassermassen des Antarktischen Zirkumpolarstroms (Antarctic Circumpolar Current = ACC) werden von der Westwinddrift angetrieben. Sie wirkt um den gesamten Antarktischen Kontinent und befindet sich in einer Zone zwischen dem subtropischen Hochdrucksystem um 30°S und dem zirkumpolaren Tiefdruckgürtel bei ca. 65°S (HELLMER et al. 1985, PETERSON & STRAMMA 1991).



**Abb. 2:** Schema der Oberflächenströmungen im Südatlantik und angrenzendem Antarktischen Sektor des Südpolarmeeres. Das Arbeitsgebiet ist grau gerastert dargestellt. SAZ = Subantarktische Zone, PFZ = Polarfrontzone. Nach PETERSON & STRAMMA 1991 und HELLMER et al. 1985.

Der ACC gliedert sich in verschiedene zonal verlaufende Strombänder, die jeweils durch ozeanische Frontensysteme begrenzt sind. Sein nördlicher Rand ist die Subtropische Front (STF), die den ACC von dem warmen und salzreichen Wasser des Subtropischen Wirbels abtrennt. Im Süden wird der ACC durch den Weddellwirbel begrenzt. Innerhalb der Frontensysteme zeichnen sich deutliche Temperatur- und Salinitätsgradienten ab (Abb. 3, Tab. 2).

Nach LUTJEHARMS (1985) und LUTJEHARMS & VALENTINE (1984), die diese Frontensysteme auf mehreren Profilen zwischen Südafrika und dem Antarktischen Kontinent detailliert untersuchten, weist die STF mit einem mittleren Temperaturhub von ca. 7°C und einer durchschnittlichen



**Abb. 3:** Temperatur- und Salzgehaltsprofil und die Verteilung von Nährstoffen des Oberflächenwassers über die ozeanischen Fronten. STF = Subtropische Front, SAF = Subantarktische Front, PF = Polarfront, STZ = Subtropische Zone, SAZ = Subantarktische Zone, PFZ = Polarfrontzone, AZ = Antarktische Zone. Nitrat- und Silikatdaten nach LUTJEHARMS et al. (1985), Phosphatdaten nach SCHLITZER (unveröffent. Daten Univ. Bremen), Temperatur- und Salzgehaltsdaten aus OLBERS et al. (1992).

Minderung des Salzgehaltes von ca. 1,5‰ die größten Gradienten auf (Abb. 3).

Auch in der Verteilung der Nährstoffe läßt sich an den Fronten eine Veränderung erkennen (Abb. 3). Neben den bisher erwähnten Gradienten lassen sich an den Fronten ebenfalls Erhöhungen der Chlorophyll-A-Konzentrationen und der Primärproduktion feststellen (ALLANSON et al. 1981, LUTJEHARMS et al. 1985). Die Fronten grenzen dadurch Gebiete unterschiedlicher Temperatur, Salz- und Nährstoffgehalte voneinander ab und beein-

flussen damit die Höhe der Primärproduktion im Oberflächenwasser. Die Lage der ozeanischen Frontensysteme und auch die Verbreitung des Meereseises in der SIZ spielen daher eine entscheidende Rolle für die biogeographische Verteilung von planktischen Mikroorganismen in Oberflächensedimenten (s.a. Kap. 6.1.).

Die Temperatur- bzw. Salinitätsgradienten unterliegen saisonalen Schwankungen. Dadurch treten nach statistischen Auswertungen zahlreicher Fahrtrotten Variationen in der Lage der meßbaren Gradienten an der Oberfläche und damit der Fronten von etwa 2° Breite auf (LUTJEHARMS 1985, HELLMER et al. 1985, s.a. BOTNIKOV (1964) in DEFELICE & WISE 1981). Die ozeanischen Fronten trennen verschiedene Zonen voneinander, die jeweils charakteristische Oberflächenwassertemperaturen aufweisen (Tab. 2, s.a. Abb. 3 und 4).

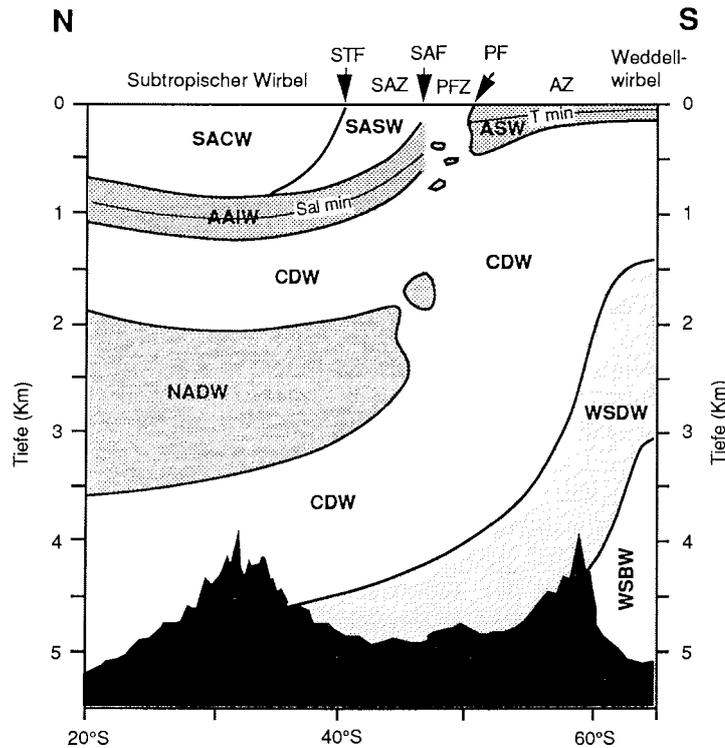
Die Antarktische Zone südlich der PFZ wird nach einer neuen Einteilung von TRÉGUER & JACQUES 1992 in drei separate Zonen gegliedert. Diese wurden aufgrund von Messungen der saisonalen Variationen und der jährlichen Produktion von biogenem Opal im Oberflächenwasser voneinander abgegrenzt.

Front / Zone		Temperatur (°C)	Salzgehalt (‰)
Subtropische Front	STF	7	1,5
Subantarktische Front	SAF	4	0,22
Polarfront	PF	1,8	–
Subtropische Zone	STZ	> 18	> 35,5
Subantarktische Zone	SAZ	9 - 11	33,89-34,11
Polarfrontzone	PFZ	2 - 5	um 33,89
Permanent eisfreie Zone ( <i>Permanent Open Ocean Zone</i> )	POOZ	-1,5 - 2	um 33,89
Saisonal eisbedeckte Zone ( <i>Seasonal Ice Zone</i> )	SIZ	-1,5 - 2	um 33,89
Kontinentaler Schelf- und Küstenbereich ( <i>Continental shelve and coastal area</i> )	CCSZ	-1,5 - 2	um 33,89

**Tab. 2:** Übersicht der ozeanischen Fronten und Zonen im Südatlantik mit den jeweiligen Gradienten an den Fronten bzw. den mittleren Temperatur- und Salzgehaltswerten innerhalb der Zonen (Daten nach LUTJEHARMS 1985 und LUTJEHARMS & VALENTINE 1984, Zonierung südlich der Polarfront nach TRÉGUER & JACQUES 1992).

Innerhalb der PFZ taucht kaltes, salzarmes Antarktisches Oberflächenwasser (Antarctic Surface Water = AASW) unter wärmeres, salzreicheres Subantarktisches Oberflächenwasser (Subantarctic Surface Water = SASW) und fließt als Antarktisches Zwischenwasser (Antarctic Intermediate Water = AAIW) weiter nach Norden (Abb. 4). Es ist durch ein Salinitätsminimum und

ein Sauerstoffmaximum gekennzeichnet und läßt sich bis zum Äquator nachweisen (WHITWORTH 1988). In der Antarktischen Zone (AZ) erwärmt sich im Sommer das AASW an der Oberfläche und bleibt unterhalb etwa



**Abb. 4:** Schema der Wassermassen und der ozeanischen Fronten im Antarktischen Ozean entlang eines N-S Profils westlich des Mittelatlantischen Rückens. Antarktisches Zwischenwasser (AAIW) wird in der PFZ gebildet und ist durch ein Salzgehaltsminimum charakterisiert. Abkürzungen der Fronten und Zonen s. Tab. 2, ASW = Antarctic Surface Water, SASW = Subantarctic Surface Water, SACW = South Atlantic Central Water, CDW = Circumpolar Deep Water, NADW = North Atlantic Deep Water, WSDW = Weddell Sea Deep Water, WSBW = Weddell Sea Bottom Water. Vereinfacht nach PETERSON & WHITWORTH III (1989).

80 - 100 m in seinen Eigenschaften als Winterwasser (WW) bestehen (HELLMER et al. 1985, WHITWORTH & NOWLIN 1987).

In der SIZ steigt bei etwa 65°S an der Antarktischen Divergenz warmes Tiefenwasser auf (LUTJEHARMS 1985). Die Position der Divergenz fällt mit dem atmosphärischen Tiefdruckgürtel zusammen und trennt die Westwindzone im Norden von der Ostwinddrift im Süden (HELLMER et al. 1985). Durch die katabatischen (ablandigen) Winde am Antarktischen Kontinentalrand bewegen sich die Wassermassen südlich der Antarktischen Divergenz als südlicher Arm des Weddellwirbels nach Westen (Abb. 2). Dieser im Uhr-

zeigersinn strömende Wirbel umfaßt alle Wasserschichten und dominiert die Hydrographie des Weddellmeeres. Seine Ausdehnung reicht von der Antarktischen Halbinsel im Westen bis etwa 20° - 30°E (CARMACK & FOSTER 1977, DEACON 1979, GORDON et al. 1981). In diesem Bereich ändert der Wirbel seine Richtung nach Süden bzw. Südwesten. Die genauen Strömungsverhältnisse an der östlichen Weddellwirbelgrenze sind jedoch noch unklar (DEACON 1979, GORDON et al. 1981). Im Bereich der Maudkuppe zwischen 0° und 5°E trifft er auf den Antarktischen Küstenstrom und fließt weiter über den schmalen Schelf nach Südwesten, den Tiefen-Konturen des Kontinentalrandes folgend (KOTTMEIER & FAHRBACH 1989). Bei etwa 27°W divergiert der Küstenstrom: Der Hauptteil biegt nach Süden ab und folgt dem generellen Küstenverlauf bis zum Filchner-Schelfeis. Der geringere Teil strömt weiterhin den Konturen der Schelfkante folgend in westliche Richtung (CARMACK & FOSTER 1977).

Die allgemeine Zirkulation in der Bransfield-Straße wird maßgeblich von der Topographie und der Lage zahlreicher Inseln beeinflusst (AMOS 1987). Nach GORDON & NOWLIN (1978) lassen sich drei getrennte Becken mit relativ flachen Schwellen (ca. 500 m) unterscheiden. Das Wasser oberhalb 500 m wird einerseits von der Bellingshausensee (südwestlich der Antarktischen Halbinsel), andererseits vom Weddellmeer beeinflusst (SCHRÖDER 1983, AMOS 1987). Dabei bildet sich in der östlichen Bransfield-Straße eine ausgeprägte Salzgehaltsfront an der Oberfläche aus, die sich innerhalb des Südsommers von Süden nach Norden verschiebt (SCHRÖDER 1983). Der Einfluß von Oberflächenwasser aus dem westlichen Weddellmeer läßt sich neben ozeanographischen Daten (AMOS 1987) auch durch verdriftete Diatomeen nachweisen. WEFER et al. (1990) finden nach Sedimentfallen-Experimenten eine Diatomeenvergesellschaftung, die von *Thalassiosira antarctica* mit bis zu 80 % relativer Häufigkeit dominiert wird. Ähnliche Zusammensetzung zeigen Diatomeengemeinschaften aus Oberflächensedimenten des Powellbeckens.

### 3.3. Meereisverbreitung und Eisbergtransport

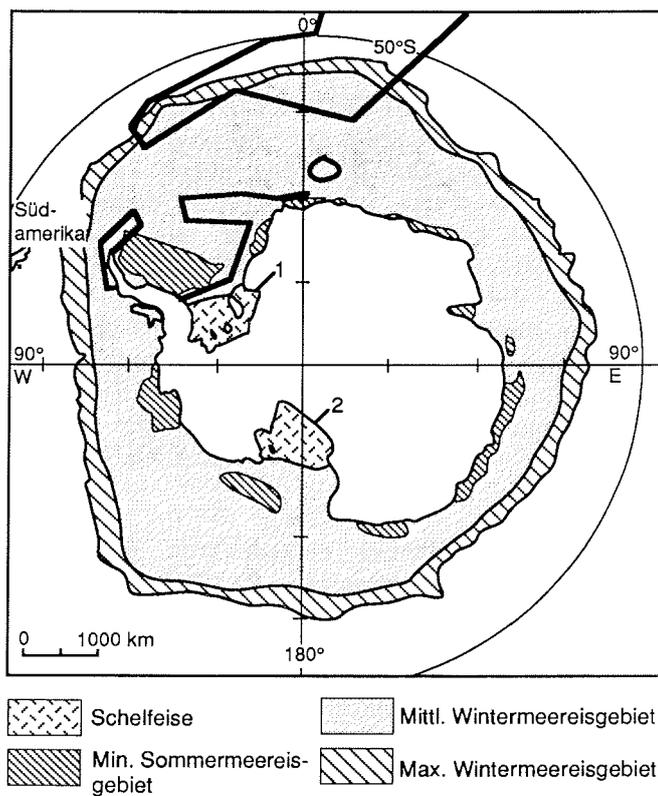
Die Verbreitung des Meereises im Antarktischen Ozean (Abb. 5) unterliegt großen, jahreszeitlichen Schwankungen. Die größte Ausdehnung wird in den Monaten August/September mit ca.  $20 \times 10^6 \text{ km}^2$ , die geringste im Februar mit ca.  $4 \times 10^6 \text{ km}^2$  erreicht (ROPELEWSKI 1983, OLBERS 1989). Die maximale Meereisausdehnung entspricht dabei etwa 5 % der Gesamtfläche des Weltozeans oder der halben Fläche des Nordatlantiks (OLBERS 1989). Das Meereis besteht zum größten Teil aus einjährigem Eis mit durchschnittlich 1 m Dicke, das jeweils im antarktischen Herbst und Winter neu gebildet wird. Im Winter erstreckt sich die Meereisbedeckung im nördlichen Untersuchungsbereich bis etwa 57°S (HELLMER et al. 1985). Im antarktischen

Sommer ist das östliche Weddellmeer nahezu eisfrei, der westliche Teil dagegen ist permanent eisbedeckt (Abb. 5).

Im südlichen bzw. südöstlichen Weddellmeer erstrecken sich im Winter ausgedehnte, eisfreie Flächen, sogenannte Polynien (Russisch für offene Wasserfläche). Die Küstenpolynien entstehen durch katabatische Winde, die neu gebildetes Eis von der Küste wegtreiben und damit eine nahezu offene Wasserfläche von 50 - 100 km zwischen Küste und Packeis erhalten bleibt (GORDON & COMISO 1988, KOTTMEIER & FAHRBACH 1989). Hier erfolgt eine ständige Neueisbildung, die eine Salzanreicherung des Wassers bewirkt und damit die Bildung von Bodenwasser fördert (GORDON & COMISO 1988). Im Bereich der Maudkuppe (s. Abb. 1) wurden Hochseepolynien beobachtet (HELLMER et al. 1985, COMISO & GORDON 1987). Sie entstehen durch aufsteigendes, relativ warmes Tiefenwasser, das durch die Wärmeabgabe an die Atmosphäre eine Neueisbildung erschwert (COMISO & GORDON 1987, GORDON & COMISO 1988).

Die Meereisbedeckung in saisonal eisbedeckten Gebieten reduziert die Exportproduktion (der Teil der biogenen Partikel, der in tiefere Wasserschichten und ins Sediment gelangt) erheblich (ABELMANN & GERSONDE 1991, s. a. Kap. 5). Andererseits trägt das Meereis zur Verbreitung von Diatomeen bei. Im Bereich der Küstenpolynya des südöstlichen Weddellmeeres werden sie in das Eis inkorporiert und durch die Zirkulation des Weddellwirbels bis ins nordwestliche Weddellmeer transportiert. Hier tragen sie zur Besiedlung der Wassersäule bei (SCHAREK 1991). Nach Sedimentfallen-Daten aus dem nördlichen Weddellmeer wird vermutet, daß die sommerliche Phytoplanktonblüte zumindest teilweise durch aus dem verdrifteten Meereis stammenden "Saatzellen" eingeleitet wird (FISCHER et al. 1988). In saisonal eisbedeckten Gebieten spiegelt sich der Meereiseinfluß in den Oberflächensedimenten im Auftreten von Diatomeen wider, deren Lebensweise an Meereis gekoppelt ist ("Meereisindikatoren"). Ihre nördliche Verbreitungsgrenze liegt heute zwischen mittlerer und maximaler Wintermeereisgrenze (Kap. 6.1.2.).

Die Drift der von Gletschern oder Schelfeisen kalbenden Eisberge unterliegt der vom Weddellwirbel gesteuerten Oberflächenwasserzirkulation (WADHAMS 1988), die sich auch in Satellitenbeobachtungen von treibenden Eisbergen dokumentiert (TCHERNIA & JEANNIN 1984). Seit 1981 wird die Drift und Anzahl von Eisbergen systematisch untersucht. ORHEIM (1987) schätzt die Gesamtanzahl von Eisbergen südlich der Polarfront um den Antarktischen Kontinent auf 300.000, wobei ein Drittel der Eisberge auf dem Kontinentalschelf beobachtet wurden. In den Bereichen der Schelfgebiete des südlichen- bzw. südöstlichen Weddellmeeres tragen driftende Eisberge zur erosiven Gestaltung der Meeresbodentopographie bei (LIEN et al. 1989, FÜTTERER & MELLES 1990) und verändern dadurch neben



**Abb. 5:** Sommer- und Wintermeereisverbreitung im Antarktischen Ozean. Das Arbeitsgebiet ist schematisch dargestellt (schwarze, fett gedruckte Linien). 1 = Filchner-Ronne-Schelfeis, 2 = Ross-Schelfeis. Verändert nach ACKLEY (1981) aus HELLMER et al. (1985).

anderen Mechanismen die Zusammensetzung der Diatomeenvergesellschaftungen in Oberflächensedimenten (Kap. 5.4.). Es wird weiterhin vermutet, daß in der Umgebung von schmelzenden Eisbergen durch die Salinitätsverminderung im Oberflächenwasser das Verbreitungsmuster bestimmter Diatomeenarten beeinflußt wird (Kap. 6.1.1.).

## 4. MATERIAL UND METHODEN

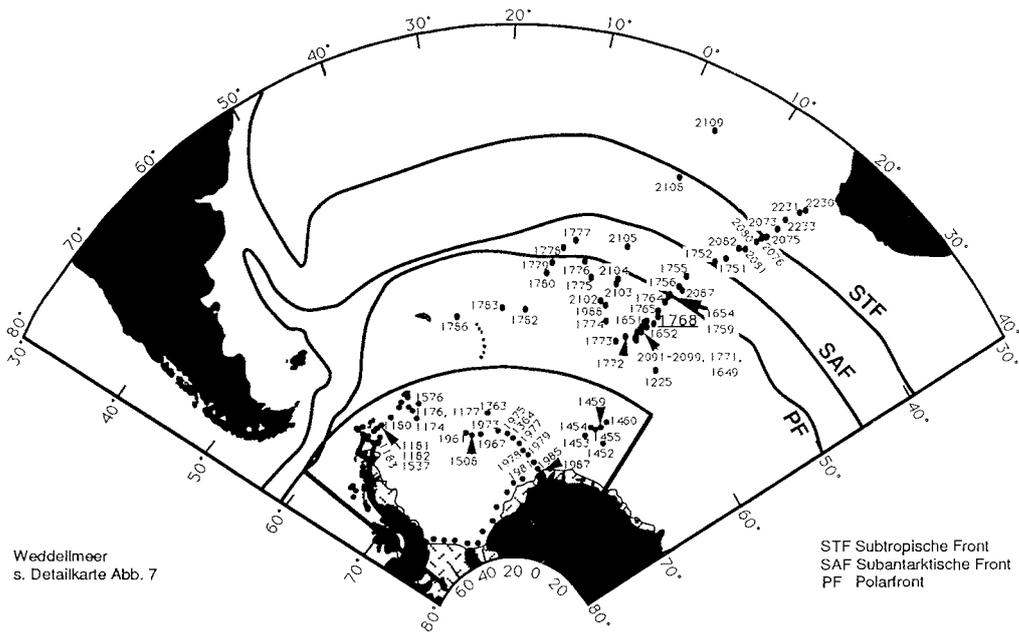
### 4.1. Probenmaterial und Entnahme

Für die quantitativen Untersuchungen zum Aufbau eines Referenzdatensatzes wurden 178 Oberflächensedimentproben bearbeitet (Abb. 6 und 7). Diese wurden auf verschiedenen Expeditionen mit dem FS POLARSTERN seit 1983 gewonnen (Tab. 3).

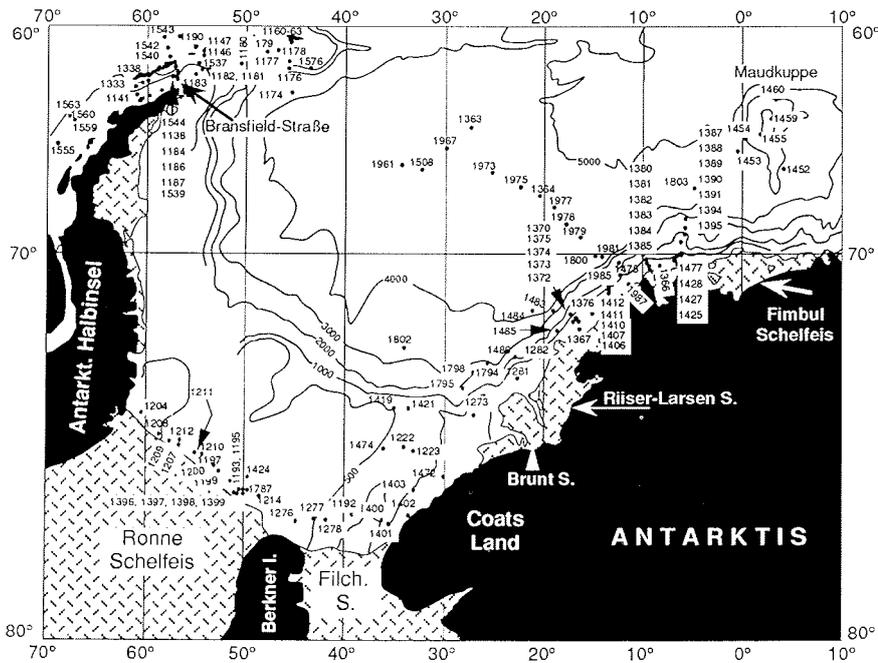
Für die Gewinnung der Proben wurden Großkastengreifer, Multicorer und Minicorer eingesetzt. Aus dem nördlichen Arbeitsgebiet im Bereich der ozeanischen Frontensysteme wurden 48 Proben bearbeitet, die vorwiegend mit dem Multicorer auf den POLARSTERN-Expeditionen (ANT-VIII/3, 1989 und ANT-IX/4, 1991) gewonnen wurden (Abb. 6). Die Proben des südlichen Untersuchungsgebietes stammen hauptsächlich aus Einsätzen mit einem Großkastengreifer. Seit der POLARSTERN-Expedition ANT IX/2 (1990) wird zusätzlich der Minicorer, ein dem Multicorer vergleichbares Gerät, das am Alfred-Wegener-Institut entwickelt wurde, eingesetzt. Eine Aufstellung der Stationsnummern, Koordinaten und Geräteeinsätze findet sich in Tabelle 9 im Anhang.

Fahrtabschnitt	Zeitraum	Gebiet	Bearbeitete Proben
ANT II/3	22.11. - 27.12.1983	Bransfield-Str., Powellbecken	21
ANT II/4	30.12.1983 - 9.3.1984	Südliches Weddellmeer	17
ANT III/3	3.1. - 5.3.1985	Südliches und südöstl. Weddellmeer	6
ANT IV/2	6.11. - 1.12.1985	Bransfield-Straße	2
ANT IV/3	6.12.1985 - 13.3.1986	Südöstliches und östl. Weddellmeer	42
ANT IV/4	18.3. - 29.4.1986	Gebiet der Maudkuppe	6
ANT V/4	26.12.86 - 17.3.1987	Zentrales und südöstl. Weddellmeer	9
ANT VI/2	20.10. - 19.12.1987	Bransfield-Straße, Drake Passage	10
ANT VI/3	21.12.87 - 17.3.1988	Bereich südlich der Polarfont	5
ANT VIII/3*	1.11. - 30.11.1989	Ozeanisches Frontengebiet	21
ANT VIII/5	16.12.89 - 12.3.1990	Südliches und südöstl. Weddellmeer	7
ANT IX/2	16.11. - 30.12.1990	Zentrales und östl. Weddellmeer	11
ANT IX/4	30.3. - 13.5.1991	Ozeanisches Frontengebiet	18
ANT X/4	21.5. - 5.8.1992	Nördl. der Subtrop. Front (14° - 18°E)	3

**Tab. 3:** Zusammenstellung der bearbeiteten Probenanzahl aus den jeweiligen Fahrtabschnitten. \* Fahrtabschnitt, auf dem der bearbeitete Sedimentkern PS1768-8 gewonnen wurde.



**Abb. 6:** Karte der bearbeiteten Oberflächensedimentproben aus dem Atlantischen Sektor des Antarktischen Ozeans. Lage der Fronten nach WHITWORTH (1988), PETERSON & STRAMMA (1991).



**Abb. 7:** Karte der untersuchten Oberflächensedimentproben aus dem Weddellmeer. Berkner I. = Berkner Insel, Filch. S. = Filchner Schelfeis, S. = Schelfeis. Bathymetrie nach GEBCO (1983).

Zur Anwendung der Transferfunktion wurde der Diatomeenbestand aus 97 Proben des Schwerelotkerns PS1768-8, nördlich des SW-Indischen Rückens bei 52°35.6' S ausgezählt.

Für die Erfassung "rezenter" Diatomeenvergesellschaftungen werden möglichst ungestörte Sedimentoberflächen benötigt, um eine einheitliche Beprobung des Sedimentintervalls von 0-1 cm zu gewährleisten. Da die Oberflächen von Kolben- und Schwerelotkernen oftmals aufgrund des Kernprozesses gestört oder nur unvollständig erhalten sind (KUHN 1986, MELLES 1991), bieten Großkastengreifer (GKG), Multicorer (MUC) und Minicorer (MIC) eine weitaus bessere Probenqualität. Es werden Sedimentverschleppungen und dadurch mögliche Kontamination der Oberflächen durch stratigraphisch ältere Sedimente mit fossilen Diatomeenarten durch den Einsatz dieser Geräte vermieden.

Die Multicorer- und Minicorerkerne bieten den Vorteil, daß die über dem Meeresboden ausgebildete "fluffy layer" (eine bodennahe, ca. 1 cm messende Schicht aus unvollständig abgebautem, organischen Material, BILLET et al. 1983) erhalten bleibt (THIEL et al. 1988/89). Sie stellt den Beweis für die gute Erhaltung der ungestörten Oberflächenprobe dar. Im Gegensatz dazu ist die "fluffy layer" im GKG meistens nicht oder nur teilweise erhalten, da diese beim Eindringen des Gerätes in den Meeresboden und durch schwankende Bewegungen beim Hieven zerstört wird (THIEL et al. 1988/89, vergl. Kap. 6.2.).

Zur sicheren Feststellung, daß es sich bei den Proben um rezente Oberflächen handelt, gibt die "fluffy layer" einen ersten Hinweis auf ungestörtes, durch Bodenwasserströmungen unbeeinflusstes Oberflächensediment. Eine zusätzliche Aussage erbringen Ausstrichpräparate des Oberflächensedimentes (smear slides), in denen bewertet werden kann, ob fossile Diatomeenarten möglicherweise Hinweise auf ältere Sedimente geben.

Der Großkastengreifer besteht aus einem Stechkasten (Maße 50 x 50 x 60 cm), der an einem Absatzgestell mit Gewichtsträger montiert ist. Aufgrund der Fiergeschwindigkeit und seines Gewichtes dringt der GKG in das Sediment ein, beim Hieven wird der Stechkasten durch eine Schaufel verschlossen. Eine detaillierte Beschreibung zur Funktionsweise geben WEAVER & SCHULTHEISS (1990). An Bord wurden die ungestörten Oberflächen beschrieben, fotografiert und für sedimentologische und biostratigraphische Untersuchungen beprobt (s.a. MELLES 1991, WEBER 1992). Für Diatomeenuntersuchungen wurde jeweils der oberste Zentimeter der Oberfläche entnommen.

Der Multicorer liefert völlig ungestörte Sedimentoberflächen und eignet sich so insbesondere auch für geochemische Untersuchungen des Boden- und Porenwassers (s. SCHLÜTER 1990). Besonders aus weichen, siltig-tonigen Sedimenten ist es möglich, Proben von sehr guter Qualität zu entnehmen

(MACKENSEN et al. 1988). Das Gerät besteht aus einem Absatzgestell, an dem 12 Hartplastikrohre (Länge: 34 cm,  $\varnothing$  6 cm) und eine darüber installierte Hydraulik angebracht sind. Diese wird ausgelöst, sobald das Gerät den Meeresboden erreicht und die Zugkraft des Tiefseeseiles nachläßt, die Rohre dringen in das Sediment ein. Beim Hieven werden sie durch einen Federmechanismus erst oben und nach dem Herausziehen aus dem Sediment unten mit einem konischen Stempel verschlossen. Detaillierte Beschreibungen zur Technik und Arbeitsweise dieses Gerätes geben BARNETT et al. (1984). Der Minicorer arbeitet nach dem gleichen Funktionsprinzip.

Bei der Beprobung der MUC-Kerne wurde zur Gewinnung der Oberflächenproben zunächst die "fluffy layer" und die obersten 0,5 cm des Sediments mit einer Spritze abgesaugt. Anschließend wurde der Bereich von 0,5-1 cm mit einem Spatel entnommen, das restliche Kernmaterial in 1-cm-Scheiben zerlegt, verpackt und beschriftet. In gleicher Weise erfolgte die Beprobung der MIC-Kerne. Der Minicorer kann gleichzeitig mit anderen Geräten, wie z.B. der CTD-Sonde (Messung von Temperatur und Salinität in der Wassersäule), gefahren werden. Er wird mit einem 20 m Tiefseedraht unter der CTD-Sonde befestigt, so daß Oberflächensedimentproben in Kombination mit hydrographischen Daten gewonnen werden, ohne zusätzliche Schiffszeit zu beanspruchen.

Der Sedimentkern PS1768-8 wurde während der Expedition ANT VIII/3 (1989) mit dem Schwerelot bei 52°35'S, 4°28'E gewonnen. Er liegt im Bereich des Opalgürtels südlich der Polarfront mit hohen nacheiszeitlichen Sedimentationsraten von ca. 10 - 50 cm/1000 Jahre (GERSONDE & PÄTZOLD 1992).

Im obersten Abschnitt des Kerns (Gewinn: 8,96 m) fehlen die Sedimente der jüngsten 3000 - 4000 Jahre (GERSONDE, mdl. Mittl.). Die vom Kern erfaßten Sedimente weisen eine kontinuierliche Abfolge auf. Die obersten 1,4 m bestehen aus bioturbatem, größtenteils ungeschichtetem, reinem Diatomeenooze. Bis zur Kerntiefe von etwa 6 m setzt sich das Sediment aus Diatomeenmud zusammen, in dem dünne Aschelagen und Bereiche mit dispers verteilten Aschepartikeln eingeschaltet sind. Die letzten 3 m werden von wechselnden Diatomeenooze- und Diatomeenmud-Lagen mit fein verteilten Aschepartikeln und Grabgängen gebildet. Die vollständige Kernbeschreibung findet sich unter Kap. 10.3.

Die Proben aus dem Schwerelotkern wurden mit Hilfe von 10 ml Spritzen in 10 cm Abständen entnommen. Bei markanten, lithologischen Änderungen wurde der Probenabstand verkürzt. Ausführliche Beschreibungen zur Sedimentkerngewinnung mit dem Schwerelot und Probennahme finden sich bei CORDES (1990) und MELLES (1991).

#### 4.2. Aufbereitung und Präparation

Die Aufbereitung der Oberflächen- und Sedimentkernproben erfolgte nach einer Standardmethode, die 1984 im Mikropaläontologie-Labor des Alfred-Wegener-Institutes entwickelt wurde (Abb. 8). Grundlage ist dabei eine von SCHRADER & GERSONDE (1978) beschriebene Methodik.

Zunächst wird das Sediment in einem Gefriertrockner (LEYBOLD-HERAEUS Lyovac GT 2) zwei bis drei Tage getrocknet. Je nach Diatomeengehalt der Probe werden 0,5 bzw. 1 g Trockensediment entnommen, zur Dispergierung in Lösol 80 (Spezialwaschbenzin) eingeweicht und anschließend mit kochendem, demineralisiertem Wasser versetzt. Nach der Verdunstung des Lösols werden die Proben zur  $C_{org}$  Oxidierung mit ca. 20 ml

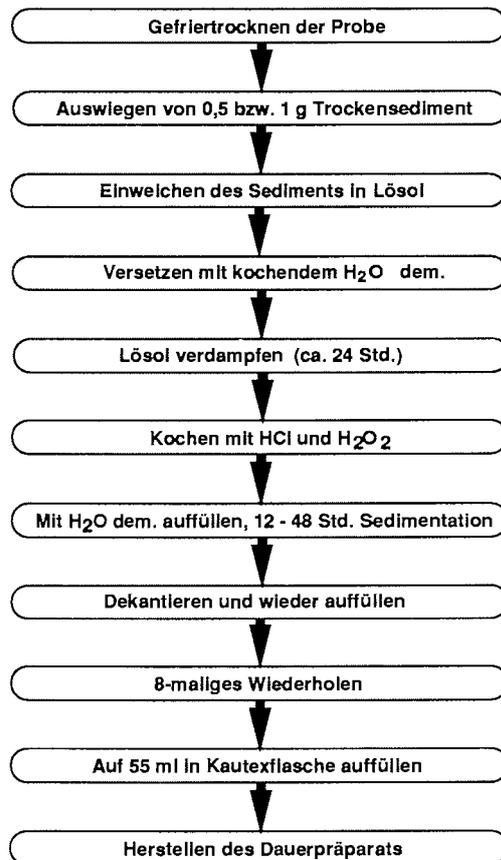


Abb. 8: Flußdiagramm zur Aufbereitung von Sedimentproben für die Diatomeenpräparation.

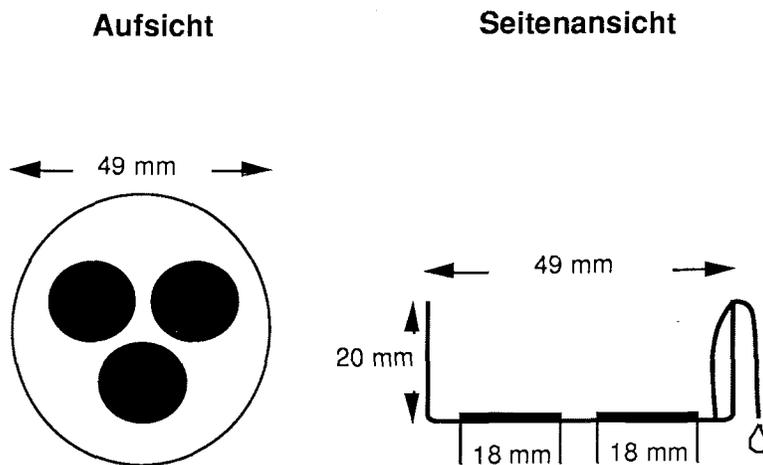
Wasserstoffperoxid (35%) und zur Karbonatlösung mit ca. 20 ml Salzsäure (37%) versetzt und erhitzt. Nach Reaktionsende wird mit demin. Wasser aufgefüllt. Je nach Zusammensetzung des Ausgangssedimentes benötigt das Material 12 bis 48 Stunden Sedimentationszeit. Vor dem Absaugen der überstehenden Flüssigkeit und dem erneuten Auffüllen mit demin. Wasser wird deshalb geprüft, ob sich noch Diatomeenschalen in Suspension befinden. Die Sedimentationszeiten sind dabei offenbar vom Tongehalt des Materials und damit verbundenen elektrochemischen Vorgängen in der Wassersäule, dem Gehalt an Salzen und dem pH-Wert der Flüssigkeit abhängig (GERSONDE, mdl. Mittl.). Die Sedimentationsgänge werden ca. achtmal wiederholt, bis die überstehende Flüssigkeit den gleichen pH-Wert (6,5) wie demineralisiertes Wasser aufweist (Test mit Indikatorpapier). Der Rückstand wird in Kautexflaschen überführt und diese auf 55 ml mit demin. Wasser aufgefüllt.

Zur Herstellung von Diatomeenpräparaten wird zunächst eine Petrischale (49 mm Durchmesser, 20 mm hoch) mit drei in Diethylether gereinigten Deckgläsern (18 mm Durchmesser) vorbereitet. Sie wird anschließend mit einer Mischung aus Gelatine und demin. Wasser gefüllt (0,06 g Gelatine auf 700 ml dem. Wasser), um eine Haftung der Diatomeenschalen auf den Deckgläsern nach dem Eintrocknen zu gewährleisten (MOORE 1973). Je nach Menge des Rückstandes in der zuvor kräftig geschüttelten Kautexflasche werden verschiedene Splitmengen (zwischen 0,125 und 6 ml) mit einer Automatik-Pipette aus der Probenflasche entnommen und in die Petrischale gegeben. Die Entnahme der Probenmenge muß nach spätestens fünf Sekunden erfolgen, um eine Fraktionierung von großen und kleinen Schalen zu verhindern (GERSONDE 1980, BODÉN 1991). Nach einer Sedimentationszeit von zwei Stunden kann das Wasser mittels Papierstreifen aus der Petrischale abgesaugt werden (Abb. 9).

Anschließend werden die Deckgläser auf einer Heizplatte (120° C) mit ein bis zwei Tropfen Einbettungsmittel pro Glas (Einbettungsharz Mountex: Brechungsindex 1.67) benetzt. Nach Verdampfen des Verdünnungsmittels Toluol (ca. 15-20 Sekunden) erfolgt die Fixierung der Deckgläser auf einem vorgewärmten Objektträger.

Vorteilhaft für die oben beschriebene Aufbereitung ist der geringere Zeitaufwand gegenüber nachfolgend aufgeführten Methoden. Desweiteren wird eine gute Dispergierung des Ausgangsmaterials durch Lösol erreicht. Zusätzlich wird eine gute Verteilung des Rückstandes auf den Deckgläsern erzielt, die für eine quantitative Untersuchung notwendig ist.

Die von SCHRADER & GERSONDE (1978) beschriebene Pipettemethode erbringt keine befriedigend reproduzierbaren Ergebnisse. Durch hydrodynamische Fraktion von unterschiedlich großen Schalen (große konzentrieren sich in der Mitte des Deckglases, kleinere werden an den Rand



**Abb. 9:** Schematische Darstellung einer Sedimentationsschale zur Herstellung von Diatomeen-Dauerpräparaten.

gedrängt) ergibt sich keine homogene Verteilung (BATTARBEE 1973, LAWS 1983, MOORE 1973). Die Evaporationsmethode, bei der das überstehende Wasser bei Zimmertemperatur verdunstet, zeigt dagegen gute Ergebnisse (BATTARBEE 1973, LAWS 1983), ist jedoch sehr zeitaufwendig.

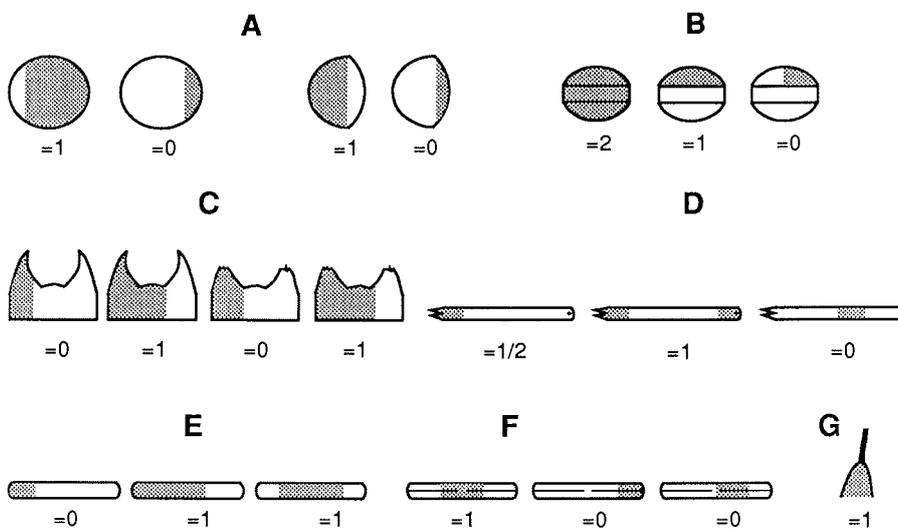
#### 4.3. Zählmethodik

Die mikroskopische Bearbeitung der Proben erfolgte mit einem LEITZ-ORTHOPLAN universellen Großfeldmikroskop mit apochromatischem Ölimmersionsoberktiv (PL APO 100/1.32 Öl) bei 1000-facher Vergrößerung (Okular: Periplan GW 10 x M). Die Fotoarbeiten wurden mit einem MITSUBISHI Videoprinter-System angefertigt. Die Videoprint-Bilder entsprechen dabei einer 1500-fachen Vergrößerung (Kap. 10.2.).

Zur Erfassung des Diatomeenbestandes wurden die Proben auf der jeweils mittleren Traverse des Deckglases gezählt, hierbei wurden mindestens 300 - 400 Klappen gezählt, um statistisch signifikante Ergebnisse zu erhalten. Diese Mindestanzahl hat sich für derartige Zählungen als erfolgreich erwiesen (IMBRIE & KIPP 1971, DROOGER 1978). Bei Zählungen dieser Größenordnung liegt der Fehler für Arten mit relativen Häufigkeiten unter 5% nach VAN DER PLAS & TOBI (1965) bei 40%. Zählungen mit 800 Individuen zeigen, daß sich hierbei nur die Prozentwerte der Arten unter 2% relativer Häufigkeit

gegenüber der 400er Zählung signifikant ändern (SCHRADER & GERSONDE 1978).

Als problematisch erwies sich bei den quantitativen Untersuchungen die Berücksichtigung zerbrochener Diatomeenklappen. Um sie zu erfassen, erfolgten die Zählungen nach der Methode von SCHRADER & GERSONDE (1978), in der festgelegt ist, welches Bruchstück als eine Schaleinheit zu bewerten ist (Abb. 10). Zusätzlich wurde nach LAWS (1983), ein Fragment nur als eine Einheit gezählt, wenn sich auch der fehlende Teil noch innerhalb des Sichtfeldes befinden würde (s.a. BODÉN 1991).



**Abb. 10:** Schema der Zählmethodik, in der Bruchstücke als eine Schaleinheit zu bewerten sind. Verändert nach SCHRADER & GERSONDE (1978). Erläuterungen siehe Text.

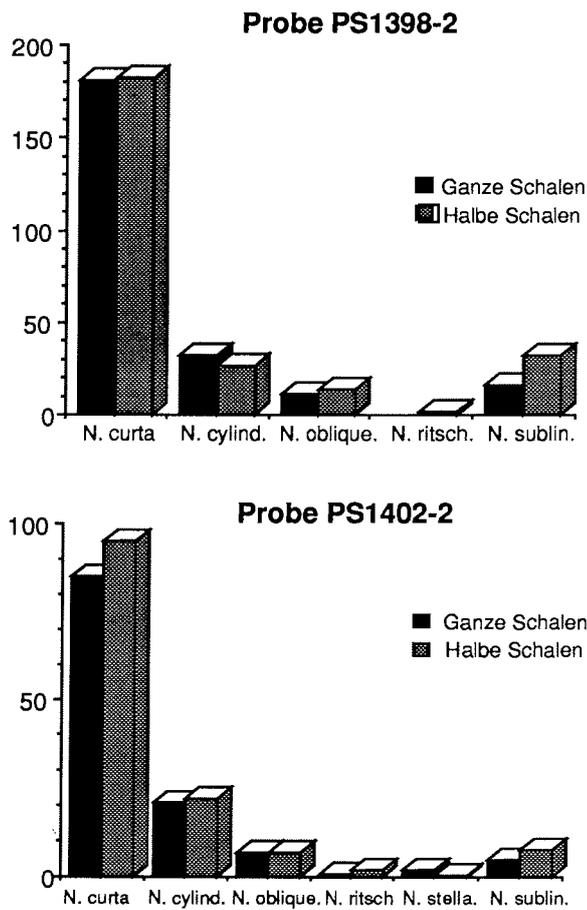
Als eine Schale wurden folgende Schalenfragmente gezählt:

- A) Bei zentralen Diatomeen mit und ohne Pseudonodulus (z.B. *Thalassiosira*, *Actinocyclus*) Bruchstücke, wenn mehr als die Hälfte der Klappe vorhanden waren.
- B) Bei der Gattung *Chaetoceros* Bruchstücke, wenn mehr als die Hälfte der Schale vorhanden waren.
- C) Bei zentralen Diatomeen mit Hornfortsätzen (z.B. *Eucampia*) Bruchstücke größer als eine halbe Schale.
- D) Bei raphenlosen, langgestreckten Pennales (z.B. *Thalassiothrix*, *Thalassionema*) zwei Schalenenden.

- E) Bei pennaten Formen mit Kanalraphe (z.B. *Nitzschia*) Bruchstücke größer als eine halbe Schale. Es wurden auch Mittelstücke gezählt, bei denen die Apizes fehlten.
- F) Bei mono- und biraphen, pennaten Formen (z.B. *Navicula*) Bruchstücke mit Zentralknoten oder größer als eine halbe Schale.
- G) Bei Arten der Gattung *Rhizosolenia* Fragmente mit Calyptra und Fortsatz.

Da in den untersuchten Proben bei den pennaten Formen Bruchstücke von Arten der Gattung *Nitzschia* überwogen, sind einige Vergleichszählungen durchgeführt worden, in denen Bruchstücke als halbe und nach einer zweiten Zählung über dieselbe Traverse als ganze Schale gezählt wurden (Abb. 11). Es sollte getestet werden, ob sich signifikante Unterschiede beim Zählen von halben Schalen (= Polenden, ohne Berücksichtigung von Mittelstücken) einstellten. Hierbei ergaben sich geringe Differenzen bei *Nitzschia curta*, die am häufigsten auftrat und bei der langgestreckten *Nitzschia sublinearis*. Letztere Art, ebenso *N. obliquocostata*, wurden durch Zählen der halben Schalen leicht überbewertet. Jedes Bruchstück ging dabei in die Zählung ein, während ganze Schalen nur danach bewertet wurden, wenn mehr als die Hälfte der Klappe vorhanden war. Für die Unterschiede in der Zählung von *N. curta* in Probe PS1402-2 ergibt sich, auf die Gesamtdiatomeenzahl bezogen, zwischen ganzen und halben Schalen ein Unterschied von ca. 5 %. Die relative Häufigkeit dieser Art steigt demnach von 42,9 % (ganze Schalen) auf 47,98 % (halbe Schalen). Fehler dieser Größenordnung wirken sich nicht beeinträchtigend auf palökologische Interpretationen aus. Dies zeigen auch Testzählungen verschiedener Bearbeiter an derselben Art, bei denen Unterschiede bis zu 5 % ermittelt wurden (SCHRADER & GERSONDE 1978).

Bei der Bearbeitung der Proben hat sich das Zählen der ganzen Schalen als vorteilhafter erwiesen, da bei den meisten pennaten Formen eine sichere Identifizierung nur vorgenommen werden konnte, wenn noch mindestens die Hälfte der Schale vorhanden war. Diatomeenarten wie *Nitzschia ritscheri* ließen sich z.B. nur sicher an ganzen Schalen bestimmen, da sie sonst leicht mit *N. obliquocostata* zu verwechseln sind.



**Abb. 11:** Vergleichszählungen pennater Diatomeenarten der Gattung *Nitzschia* an zwei Oberflächenproben mit halben bzw. ganzen Schalen. Es zeigen sich geringe Unterschiede in der Klappenanzahl bei *N. curta* (Probe PS1402-2) und *N. sublinearis* (beide Proben).

#### 4.4. Erfassung des Erhaltungszustandes

Für palökologische Interpretationen fließt der Erhaltungsgrad der Diatomeenvergesellschaftungen als zusätzliche Information mit ein. So liefert der Erhaltungsgrad Aussagen zur Abgrenzung von Gebieten unterschiedlicher Opallösung und zur Interpretation der errechneten Faktoren aus der statistischen Analyse (vergl. Abb. 22). Eine quantitative Bewertung ist jedoch aufgrund des unterschiedlichen Baues und Verkieselungsgrades der Diatomeen-

schalen und des dadurch resultierenden differenzierten Lösungsverhaltens nicht möglich. Der Grad der Erhaltung konnte deshalb nur geschätzt werden.

Schlechte Erhaltung zeichnet sich hauptsächlich durch Areolenerweiterung, Anreicherung von stark verkieselten Arten (z.B. *Nitzschia kerguelensis*, *Thalassiosira lentiginosa*) und eine Abnahme der Gesamtdiatomeenhäufigkeit aus. Eine genaue Einteilung unterschiedlicher Erhaltungszustände ist nur mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops möglich. SCHRADER (1972) identifiziert so drei Gruppen unterschiedlicher Anlösung aufgrund der Porendichte pro Flächeneinheit und des Zackenindex der Poren.

SCHRADER & GERSONDE (1978) gruppieren Diatomeen in vier Erhaltungsklassen, wobei eine Probe umso bessere Erhaltung zeigt, je höher der Anteil der leicht löslichen Arten ist (s.a. SCHRADER 1972, GERSONDE 1980, TREPPKE 1988). Beispiele für fein verkieselte, relativ leicht lösliche Arten sind *N. curta*, *N. cylindrus*, *N. vanheurckii*. Lösungsresistentere und dementsprechend stärker verkieselte Arten stellen *N. kerguelensis*, *T. lentiginosa* und *E. antarctica* (Dauerspore) dar.

Die Bewertung der Erhaltung wurde vorwiegend durch das Verhältnis starker zu schwach verkieselter Arten, sowie Fraktionierung und Anlösung der Schalen bestimmt. Hierzu wurden besonders die Areolen und der Schalenrand untersucht. Je schlechter eine Probe erhalten ist, umso problematischer ist die eindeutige Identifikation einzelner Arten (besonders bei den zentralen Formen durch Areolenerweiterung), was als zusätzliches Kriterium für den Erhaltungsgrad hinzugezogen werden kann. Als Beispiel läßt sich die Ähnlichkeit von *Thalassiosira lentiginosa* mit *Coscinodiscus elliptopora* durch Areolenerweiterung infolge von Lösung heranziehen, die von ABBOTT (1974) erwähnt wird. Er betrachtet daraufhin *C. elliptopora* als ausgestorbenen Vorläufer von *T. lentiginosa*.

Folgende drei Erhaltungsklassen, die z.T. auch miteinander kombiniert wurden, sind für die Erhaltung maßgebend:

- Gut: Grob- und fein verkieselte Arten kommen nebeneinander vor, kaum Areolenerweiterung oder Anlösung des Schalenrandes. Hohe Gesamtdiatomeenhäufigkeit.
- Mittel: Grob- und fein verkieselte Arten sind vorhanden. Feiner verkieselte Arten zeigen Areolenerweiterung, Randanlösung und Fraktionierung.
- Schlecht: Überwiegend grob verkieselte Arten, starke Anlösung des Schalenrandes und Areolenerweiterung. Teilweise schlechte Identifikationsmöglichkeit bei zentralen Formen.

Die absolute Diatomeenhäufigkeit (Diatomeen pro g Trockensediment) kann als weiteres Kriterium zur Erhaltung herangezogen werden. Sie wurde für die Proben des Nord-Süd Profils in Abb. 22 errechnet. Den Formelansatz zur Ermittlung der absoluten Häufigkeit beschreiben SCHRADER & GERSONDE (1978), GERSONDE (1980) und TREPPKE (1988).

#### 4.5. Statistische Methoden

Die statistische Bearbeitung der Zählraten wurde mit der Transferfunktionsmethode nach IMBRIE & KIPP (1971) durchgeführt. Sie wurde für die Untersuchung planktischer Foraminiferenvergesellschaftungen, die mit ozeanographischen Parametern des Oberflächenwassers korreliert werden, entwickelt und für die Gruppe der Diatomeen ebenfalls erfolgreich angewendet (Kap. 2.). Ziel dieser Methode ist es, aus paläontologischen Daten eines Sedimentkerns quantitative Aussagen über die ozeanographischen Bedingungen des Oberflächenwassers während der Ablagerung des untersuchten Sedimentpaketes machen zu können (IMBRIE & KIPP 1971).

Das Programm (veröffentlicht von IMBRIE & KIPP 1971 und KLOVAN & IMBRIE 1971) für die Berechnung von Transferfunktionen gliedert sich in drei Unterprogramme: Ausgehend von einer Q-Modus-Faktorenanalyse (CABFAC), in der die Fülle der Zählraten aus Oberflächensedimenten zu wenigen Faktoren (Vergesellschaftungen) reduziert werden, fließen in einer anschließenden Regressionsanalyse (REGRESS) aktuelle ozeanographische Parameter (Temperatur, Salinität, Nährstoffgehalt) in Kombination mit den Faktoren ein. Im letzten Schritt (THREAD) erfolgt mit dem fossilen Datensatz aus Sedimentkernen die Berechnung der Paläoumweltparameter (vergl. Abb. 12).

Die Methode kann nach IMBRIE & KIPP (1971) in fünf aufeinanderfolgende Schritte unterteilt werden:

- 1) Erfassung des Rohdatensatzes aus den Oberflächensedimenten und des fossilen Datensatzes aus dem Sedimentkern.
- 2) Der Datensatz der Oberflächensedimente wird mittels Faktorenanalyse in verschiedene Faktoren (Vergesellschaftungen) gegliedert.
- 3) Durch eine multiple Regressionsanalyse werden palökologische Gleichungen errechnet, die die Faktoren mit gemessenen ozeanographischen Parametern kombinieren (Transferfunktionen).
- 4) Der fossile Datensatz aus dem Sedimentkern wird in das Faktorenmodell des Oberflächendatensatzes projiziert.
- 5) Errechnung von palökologischen Schätzwerten mit Hilfe der Gleichungen aus der Regressionsanalyse.

Im folgenden werden der Grundgedanke der Transferfunktionstechnik sowie die Vorgehensweise der jeweiligen Unterprogramme erläutert. Detaillierte Informationen zum mathematisch-statistischen Hintergrund geben MALMGREN & HAQ (1982), SACHS et al. (1977), JÖRESKOG et al. (1976), BACKHAUS et al. (1989). Eine kurze, aber ausführliche Zusammenfassung sowie technische Beschreibung der Transferfunktionsmethode ist bei MAYNARD (1976) zu finden.

Paläontologische Transferfunktionen stellen empirisch hergeleitete, palökologische Gleichungen für quantitative Schätzungen ozeanographischer Bedingungen in geologischer Vorzeit dar (SACHS et al. 1977). Diese Schätzungen werden über die Gleichungen an paläontologischen Datensätzen vorgenommen. Die dabei gewonnenen Beziehungen basieren auf der räumlichen Korrelation zwischen aktuellen ozeanographischen Daten und Diatomeenvergesellschaftungen (oder anderen Organismengruppen), deren rezente Verbreitung als Referenzdatensatz ("calibration data set") herangezogen wird (SACHS et al. 1977). Dem Grundgedanken dieser quantitativen, palökologischen Rekonstruktionen liegen folgende Annahmen zugrunde (SACHS et al. 1977, IMBRIE & KIPP 1971, SANCETTA 1979b):

- Die Vergesellschaftungen aus Oberflächensedimenten können mit den hydrographischen Bedingungen des Oberflächenwassers in Beziehung gesetzt werden.
- Die ökologischen Bedingungen haben sich während der Ablagerung des untersuchten Sedimentes durch die Zeit nicht wesentlich verändert.
- Evolutionäre Änderungen der Arten innerhalb des betrachteten Zeitraumes sind gering und vernachlässigbar.
- Ozeanographische Änderungen und saisonale Schwankungen des Ökosystems fallen in die Schwankungsbreite, die mit der Zusammensetzung des Referenzdatensatzes aus Oberflächensedimenten erfaßt wurden.
- Die Erhaltungsbedingungen für die Hartschalen von Organismen sind durch die Zeit relativ stabil geblieben.
- Die Häufigkeiten aller im Sedimentkern untersuchten Arten müssen dem Rahmen des Referenzdatensatzes entsprechen, andernfalls wäre eine No-Analog-Situation vorhanden.

Diese Annahmen lassen sich bis auf die letzten beiden Punkte für den bearbeiteten Sedimentkern bestätigen. Die Erhaltungsbedingungen sind im zeitlichen Verlauf, der mit dem Sedimentkern erfaßt wird, nicht stabil geblieben: Die Bedingungen während der Kaltzeiten können in etwa mit dem heutigen neritischen Bereich des Weddellmeeres mit mittlerer Erhaltung der Diatomeenvergesellschaftungen verglichen werden. Demgegenüber befindet sich die Kernposition heute im Bereich guter Erhaltung. Die Annahme der Stabilität der Erhaltungsbedingungen muß demnach eingeschränkt werden. Die verschiedenen Umweltbedingungen und die daraus resultierenden Erhal-

tungsänderungen im Verlauf der Kalt- und Warmzeiten sind jedoch mit dem Referenzdatensatz aus Oberflächensedimenten erfaßt worden. Eine No-Analog-Situation besteht für die Art *E. antarctica*, die mit ihrer Häufigkeit im Referenzdatensatz nicht mit ihrem hohen Anteil am Kerndatensatz verglichen werden kann (Kap. 6.1.1.).

#### 4.5.1. Faktorenanalyse (Programm CABFAC)

In dem Transferfunktionsprogramm wird eine Q-Modus-Faktorenanalyse (s. MALMGREN & HAQ 1982) angewendet. Sie reduziert die hohe Zahl der Diatomeenarten (Variablen) auf eine geringe Anzahl von interpretierbaren, statistisch unabhängigen Variablen (Faktoren, Vergesellschaftungen). In der Analyse der vorliegenden Untersuchungen sind jeweils Arten mit gleichen oder ähnlichen ökologischen Ansprüchen zusammengefaßt worden. Es wird ein Modell der rezenten Diatomeenvergesellschaftungen errechnet, das im weiteren Verlauf der statistischen Analytik mit den heutigen hydrographischen Bedingungen des Oberflächenwassers in Beziehung gesetzt wird.

Anmerkung zum Begriff "Faktorenanalyse": MALMGREN & HAQ (1982) weisen auf die Unkorrektheit dieses Begriffes hin und bezeichnen sie als Hauptkomponentenanalyse. Diese unterscheidet sich von der klassischen Faktorenanalyse durch die Kommunalitätsschätzung. Man geht bei der Hauptkomponentenanalyse davon aus, daß die gesamte Varianz des Modells auf die gemeinsamen Faktoren zurückgeht, d.h. kein Informationsverlust bei der Berechnung auftritt (die Kommunalität hätte demnach den größtmöglichen Wert 1). Dies ist jedoch in der Praxis nicht der Fall, da die Kommunalitäten Werte  $< 1$  aufweisen, also immer ein Informationsverlust aufgrund der statistischen Berechnung berücksichtigt werden muß (vergl. BACKHAUS et al. 1989). Da sich der Term Faktorenanalyse in der Literatur durchgesetzt hat, wird er im folgenden beibehalten.

Das Programm CABFAC liefert als Ergebnis zwei für die Interpretation erforderlichen Datenmatrizen:

In der **Varimax Factor Matrix** (Probenfaktorenmatrix) wird der jeweilige Anteil eines Faktors (Diatomeenvergesellschaftung) an einer Oberflächenprobe in Form einer Faktorenladung angegeben (Tab. 10, 11, 12 in Kap. 10.5.). Dieser Wert liegt zwischen 0 und 1. Wieviel Information über die Zusammensetzung der Originalprobe vom Varimax-Modell der Faktorenanalyse errechnet wurde, gibt die Kommunalität an, die sich aus der Summe der quadrierten Faktorenladungen einer Reihe der Datenmatrix errechnet. Der Wert bewegt sich ebenfalls zwischen 0 und 1. Niedrige Kommunalitäten (i.A. unter 0,75) wurden aus dem gewichteten, antarktischen Datensatz entfernt. Gründe für niedrige Werte können beispielsweise Veränderungen der

Vergesellschaftungen in der betreffenden Probe durch Resuspension, Kontamination mit fossilen Arten oder Lösungserscheinungen sein.

Die **Varimax Factor Score Matrix** (Artenfaktorenmatrix) gibt die Artenzusammensetzung eines Faktors an, wobei die Faktorenladung ein Maß für die Höhe des Anteils einer Art in einem Faktor ist (Tab. 4, 6 und 13).

#### 4.5.2. Regressionsanalyse (Programm REGRESS)

Die Regression beschäftigt sich mit der Analyse von Beziehungen zwischen einer abhängigen Variablen und einer (lineare Regression) oder mehreren unabhängigen Variablen (multiple Regression). Dabei wird die abhängige Variable in einen systematischen Teil und einen zufälligen Teil aufgespalten. Die Stärke des Zusammenhanges der beiden Variablen wird dabei durch Korrelationskoeffizienten ausgedrückt. Sie werden mathematisch durch die Methode der kleinsten Quadrate bestimmt.

In der Regressionsanalyse innerhalb der Transferfunktion stellen die hydrographischen Parameter die abhängigen Variablen dar, während die Probenfaktoren unabhängige Variable repräsentieren. Der hydrographische Parameter wird demnach in einen berechneten (systematischen) Wert und einen zufälligen (= Restwert oder Residual) gespalten. Das Programm REGRESS arbeitet mit einer nichtlinearen, multiplen Regressionsanalyse, die gegenüber der linearen Regression genauere Ergebnisse liefert (IMBRIE & KIPP 1971, MORLEY 1979, SANCETTA 1979b, MOLFINO et al. 1982). Für die multiple Regression wird mit Hilfe eines Unterprogramms ("POWER") die Anzahl der unabhängigen Variablen (Probenfaktoren) erhöht. Die Faktoren werden quadriert und miteinander multipliziert, so daß sich beispielsweise aus vier Faktoren des CABFAC-Programms 14 Faktoren in einer Kreuzproduktmatrix ergeben. Die Anzahl der Faktoren in dieser Matrix errechnet sich nach der Formel  $(m^2 + 3m)/2$ , wobei  $m$  die Faktorenanzahl darstellt (IMBRIE & KIPP 1971). Die so neu errechneten 14 Faktoren werden schrittweise in die Regressionsgleichung einbezogen.

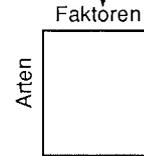
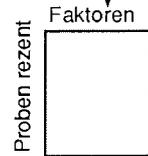
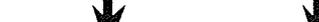
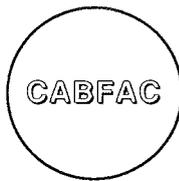
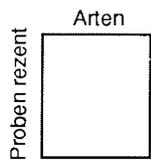
Die hydrographischen Parameter wurden aus OLBERS et al. (1992) entnommen. Die Daten für die Temperaturen und Salzgehalte stellen gemittelte Werte für die Sommermonate Dezember bis März dar (s. Diskussion in Kap. 5.1.). Die Meßwerte stammen aus einer Wassertiefe von 10 m. Die Phosphatgehalte (in 30 m Tiefe gemessen) wurden nach unveröffentlichten Daten von SCHLITZER (Universität Bremen) zusammengestellt. Für den Bereich des westlichen Weddellmeeres gingen Phosphatdaten von GORDON & MOLINELLI (1986) in die Berechnung ein.

Neben den ozeanographischen Parametern für die jeweilige Oberflächenprobe fließt als weitere Eingabedatei die Varimax Factor Matrix (Probenfaktorenmatrix) aus der Faktorenanalyse mit ein (Abb. 12). Als Ergebnis liefert das Programm hydrographische berechnete Werte und Restwerte (Residuen) für jede Oberflächenprobe (Tab. 14) sowie Regressionskoeffizienten bzw. Standardabweichungen als Gütemaß für die palökologischen Gleichungen (Tab. 15). Die errechneten Residuen zeigen im Idealfall keine Korrelation zur geographischen Breite und einen Mittelwert um 0.

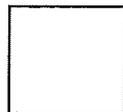
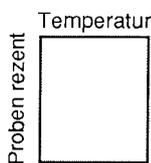
#### **4.5.3. Berechnung der Paläoumweltparameter (THREAD)**

Hier erfolgt die Eingabe des paläontologischen Datensatzes aus dem Sedimentkern. Die Zählergebnisse des Kerns werden nach der in Kap. 6.3.2. beschriebenen Methode gewichtet und gehen als Eingabedaten in das Programm THREAD ein (Abb. 12). Das Programm greift innerhalb der Berechnung auf die in der Faktorenanalyse errechnete Varimax Factor Score Matrix (Artenfaktorenmatrix) und auf die in der Regressionsanalyse aufgestellten palökologischen Gleichungen zurück. Die eingegebenen Zählraten werden wie in der Faktorenanalyse CABFAC in drei Faktoren gegliedert. Die Daten unterliegen jedoch keiner erneuten Faktorenanalyse. Es werden für die paläontologischen Daten sogenannte Parafaktoren errechnet, die in einer Artenfaktorenmatrix, hier B-Hat Matrix genannt (Tab. 16), erscheinen. Die Kommunalitäten geben hier an, wie gut sich der in Parafaktoren gegliederte paläontologische Datensatz in das bestehende Drei-Faktorenmodell der Oberflächenproben einfügt. Werte bis 0,75 können hierbei als signifikant angesehen werden (s.a. PICHON et al. 1992b). Die Ergebnisdatei enthält für jede Kerntiefe die entsprechenden errechneten Klimaparameter (Tab. 16).

Rohdaten Oberflächen



Ozeanographische Daten



Sedimentkerndaten

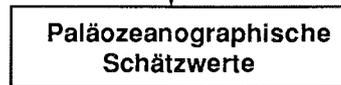
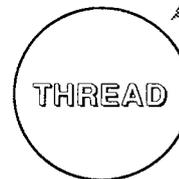
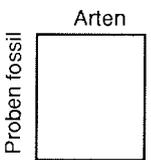


Abb. 12: Schema der Transferfunktionsmethode mit den Eingabedaten für die Unterprogramme (gerasterte Pfeile) und den Ergebnisdateien (schwarze Pfeile).

#### 4.5.4. Problematik der Methode

Als limitierender Faktor auf Transferfunktionen wirkt sich die in Kap. 6.1.1. beschriebene "No-Analog-Situation" aus. Die Diatomeenvergesellschaftungen aus dem Material des Sedimentkerns enthalten nicht alle ökologischen Randbedingungen, die durch den Referenzdatensatz vorgegeben wurden (HUTSON 1977, SACHS et al. 1977, MORLEY 1979). Gehen in die Berechnung Arten ein, deren Häufigkeit im Kern die des Referenzdatensatzes übersteigt, werden die entsprechenden Kernproben, in denen diese Arten auftreten, vom Programm ausgegrenzt und nicht berechnet (vergl. PFLAUMANN 1986). Ein Beispiel für eine No-Analog-Situation hervorrufende Art ist *Eucampia antarctica* (Kap. 6.1.1.). Sie kann somit nicht in die Transferfunktion integriert werden.

Die Anwendbarkeit der Transferfunktionsmethode wird durch den Zeitfaktor begrenzt. Je mehr stratigraphisch ältere Sedimente mit einem Kern erfaßt wurden, desto häufiger ist mit dem Vorkommen fossiler Arten, die nicht im Referenzdatensatz enthalten sind, zu rechnen. Das Analogon des Kerndatensatzes zum Oberflächenmodell ist damit nicht mehr gegeben. Damit ist die Grundvoraussetzung der Methode, daß die evolutionären Änderungen vernachlässigbar sind, nicht mehr erfüllt (vergl. Kap. 4.5.).

## 5. BILDUNG UND VERÄNDERUNGEN DES DIATOMEEN-SIGNALS

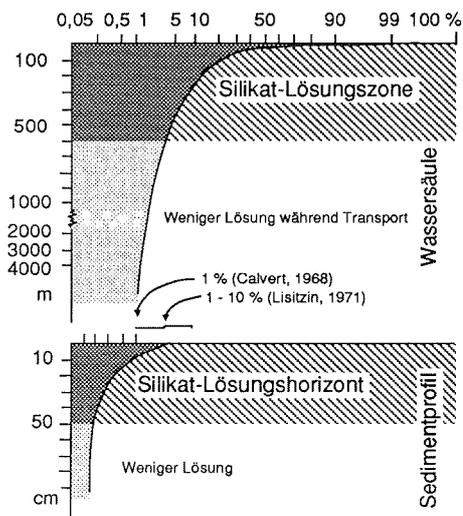
### 5.1. Euphotische Zone

Die Primärproduktion unterliegt im Antarktischen Ozean großen räumlichen und zeitlichen Schwankungen. Während im Gebiet der ozeanischen Fronten hydrographische Prozesse und das Nährstoffangebot begrenzende Faktoren sind, wird die Primärproduktion in der saisonal eisbedeckten Zone (SIZ) maßgeblich durch die Variationen der jährlichen Meereisbedeckung beeinflusst (ABELMANN & GERSONDE 1991). Hier spielen neben Nährstoffen und Lichtangebot die Stabilität der Wassersäule nach der Meereisschmelze und der Einfluß des Zooplanktons eine entscheidende Rolle (EL-SAYED & TAGUCHI 1981, SMETACEK et al. 1990, TRÉGUER & JAQUES 1992).

Wichtige Daten zur Planktonproduktion und zu räumlichen sowie zeitlichen Variationen des biogenen Partikelflusses für den Antarktischen Ozean erbrachten Sedimentfallen-Experimente (GERSONDE & WEFER 1987, FISCHER et al. 1988, WEFER et al. 1990). Demnach läßt sich feststellen, daß in der SIZ der Partikelfluß auf wenige Wochen im Südsommer innerhalb offenozeanischer Bedingungen beschränkt ist. Während der Meereisbedeckung ist die Exportproduktion stark reduziert (ABELMANN & GERSONDE 1991). Für Transferfunktionen ergibt sich daraus, daß es nur sinnvoll ist, mit gemittelten Werten von Umweltparametern aus den Sommermonaten (Dezember bis März) zu arbeiten (vergl. BURCKLE 1984a), da in den Wintermonaten während Meereisbedeckung kein signifikantes Signal gebildet wird. Im Bereich der Polarfront findet der Hauptpartikelfluß in den Monaten Januar bis März statt (ABELMANN & GERSONDE 1991). Während der Wintermonate ist er jedoch nicht vollständig reduziert wie in der SIZ.

Die Veränderung des Diatomeensignals setzt mit der Lösung des biogenen Opals in der euphotischen Zone ein. Das an gelöster Kieselsäure untersättigte Meerwasser begünstigt die Lösung der aus amorphem Opal-A aufgebauten Diatomeenschalen. Steuernde Faktoren sind weiterhin Temperatur und pH-Wert des Oberflächenwassers (TRÉGUER et al. 1989).

Im Antarktischen Ozean wird zwischen 18 und 58 % des produzierten biogenen Opals in den obersten ca. 100 m wieder gelöst (NELSON & GORDON 1982). Der Rest gelangt durch Kotballen- und Aggregattransport in tiefere Wasserschichten und ins Sediment (TRÉGUER et al. 1989, s. Kap. 5.2.).



**Abb. 13:** Lösungszone der Diatomeenschalen in der Wassersäule und im Sediment (aus SCHRADER & SCHÜTTE 1981).

BERGER (1976) und SCHRADER & SCHÜTTE (1981) definieren zwei Zonen intensiver Opallösung (Abb. 13): der Lösungsprozess beginnt in den obersten Bereichen der Wassersäule, darunter verringert sich die Lösung erheblich. Die zweite Zone stellt die Grenzfläche Wasser/Sediment dar (Kap. 5.3.).

Die Reduzierung des Phytoplanktonbestandes durch Zooplankton trägt zur weiteren Alteration des Signals bei (ABELMANN & GERSONDE 1991). Besonders Krill, der in seiner Lebensweise an die Variationen der Meereisbedeckung angepasst ist (SMETACEK et al. 1990), reduziert den Diatomeenbestand der Frühjahrsblüte in der saisonal eisbedeckten Zone und im Gebiet der Bransfield-Straße (GERSONDE & WEFER 1987, LEVENTER 1991, TRÉGUER & JACQUES 1992). Größere Gehäuse (z.B. von *Corethron criophilum*) werden beim Fressvorgang durch Zooplankton

zerstört und als Detritus in die Kotballen inkorporiert. Bei der Zählung von Diatomeenvergesellschaftungen aus Fallen- und Sedimentproben können dadurch Gehäusebruchstücke z.T. nicht mehr eindeutig identifiziert werden (ABELMANN & GERSONDE 1991, vergl. Kap. 4.3.).

## 5.2. Transport durch die Wassersäule

Die Opallösung in der Wassersäule ist im Vergleich zum Oberflächenwasser und der Wasser/Sediment-Grenzschicht reduziert (NELSON & GORDON 1982, vergl. Abb. 13). Die Lösung nimmt mit steigender Wassertiefe ab (BERGER 1976). Die Lösungsrate hängt dabei von der Verweildauer der Schalen in der Wassersäule, dem Vorhandensein von organischen Schutzhüllen und der Größe bzw. Oberflächenstruktur der biogenen Opalpartikel ab (ABELMANN & GERSONDE 1991).

Vertikaler Transport einzelner Diatomeenzellen ist u. a. von der Zellgröße und -Form und vom Verkieselungsgrad abhängig. Sinkgeschwindigkeiten von Diatomeen variieren zwischen 0 und 30 m/Tag (SMAYDA 1971 und JOHNSON & SMITH 1985). Mit dieser niedrigen Sinkrate wären ein schneller,

biogener Partikeltransport, wie sie aus Sedimentfallen-Experimenten ermittelt wurden, nicht erklärbar (ABELMANN & GERSONDE 1991). Es müssen demnach Transportmechanismen für die Erhöhung der Sinkgeschwindigkeit biogener Partikel durch die Wassersäule verantwortlich sein (s.a. WEFER 1991). Hauptsächlich die Produktion von Kotpillen ("fecal pellets") und Aggregaten ist in diesem System von entscheidender Bedeutung (SCHRADER 1971, GERSONDE 1980, GERSONDE & WEFER 1987, VAN BENNEKOM et al. 1988, FISCHER et al. 1988, GERSONDE 1989, WEFER et al. 1990, ABELMANN & GERSONDE 1991). Die von Copepoden, Krill und anderen Organismen produzierten Kotballen mit einer Größe bis zu 0,5 mm (FISCHER et al. 1988) schützen die Diatomeenschalen vor Lösung und sorgen für einen schnellen Transport. Sinkgeschwindigkeiten von Kotpillen variieren zwischen 15 - 862 m/Tag (SMAYDA 1969, FOWLER & SMALL 1972, TURNER 1977, TSUNOGAI et al. 1986). Das Fossilisationspotential der Gehäuse wird durch die erhebliche Verkürzung der Sedimentationszeit und die schnellere Einbettung ins Sediment erhöht.

Planktische Organismen, insbesondere Diatomeen, bilden Aggregate, die als sogenannter "Marine Snow" zum Partikelfluß und damit zur Sedimentation beitragen. Die Aggregation kleiner Partikel zu größeren führt wie beim Kotpillentransport zu erhöhten Sinkgeschwindigkeiten zwischen 43 und 500 m/Tag (SHANKS & TRENT 1980, BILLETT et al. 1983, RIEBESELL et al. 1991). Mechanismen zur Aggregatbildung beschreiben SMETACEK (1985) und RIEBESELL et al. (1991).

### 5.3. Grenzschrift Wasser/Sediment

Eine hohe Lösungsrate silikatischer Hartschalen ist an dieser Grenzfläche festzustellen (VAN BENNEKOM et al. 1988, ABELMANN & GERSONDE 1991, vergl. Abb. 13). Die biogenen Partikel sind über lange Zeiträume dem stark an SiO<sub>2</sub> untersättigten Meerwasser ausgesetzt. Besonders hier werden fein verkieselte Diatomeenschalen gelöst und stärker verkieseltes Material angereichert (ABELMANN & GERSONDE 1991).

Neben der Lösung tragen Bodenwasserströmungen zur Alteration der Vergesellschaftungen bei (vergl. ABBOTT 1974, TRUESDALE & KELLOGG 1979, DEFELICE & WISE 1981, BILLETT et al. 1983, JONES & JOHNSON 1984, ABELMANN & GERSONDE 1991). Durch von Bodenströmungen aufgewirbeltes Material vom Meeresboden werden im Bodenwasser sogenannte Nepheloid-Lagen gebildet, die eine Mächtigkeit von mehreren hundert Metern umfassen können (BISCAYE & EITTREIM 1977). In dieser "Suspension" können Diatomeenschalen, je nach Intensität der Strömung, über weite Strecken transportiert werden. Fossile Arten aus erodierten, älteren Sedimenten können durch diese Prozesse umgelagert werden und das Signal anderer Vergesellschaftungen verfälschen (vergl. TRUESDALE & KELLOGG 1979,

DEFELICE & WISE 1981). Im Arbeitsgebiet nördlich der Subtropischen Front zeigen zwei Proben ein Signal (hoher *N. kerguelensis*-Anteil), das nicht dem Temperaturbereich dieses Gebietes entspricht. Dieses Signal kann möglicherweise durch Bodenwasserströmungen oder große Wirbel, die in diesem Gebiet Wassermassen abschnüren und transportieren (PETERSON & STRAMMA 1991) entstanden sein (Kap. 6.3.2.).

Im zentralen Weddellmeer wird die Auswirkung des horizontalen Bodenstrom-Transportes beim Vergleich der berechneten Opal-Flußraten aus Porenwasser- bzw. Sedimentanalysen mit Sinkstoff-Fallendaten deutlich. Der geschätzte relative Anteil des horizontalen Partikeltransportes ist dabei sehr hoch (SCHLÜTER 1990). Einen Einfluß lateralen Transports biogener und lithogener Partikel zeigen auch Sedimentfallen-Daten aus der Bransfield-Straße und dem Bereich westlich der Maudkuppe (WEFER et al. 1990, ABELMANN & GERSONDE 1991).

#### 5.4. Oberflächensediment

Die Lösung im Oberflächensediment wird hauptsächlich durch niedrige Sedimentationsraten mit daraus resultierenden langen Verweilzeiten der Schalen am Meeresboden und Bioturbation begünstigt. Die Silikatlösung ist hauptsächlich im Bereich der obersten 20 cm des Sedimentes wirksam (VAN BENNEKOM et al. 1988, DEMASTER 1981, vergl. Abb. 13). Direkt an der Sedimentoberfläche, wo durch Fluß von gelöstem  $\text{SiO}_2$  ins Bodenwasser die Konzentration am geringsten ist, setzt die Silikatlösung infolge des Konzentrationsgefälles am stärksten an. Tiefer im Sediment steigt die  $\text{SiO}_2$ -Konzentration und nimmt einen asymptotischen Wert an, bei dem die Opallösung am geringsten wird (s.a. BOHRMANN 1988).

Im zentralen Weddellmeer, das einen Bereich intensiver selektiver Lösung mit Sedimentationsraten von wenigen mm/ka (mm/1000 Jahre, GERSONDE et al. 1990) darstellt, werden die Diatomeengemeinschaften ausschließlich von *N. kerguelensis* dominiert (>80 %, s. Kap. 6.1.3.). Die Vergesellschaftungen weisen eine schlechte Erhaltung in diesem Gebiet auf. Sehr niedrige Opalgehalte im Oberflächensediment von <1 Gew.-% deuten auf eine geringe Akkumulation biogener Partikel (SCHLÜTER 1990). Südlich der Polarfront, im Gebiet des Silikatgürtels innerhalb der permanent eisfreien Zone, ermöglichen die hohen Sedimentationsraten von bis zu 50 cm/ka (DEMASTER 1981, GERSONDE & PÄTZOLD 1992, BAREILLE et al. 1991) eine schnelle Einbettung der Diatomeengehäuse ins Sediment und damit einen wirksamen Lösungsschutz. Die Artengemeinschaften werden hier zwar mit >50 % von *N. kerguelensis* dominiert (s. Kap. 6.1.3.), jedoch ist diese Dominanz nicht auf selektive Lösung wie im zentralen Weddellmeer, sondern auf hohe Produktion zurückzuführen (vergl. Kap. 6.3.2.). Die Opallösung ist nach BAREILLE et

al. (1991) in diesem Gebiet gegenüber nördlich und südlich angrenzender Gebiete geringer.

Die oben diskutierten Beispiele zeigen, daß innerhalb des Untersuchungsgebietes verschiedene Bereiche mit unterschiedlichen Lösungsintensitäten und Sedimentationsmilieus abgegrenzt werden können. Für die Interpretation des Signals aus Diatomeengemeinschaften bedeutet dies, daß die Dominanz lösungsresistenter Arten (vergl. Kap. 2) nicht nur auf selektive Lösung, sondern auch durch hohe Produktion in bestimmten Gebieten wie dem Silikatgürtel südlich der Polarfront zurückzuführen ist (vergl. Kap. 6.3.2.).

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß die in der euphotischen Zone produzierten Diatomeenvergesellschaftungen durch verschiedene Alterationsprozesse (Lösung, Zooplanktonfraß, Resuspension) bis zur Einbettung ins Sediment verändert werden. Dennoch wird das Signal der euphotischen Zone in ausreichendem Maße in das Sediment transportiert und kann, wie die in Kap. 2 zitierten Transferfunktionsbeispiele zeigen, für Rekonstruktionen von Umweltparametern herangezogen werden.

Für die statistischen Auswertungen ergeben die in diesem Kapitel betrachteten Überlegungen die Notwendigkeit, Proben aus bestimmten Gebieten nicht zu berücksichtigen. Hierzu zählen Oberflächensedimentproben aus dem zentralen Weddellmeer (Bereich starker, selektiver Lösung) mit schlechter Erhaltung. Proben aus der Bransfield-Straße, deren Diatomeenvergesellschaftungen sich aufgrund der komplexen ozeanographischen Verhältnisse nicht mit den hydrographischen Parametern (z.B. Oberflächenwassertemperatur) korrelieren lassen, werden für den Referenzdatensatz nicht berücksichtigt (vergl. Kap. 6.3.3.).

## 6. QUANTITATIVE ANALYSE DER OBERFLÄCHENSEDIMENTE

Für die Erfassung der Diatomeenvergesellschaftungen wurden 178 Oberflächenproben gezählt (Kap. 4). Damit konnte ein großflächiges Probennetz von der Subtropischen Zone bis zum Schelf des südlichen Weddellmeeres bearbeitet werden. Im südlichen Arbeitsgebiet bietet die enge Probendichte zusätzlich die Möglichkeit, kleinräumige Variationen der Diatomeenvergesellschaftungen zu untersuchen (Kap. 6.2.). Für die latitudinale Verbreitung der Diatomeenvergesellschaftungen mit ihrem Bezug zur Oberflächenwasserhydrographie erlaubt das Probennetz die Darstellung eines nahezu vollständigen Profils vom Filchner-Schelfeis (Antarktische Zone) bis ca. 35°S (Subtropische Zone, vergl. Kap. 6.3.1.).

Für die Zählungen wurden insgesamt 85 Diatomeentaxa und Taxagruppen unterschieden (Kap. 10.2.). Neben Diatomeen wurden auch Chrysophyceen-Zysten und Silikoflagellaten gezählt. Sie wurden in der statistischen Auswertung nur in die Faktorenanalyse des Antarktischen Rohdatensatzes integriert (Kap. 6.3.1.), um zu testen, welche Stellung sie innerhalb des Faktorenmodells einnehmen. Für die Transferfunktion wurden sie im Gegensatz zu PICHON (1985) und PICHON et al. (1987, 1992b) wegen ihrer unregelmäßigen Verteilung im Arbeitsgebiet nicht berücksichtigt.

Die silikatischen Zysten werden von MITCHELL & SILVER (1982) als moderne Archaeomonadaceen (Dauersporen im Lebenszyklus unbekannter oder ausgestorbener Chrysophyceen) angesehen. GERSONDE (1986) stellt die Zysten zu den Chrysophyceen und zeigt hohe Konzentrationen in Eiskernen und in geringeren Vorkommen in Oberflächensedimenten des südlichen Weddellmeeres.

Bei den Silikoflagellaten wurden neben *Distephanus speculum* Arten der in wärmeren, subantarktischen Gewässern vorkommenden Gattung *Dictyocha* gezählt (eine taxonomische Abgrenzung der einzelnen Arten wurde nicht vorgenommen). CIESIELSKI (1975) und DEFELICE & WISE (1981) benutzen das Verhältnis *Distephanus*- zu *Dictyocha*-Arten als Indikator zur relativen Temperaturabschätzung und zur Abgrenzung von kalten, antarktischen zu wärmeren, subantarktischen Gewässern.

Neben Silikoflagellaten und Chrysophyceen-Zysten wurden weiterhin Individuen von Parmales gezählt, die nach BOOTH & MARCHANT (1987) eine neue Ordnung innerhalb der marinen Chrysophyceen darstellen (vergl. Kap. 10.2.). Diese, aufgrund ihrer Größe von 2 - 6 µm schwer bestimmbar, kommen hauptsächlich in den schelfeisnahen Bereichen des südlichen und östlichen Weddellmeeres vor. Geringes Auftreten wurde in wenigen Proben aus dem Bereich der Bransfield-Straße festgestellt. Im nördlichen Untersuchungsgebiet wurde lediglich in Probe PS1772-6 ein Exemplar gefunden.

Wahrscheinlich handelt es sich bei diesen Zysten um Individuen der Gattung *Triparma* (MARCHANT, mdl. Mittl. 1992). Ihr Vorkommen scheint, ähnlich wie das der von GERSONDE (1986) beschriebenen Chrysophyceen-Zysten, an Meereis gebunden zu sein. Aufgrund ihrer z.T. schwierigen Identifizierung und unregelmäßigen Verteilung gingen diese Zysten nicht in die statistische Auswertung mit ein.

### **6.1. Verbreitung ausgewählter Diatomeenarten im Oberflächensediment und ihre Bedeutung für palökologische Rekonstruktionen**

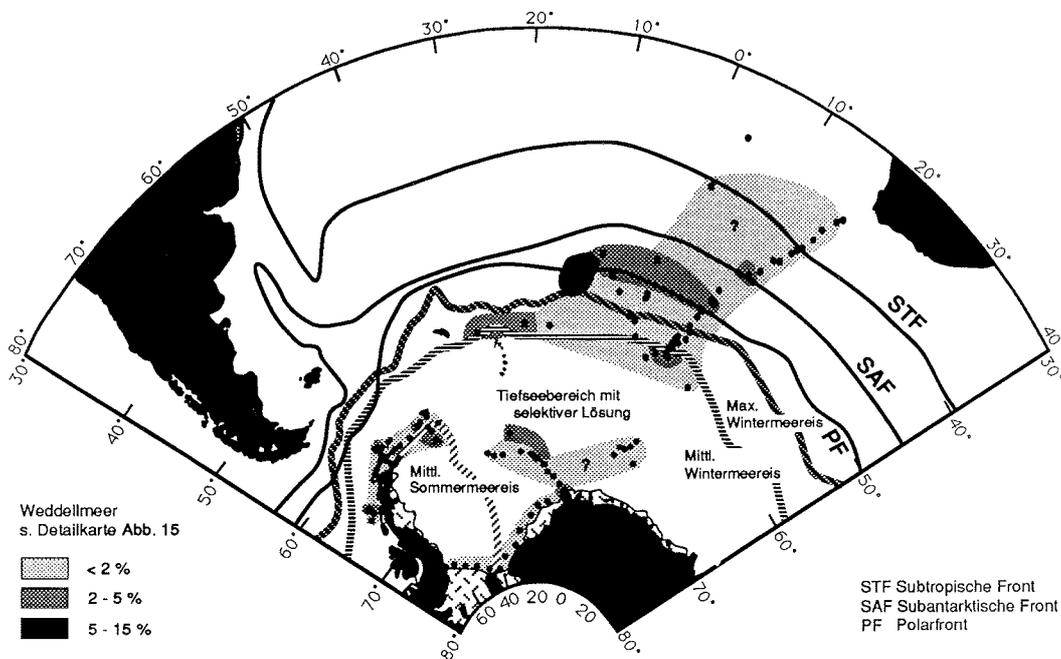
Anhand von Verteilungskarten wird im folgenden das heutige Verbreitungsmuster vier stratigraphisch relevanter Diatomeenarten bzw. -gruppen im Oberflächensediment vorgestellt. Ihre Häufigkeitsschwankungen lassen sich für eine erste Alterseinstufung von Sedimentkernen heranziehen (Kap. 7.1.). Folgende Arten bzw. Artengruppen wurden zu diesem Zweck ausgewählt: *Eucampia antarctica*, *Nitzschia curta*, *N. cylindrus* (Meereisindikatoren), *N. kerguelensis*, *Chaetoceros*-Dauersporen. In Verbindung mit litho- und isopenstratigraphischen Methoden läßt sich die Häufigkeitsverteilung von *E. antarctica* zur Alterseinstufung quartärer Sedimentkerne nutzen (Biofluktuationsstratigraphie, vergl. BURCKLE & COOKE 1983, TREPPKE 1988, ABELMANN & GERSONDE 1988, GERSONDE & PÄTZOLD 1992).

Mit Hilfe der Häufigkeitsschwankungen von Meereisindikatoren lassen sich Aussagen über die Verbreitung des Meereises im Wechsel der Glazial/Interglazialstadien ableiten (GERSONDE & PÄTZOLD 1992). Auch *E. antarctica* und *Chaetoceros*-Dauersporen zeigen in Kaltzeiten einen deutlichen Anstieg ihrer Häufigkeiten (Kap. 7.1.). *N. kerguelensis* ist die häufigste Art in den Oberflächensedimenten des Arbeitsgebietes. Diese Dominanz resultiert hauptsächlich aus der Anreicherung dieser Art infolge selektiver Lösung feiner verkieselter Arten insbesondere in den zentralen Bereichen des Weddellmeeres. *N. kerguelensis* kommt ebenfalls sehr zahlreich in Hochproduktionsgebieten wie dem Silikatgürtel südlich der Polarfront mit geringer Opallösung (BAREILLE et al. 1991) vor. Diese Art läßt sich demnach mit ihrem deutlichen Häufigkeitsanstieg in Interglazialstadien möglicherweise als Produktivitätsindikator nutzen (GERSONDE & PÄTZOLD 1992).

### 6.1.1. *Eucampia antarctica*

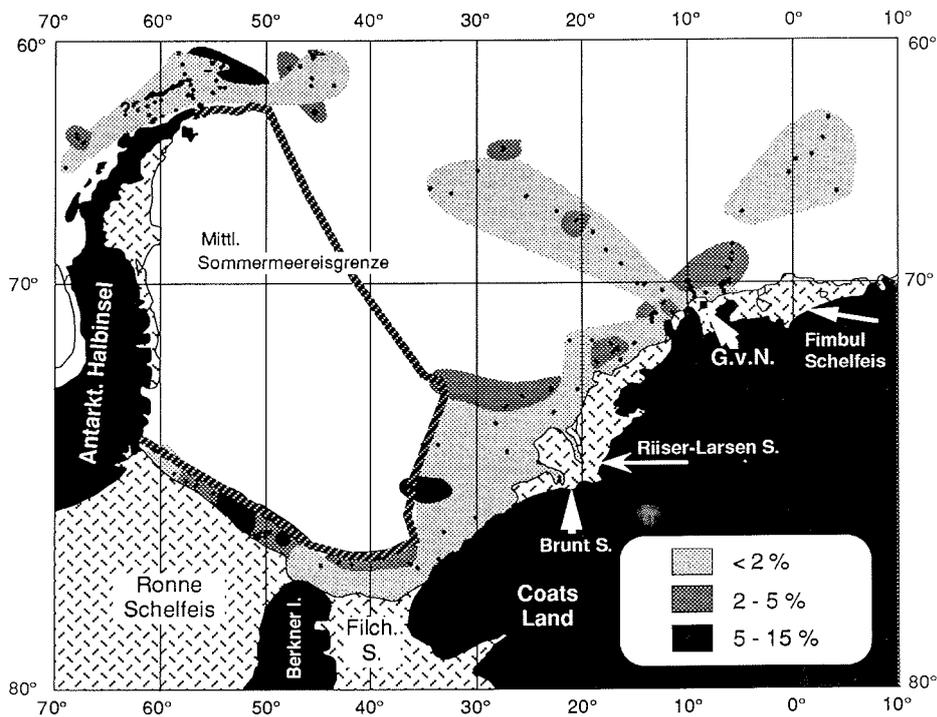
In den untersuchten Oberflächensedimenten stellt diese Art durchschnittlich 2 - 5 % der gesamten Diatomeenvergesellschaftungen (Abb. 14 und 15). Im Bereich der Polarfront zwischen 20°W und 10°W erreicht sie relative Häufigkeiten bis 9 % in den Proben PS1778-1 bis PS1780-1. Östlich davon erstreckt sich in der Polarfrontzone ein schmales Band bis etwa 10°E mit Werten bis 5 %. Dieser Bereich mit höherer *E. antarctica*-Häufigkeit befindet sich in etwa im Gebiet des Opalgürtels mit hohen Sedimentationsraten (GERSONDE & PÄTZOLD 1992). Die PF bildet hier in etwa die Grenze zwischen höherem Vorkommen im Norden (2 - 5 %) und niedrigeren Werten im Süden (<2%). Südlich der PF sinken die Häufigkeiten auf <2% bis auf vier Proben (PS1783-1, PS1786-2) nahe der Süd-Sandwich-Inseln und im Bereich der mittleren Wintermeereisgrenze bei ca. 2°E (PS1772-6, PS1649-1). Nördlich der SAF fallen die Werte auf < 1 % ab.

Im Weddellmeer ist kein eindeutiger Verteilungstrend von *E. antarctica* zu beobachten (Abb. 15). Allgemein liegt ihr Anteil an der Gesamtvergesellschaftung < 2 %. Daneben ist eine fleckenhafte Verteilung



**Abb. 14:** Heutige Verbreitung von *Eucampia antarctica* in Oberflächensedimenten des Antarktischen Ozeans (Atlantischer Sektor) in Prozentanteilen an der Gesamtdiatomeenvergesellschaftung. Lage der Fronten nach WHITWORTH (1988), PETERSON & STRAMMA (1991), Meereisverbreitung nach SEA ICE CLIMATIC ATLAS (1985).

mit erhöhten Häufigkeiten zwischen 2 und 5 %, stellenweise > 5 % ausgebildet. Dies wird insbesondere auf einem Profil entlang des Ronne-Schelfeises deutlich, wo die Häufigkeit von *E. antarctica* zwischen 2 und 12 % schwankt, was Ergebnisse von GERSONDE (1986) bestätigt. Hier werden z.T. beträchtliche Variationen zwischen Vergesellschaftungen in engräumigen Probenarealen deutlich, für die hydrographische Prozesse verantwortlich sein könnten (vergl. Kap. 5.3. und 6.2.). In diesem Gebiet werden Bodenwasserströmungen beschrieben, die von Norden unter das Ronne-Schelfeis, um die Berkner Insel und durch die Filchner-Rinne wieder nach Norden fließen (vergl. MELLES 1991, FÜTTERER & MELLES 1990). Ähnliche Vorgänge zur Alteration von Diatomeenvergesellschaftungen durch Bodenwasserströmungen werden von TRUESDALE & KELLOGG (1979) und LEVENTER & DUNBAR (1988) aus dem Rossmeer beschrieben.



**Abb. 15:** Heutige Verbreitung von *Eucampia antarctica* in Oberflächensedimenten des Weddellmeeres in Prozentanteilen an der Gesamtdiatomeenvergesellschaftung. Berkner I. = Berkner Insel, Filch. S. = Filchner Schelfeis, S. = Schelfeis, G.v.N. = Georg von Neumayer Station. Meereisverbreitung nach SEA ICE CLIMATIC ATLAS (1985).

Die Verbreitung von *E. antarctica*, die in den Sedimenten fast ausschließlich als stark verkieselte Dauerspore auftritt (zur Dauersporenbildung s. Kap. 6.1.4.), zeigt weder Relationen zur Meereisverbreitung noch zur Temperatur des Oberflächenwassers.

Es gibt seit einiger Zeit Vorstellungen, daß driftende Eisberge durch ihr Schmelzwasser die Umweltbedingungen im Oberflächenwasser lokal ändern und dadurch die Verbreitung von *E. antarctica* beeinflussen. BURCKLE (1984b) vermutet als wichtige Voraussetzungen für die Verbreitung von *E. antarctica* reduzierte Salinität und stabilere Schichtung des Oberflächenwassers. Diese Verhältnisse sind neben küstennahen, neritischen Gebieten auch in der Nähe von Eisbergen oder Meereis gegeben (BURCKLE (1984b). Infolge der vom Weddellwirbel gesteuerten Eisbergdrift nach Norden bzw. Nordost bis Osten, stellt (WADHAMS 1988) hohe Eisbergkonzentrationen in einem Gebiet zwischen 19°W und 30° W in einem latitudinalen Streifen zwischen 53°S - 56°S fest. Die Eisberge werden weiterhin von der Westwinddrift erfaßt und schmelzen, sobald sie in den Einflußbereich wärmerer, subantarktischer Gewässer kommen (vergl. CIESIELSKI & WEAVER 1983). Eisberge könnten nach dem Abschmelzen die von BURCKLE (1984b) vermuteten Bedingungen (reduzierte Salinität, stabile Wassersäule) für die Verbreitung von *E. antarctica* liefern und möglicherweise die stellenweise erhöhten Häufigkeiten im Polarfrontgebiet verursachen. BURCKLE (1984b) zeigt ähnliche Verteilungsmuster im Südatlantik mit einem Ost-West Trend mit Werten > 6%. Eine ähnliche Vermutung für hohes Auftreten dieser Art im LGM schlagen LABEYRIE et al. (1986) vor.

Nach einer mündlichen Aussage von GOMBOS in BURCKLE (1984b) konnte ein *E. antarctica*-Anteil von 80 % in einer Wasserprobe aus der Nähe eines Eisbergs festgestellt werden. Auf der POLARSTERN-Expedition ANT-VIII/3 (1989) ergaben sich nach der Beprobung eines Eisbergumfeldes jedoch keine erhöhten Werte dieser Art im Oberflächenwasser (GERSONDE mdl. Mittl., GROBE et al. 1990).

BURCKLE (1984b) gibt einen Literaturüberblick der *E. antarctica*-Verteilung im Antarktischen Ozean, die generell bei wenigen Prozenten liegt und weist auf die Anreicherung dieser stark verkieselten Form im Oberflächensediment hin. Als Ergebnis seiner eigenen Untersuchungen und denen von BURCKLE & COOKE (1983) gibt er Häufigkeitswerte von bis zu 44 % aus Oberflächensedimenten des Rossmeeres an. Relative Häufigkeiten dieser Größenordnung konnten in den untersuchten Proben der vorliegenden Arbeit nicht festgestellt werden. Die höchsten Werte im südlichen Weddellmeer liegen dagegen bei 10,4 bzw. 12,2 %. TRUESDALE & KELLOGG (1979) errechnen in einer Faktorenanalyse an Oberflächensedimenten aus dem Rossmeer einen *E. antarctica*-Faktor von 25 % Varianz, hervorgerufen durch Anreicherung infolge erosiv wirkender Bodenwasserströmungen. Möglicherweise sind die Angaben von BURCKLE & COOKE (1983) ebenfalls das Ergebnis von Anreicherungen dieser Art.

Die allgemein niedrige relative Häufigkeit im Weddellmeer von < 2 % stimmt mit Ergebnissen von LEVENTER (1992) nahe der George V Landküste, überein.

Zählergebnisse von 50 % relativer Häufigkeit aus Oberflächenproben des südlichen Weddellmeeres, die von PICHON et al. (1987, 1992b) ermittelt wurden, stehen im Gegensatz zur rezenten Verbreitung von *E. antarctica*. Obwohl das Probenmaterial von PICHON et al. (1987, 1992b) des südlichen Weddellmeeres aus derselben Sedimentprobe stammt, die auch in der vorliegenden Arbeit untersucht wurde, konnte diese hohe Häufigkeit nicht bestätigt werden. Dieser Unterschied liegt darin begründet, daß PICHON et al. (1987, 1992b) in ihren Zählungen keine *Chaetoceros*-Dauersporen berücksichtigt haben (vergl. Kap. 2).

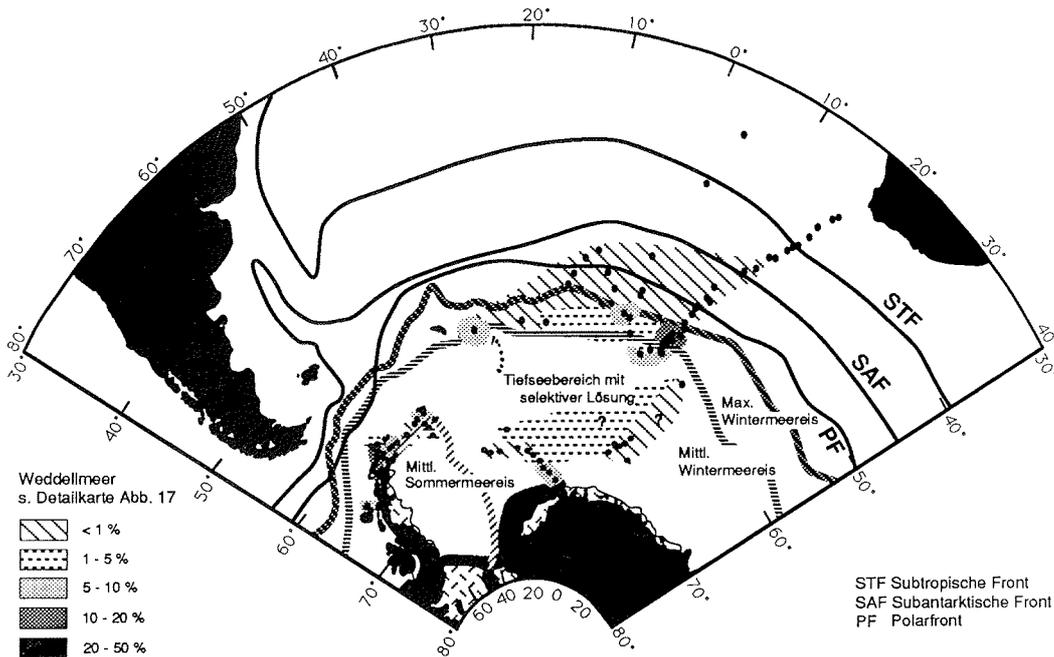
Da die heutige Verbreitung von *E. antarctica* in Oberflächensedimenten nur bei wenigen Prozent liegt, die Häufigkeit dieser Art im Sedimentkern PS1768-8 in Glazialzeiten jedoch den maximalen Wert von 23 % erreicht, fällt *E. antarctica* unter eine "No-Analog-Kondition" (vergl. Kap. 4.5.). Dieses Problem tritt bei den statistischen Analysen von PICHON et al. (1987, 1992b) aufgrund der hohen *Eucampia*-Werte ihres Referenzdatensatzes nicht auf. Der von den Autoren errechnete Faktor 2 (Süd-Weddell-Vergesellschaftung), der kalte, antarktische Diatomeen repräsentiert, wird von *E. antarctica* dominiert, die demnach als Anzeiger für kalte Temperaturen fungiert. Die Faktorenanalysedaten der vorliegenden Arbeit zeigen zwar eine Gruppierung dieser Art in den Eisalgenfaktor (an Meereis gekoppelte Vergesellschaftung), aufgrund der "No-Analog-Kondition" kann *E. antarctica* für die Transferfunktion jedoch nicht berücksichtigt werden (Kap. 6.3.3.).

#### 6.1.2. *Nitzschia curta* und *Nitzschia cylindrus*

Diese Artengruppe tritt in oder im Bereich von Meereis in großer Anzahl auf (GERSONDE 1986, BARTSCH 1989, SPINDLER & DIECKMANN 1991, SCHAREK 1991) und ist daher eng mit der Ausdehnung des Meereises verbunden. Eisalgen im Sediment dokumentieren die Beeinflussung eines Gebietes durch Meereis und können somit als Indikatoren für Rekonstruktionen von Meer-eisgrenzen in Sedimentkernen genutzt werden. Mit Hilfe ihrer Häufigkeitsfluktuationen lassen sich in saisonal eisbedeckten Gebieten, wie bereits in Kap. 6.1.1. erwähnt, Glazial/Interglazialzeiten stratigraphisch abgrenzen (Kap. 7.1.).

Ihr nördlichstes Auftreten fällt heute in den Bereich zwischen der mittleren und maximalen Wintermeereisgrenze (Abb. 16). Hier schwanken die Häufigkeiten zwischen 1% und 20%, während sie im Bereich des zentralen Weddellmeeres infolge selektiver Lösung stark reduziert sind. Nördlich der maximalen Wintermeereisgrenze sinkt der relative Prozentanteil der Eisalgen auf Werte < 1 %, nördlich der SAF treten sie nur noch vereinzelt auf.

Das Verbreitungsmuster der Eisalgen im Weddellmeer zeigt eine Zunahme ihrer Häufigkeit in Richtung der Antarktischen Küste mit ihren Schelfgebieten. Damit verbunden ist ein Abfallen der Prozentwerte von *N. kerguelensis*, ausgehend vom zentralen Weddellmeer in den neritischen



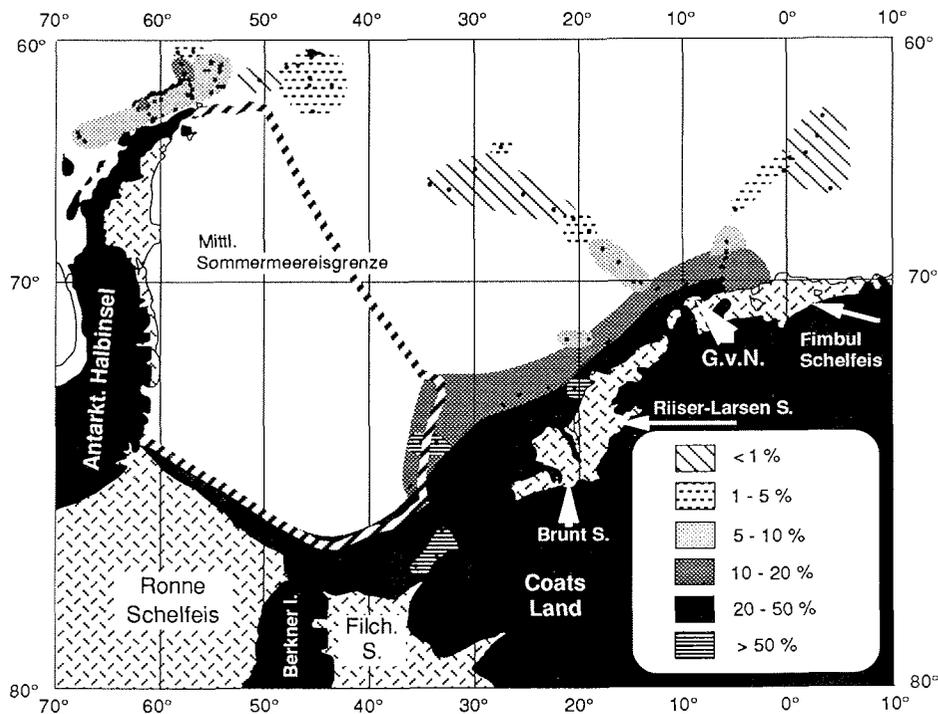
**Abb. 16:** Heutige Verbreitung von *N. curta* und *N. cylindrus* in Oberflächensedimenten des Antarktischen Ozeans (Atlantischer Sektor) in Prozentanteilen an der Gesamtdiatomeenvergesellschaftung. Lage der Fronten nach WHITWORTH (1988), PETERSON & STRAMMA (1991), Meereisverbreitung nach SEA ICE CLIMATIC ATLAS (1985).

Bereich (vergl. Kap. 6.1.3.). Entlang der Schelfeisgebiete des südlichen- und südöstlichen Weddellmeeres dominieren die Eisalgen mit 20 bis 50 %, stellenweise > 50 % die Diatomeenvergesellschaftungen (Abb. 17). Nach Norden bzw. Nordwesten ist eine graduelle Abnahme der relativen Häufigkeiten auf < 1 % im zentralen Weddellmeer und im Gebiet der Maudkuppe (0°-5°E) zu beobachten. In der Bransfield-Straße reduziert sich der Anteil der Eisalgen auf 5 - 10 % der Gesamtvergesellschaftung im Oberflächensediment. Der Bereich des Powell-Beckens ist mit Häufigkeiten dieser Gruppe zwischen 1 und 5 % gekennzeichnet (Abb. 17).

KOZLOVA (1964), die vorwiegend im Indischen- und Pazifischen Sektor des Antarktischen Ozeans arbeitete, findet die höchsten Vorkommen von *N. curta* im Bereich vor der Antarktischen Küste. Hier dominiert diese Art mit 60 - 90 % die Planktongemeinschaft, im Sediment kommt sie fleckenhaft bis 90 % in Küstennähe vor. Die Ausbreitung im Sediment wird nach Norden

durch die PFZ begrenzt, bis hier erreicht *N. curta* Werte von 0,1 - 20 % (KOZLOVA 1964), was im Einklang zur Verbreitungsgrenze im Atlantischen Sektor aus der vorliegenden Arbeit steht (Abb. 16).

Im Schelfeisgebiet des östlichen Weddellmeeres findet GERSONDE (1986) 70 - 90 % *N. curta* in Meereis- und Wasserproben. Er weist jedoch daraufhin, daß ihr Anteil im Eis erhöht ist, da Diatomeen in das sich bildende Eis eingeschlossen werden und sich hier weiter teilen. Die in Abb. 17 dargestellte Häufigkeitsverteilung im südlichen Weddellmeer entspricht den Ergebnissen von GERSONDE (1986), der die Abundanz der Eisalgengruppe auf einem Profil entlang des Ronne- bzw. Filchner-Schelfeises untersuchte und



**Abb. 17:** Heutige Verbreitung von *N. curta* und *N. cylindrus* in Oberflächensedimenten des Weddellmeeres in Prozentanteilen an der Gesamtdiatomeengesellschaft. Berkner I. = Berkner Insel, Filch. S. = Filchner Schelfeis, S. = Schelfeis, G.v.N. = Georg von Neumayer Station. Meereisverbreitung nach SEA ICE CLIMATIC ATLAS (1985).

sie mit 20 bis > 40 % der Gesamthäufigkeit angibt. HASLE (1965b), FENNER et al. (1976) und BURCKLE et al. (1987) beobachten eine ansteigende Häufigkeit von *N. curta* und *N. cylindrus* nach Süden zur Antarktischen Küste.

Die Kopplung der Lebensweise dieser Artengruppe an Meereis wird neben der dargestellten Verbreitung ebenfalls an Untersuchungen aus Sediment-

Fallenmaterial deutlich (ABELMANN & GERSONDE 1991). Im nordwestlichen Weddellmeer beträgt der Prozentanteil von *N. curta* während offen-ozeanischer Bedingungen etwa 25 - 40 % und von *N. cylindrus* ca. 10 - 25 %. In Zeiten der Meereisbedeckung (mehr als 2/3 des Jahres), reduziert sich der *N. curta*-Anteil auf 20 - 30 %, während *N. cylindrus* auf 50 - 70 % ansteigt (ABELMANN & GERSONDE 1991). Letztere Art ist die dominanteste Form innerhalb der Antarktischen Eisalgenflora des Weddellmeeres (GERSONDE 1986, BARTSCH 1989). Sie tritt in allen Eismodifikationen auf und stellt beispielsweise im nordöstlichen Weddellmeer einen Anteil von > 90 % der Diatomeenvergesellschaftungen, die in Eiskernen festgestellt wurden (BARTSCH 1989).

Im McMurdo Sound des Rossmeeres (Pazifischer Sektor des Antarktischen Ozeans) beschreiben LEVENTER & DUNBAR (1988) ähnliche, an Schelfeisbereiche gekoppelte Verteilungsmuster von *N. curta* wie im Weddellmeer. In unmittelbarer Nähe des Schelfeises erreicht diese Art demnach Anteile von > 60 %, mit zunehmender Entfernung reduziert sich ihre Häufigkeit auf < 30 %. Auch die Daten von LEVENTER (1992) lassen sich mit dem in diesem Kapitel dargestellten Verbreitungsmuster in neritischen Bereichen vereinbaren. Vergleichbare Daten ergeben sich weiterhin aus der Verbreitung des von *N. curta* dominierenden Faktors im Rossmeer von TRUESDALE & KELLOGG (1979).

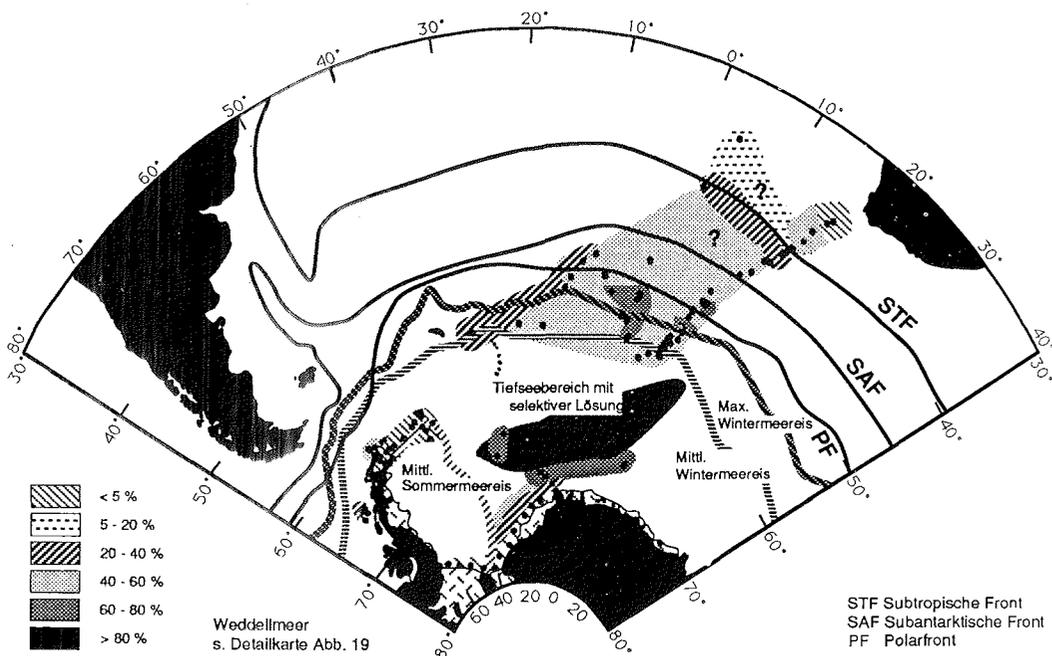
Um die Datenfülle für die statistische Bearbeitung der Zählergebnisse zu reduzieren, wurden *N. curta* und *N. cylindrus* für die Transferfunktion in die Gruppe der Eisalgen zusammengefaßt. Die in ihrer Lebensweise ebenfalls an Eis gekoppelte *N. vanheurckii* (HASLE 1965b, BARTSCH 1989), die in den untersuchten Oberflächensedimenten i.d.R. um 1 % auftritt, wurde gleichermaßen in die Eisalgengruppe integriert (Kap. 6.3.1.).

### 6.1.3. *Nitzschia kerguelensis*

Diese offen-ozeanische Form ist die häufigste Diatomeenart im Plankton (HUSTEDT 1958, HASLE 1965b, FENNER et al. 1976) und im Oberflächensediment (ABBOTT 1974, DEFELICE & WISE 1981) des Antarktischen Ozeans. Das hohe Vorkommen dieser lösungsresistenten Art im Sediment wird größtenteils durch ihre Anreicherung infolge selektiver Lösung fein verrieselter Arten bestimmt (TRUESDALE & KELLOGG 1979, DEFELICE & WISE 1981). Im hochproduktiven Gebiet mit geringer Opallösung südlich der Polarfront (BAREILLE et al. 1991) wird diese Art ebenfalls in hoher Anzahl angetroffen.

Im Gebiet der ozeanischen Frontensysteme liegt die Verbreitung von *N. kerguelensis* bei durchschnittlich 40 - 60 % (Abb. 18). Häufigeres Vorkommen von 60 - 80 % ist an einigen Stationen zwischen 50°S und 55°S

(Hochproduktionsgürtel mit geringer Opallösung) zu verzeichnen. Im Bereich der STF nimmt die relative Häufigkeit kontinuierlich nach Norden ab. Eine Ausnahme stellen die beiden Proben PS2231-1 und PS2233-1 (ca. 35°S, 16°E) dar. Hier ist *N. kerguelensis* mit bis zu 60 % vertreten, alle angrenzenden Proben zeigen einen weitaus geringeren Anteil dieser Art in ihren Vergesellschaftungen. Das Signal entspricht nicht den Umweltbedingungen im Oberflächenwasser (mittlere Temperatur > 18°C). Möglicherweise stellen *N. kerguelensis* (und andere häufige Arten an dieser Position wie *Thalassiosira lentiginosa* und *Nitzschia separanda*) allochthone, durch Bodenwasserströme oder Wirbel transportierte, Komponenten dar (vergl. Kap. 6.3.2.).

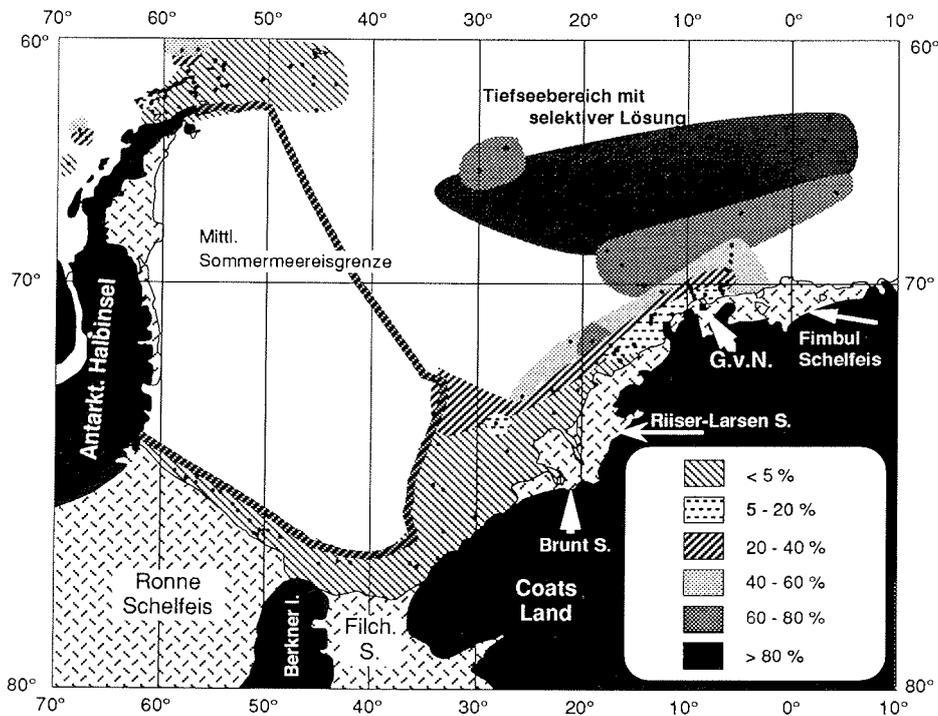


**Abb. 18:** Heutige Verbreitung von *N. kerguelensis* in Oberflächensedimenten des Antarktischen Ozeans (Atlantischer Sektor) in Prozentanteilen an der Gesamtdiatomeenvergesellschaftung. Lage der Fronten nach WHITWORTH (1988), PETERSON & STRAMMA (1991), Meereisverbreitung nach SEA ICE CLIMATIC ATLAS (1985).

Das zentrale Weddellmeerbecken als ein Bereich hoher selektiver Lösung (Abb. 22), ist mit mehr als 80 % relativer Häufigkeit dieser Art gekennzeichnet (Höchstwert 92 % in Probe PS1973-1). Aus der Verbreitungskarte von *N. kerguelensis* im Weddellmeer (Abb. 19) wird eine stetige Abnahme der Häufigkeit in Richtung der Schelfgebiete deutlich. Gleichzeitig steigt der Anteil von *N. curta* und *N. cylindrus* in den Schelfsedimenten (Kap. 6.1.2., vergl. KOZLOVA 1964, LEVENTER 1992). In der Küstenpolynya am Ronne-

und Filchnerschelfeis sowie im östlichen Schelfbereich ist *N. kerguelensis* in den meisten Oberflächenproben nicht vertreten. Die relativen Häufigkeiten liegen hier im Schnitt < 1 %. Auch im Gebiet des Powellbeckens und der Bransfield-Straße sind geringe Häufigkeiten (< 5%) anzutreffen.

Nahе der Maudkuppe ist die Dominanz (> 80 %) von *N. kerguelensis* vermutlich weniger auf Anreicherung im Sediment infolge von Lösung,



**Abb. 19:** Heutige Verbreitung von *N. kerguelensis* in Oberflächensedimenten des Weddellmeeres in Prozentanteilen an der Gesamtdiatomeenvergesellschaftung. Berkner I. = Berkner Insel, Filch. S. = Filchner Schelfeis, S. = Schelfeis, G.v.N. = Georg von Neumayer Station. Meereisverbreitung nach SEA ICE CLIMATIC ATLAS (1985).

sondern durch erhöhte Produktion dieser Art als Folge der Zufuhr warmen, salzhaltigeren Tiefenwassers an die Oberfläche zurückzuführen (s. GORDON & HUBER 1984). Auch die absolute Diatomeenhäufigkeit im Oberflächensediment steigt in diesem Bereich auf einen Wert von  $104,5 \times 10^6$  Diat./g Sediment an. Im Vergleich dazu zeigt sie in angrenzenden Gebieten des Weddell-Tiefseebeckens nur Häufigkeiten zwischen  $5$  und  $20 \times 10^6$  Diat/g Sediment (Abb. 22). Daten aus Sedimentfallen deuten hier bereits auf hohe Produktion von *N. kerguelensis* im Oberflächenwasser (ABELMANN & GERSONDE 1991).

Für den Bereich der Frontensysteme zeigen DEFELICE & WISE (1981) vergleichbare Verteilungsdaten wie die der vorliegenden Arbeit. Allerdings geben sie einen Prozentanteil zwischen 50 % - 70 % bis etwa 39°S an. Aus den vorliegenden Ergebnissen in Abb. 18 reduziert sich jedoch der Wert für *N. kerguelensis* auf ca. 10 % nördlich der Subtropischen Front mit Ausnahme der bereits diskutierten Proben PS2231-1 und PS2233-1. DEFELICE & WISE (1981) stellen im Zusammenhang mit der Dominanz von *N. kerguelensis* die These auf, daß diese Art einen "R-Strategen" darstellt. Im biologischen Sinne handelt es sich dabei um Arten, die neu entstandene ökologische Nischen unter Ausnutzung der vorhandenen Nährstoffressourcen nahezu vollständig ausfüllen. *N. kerguelensis* zeigt zumindest Charakteristika eines "R-Strategen" (SCHAREK; mdl. Mittl.)

BURCKLE (1984a) zeigt im Gebiet mit erhöhten Häufigkeiten zwischen 50°S und 55°S (Abb. 18) ebenfalls maximale Werte seines *N. kerguelensis*-Faktors innerhalb eines schmalen Streifens von 20°W bis 20°E. Als nördliche Verbreitungsgrenze geht aus der Faktorenanalyse von MAYNARD (1976) ein Bereich zwischen 45°S und 50°S hervor. ABBOTT (1974) findet in seiner Subantarktischen Vergesellschaftung im Indisch-Pazifischen Sektor *N. kerguelensis* mit 70 - 80 % relativer Häufigkeit an der Gesamtdiatomeenzahl.

KOZLOVA (1964) gibt die Verbreitung von *N. kerguelensis* im Plankton im Gebiet zwischen 66°S und 59°S mit 10 - 25 % an, nördlich dieser Zone erhöht sich der Anteil auf 75 %. Als Verbreitungsgrenze nennt KOZLOVA (1964) die PFZ mit Ausnahme des Indischen Sektors bei 20°E, wo sie nördlich der PFZ hohe Konzentrationen findet. HASLE (1976) erwähnt als nördliche Grenze das Gebiet zwischen 40° und 56°S. Der Anteil von *N. kerguelensis* im Oberflächensediment schwankt nach KOZLOVA (1964) zwischen 0,1 und 10 % in Schelfsedimenten und 52 - 90 % im nördlichen pelagischen Gebiet. Diese Daten fügen sich in das Verbreitungsmuster nach DEFELICE & WISE (1981) und den Daten der vorliegenden Arbeit. Allerdings verringern sich nach KOZLOVA (1964) die *N. kerguelensis*-Anteile nördlich der PF auf 0,1 - 1 %, was im Atlantischen Sektor nicht zutrifft (Abb. 18). FENNER et al. (1976) verweisen auf die dominante Häufigkeit dieser Art im Plankton zwischen 70°S - 52°S.

Das geringe Vorkommen von *N. kerguelensis* in den Oberflächensedimenten der Schelfbereiche stimmt mit Daten von KOZLOVA (1964), DEFELICE & WISE (1981) und LEVENTER (1992) weitgehend überein. Nach BARTSCH (1989) ist *N. kerguelensis* nur ein geringer Bestandteil der Eisalgenflora des Weddellmeeres und im neritischen Bereich kaum vertreten.

Nach FENNER et al. (1976), JACQUES (1983) und FIALA & ORIOL (1990) sind optimale Lebensbedingungen für *N. kerguelensis* im Temperaturbereich zwischen etwa 0° und 8°C gegeben. Für ihre Ausbreitung im Plankton ent-

spräche dies etwa einem Gebiet von der Antarktischen Zone (AZ) bis zur Subantarktischen Front (SAF) bei etwa 46°S. Neuere Daten zeigen jedoch ein geringes, aber kontinuierliches Vorkommen von *N. kerguelensis* in Sediment-Fallenmaterial vom Walfischrücken am Rande des Auftriebsgebiets vor SW-Afrika. Hier wird sie in Sedimentfallen-Material aus etwa 600 m Tiefe in relativ guter Erhaltung gefunden (TREPPKE mdl. Mittl.). Dabei bleibt die Frage offen, ob *N. kerguelensis* unter diesen Temperaturverhältnissen in situ lebt, oder möglicherweise ein Transport der Schalen mit dem innerhalb der PFZ gebildeten Antarktischen Zwischenwasser nach Norden stattfindet.

Ergebnisse von VAN DER SPOEL et al. (1973) zeigen eine weitaus breitere Ausdehnung von *N. kerguelensis* als die bisher diskutierte, die allerdings in der Literatur nicht bestätigt wird. Die Autoren beschreiben ein kontinuierliches Vorkommen von 65°S bis 30°N mit einem Maximum der Häufigkeit im Gebiet von 55°S - 65°S. Diese Verbreitung wird von HASLE (1976) insofern bezweifelt, als sie die Verbreitungsgrenze von *N. kerguelensis* im Südatlantik zwischen 40°S und 56°S legt.

#### 6.1.4. *Chaetoceros*-Dauersporen

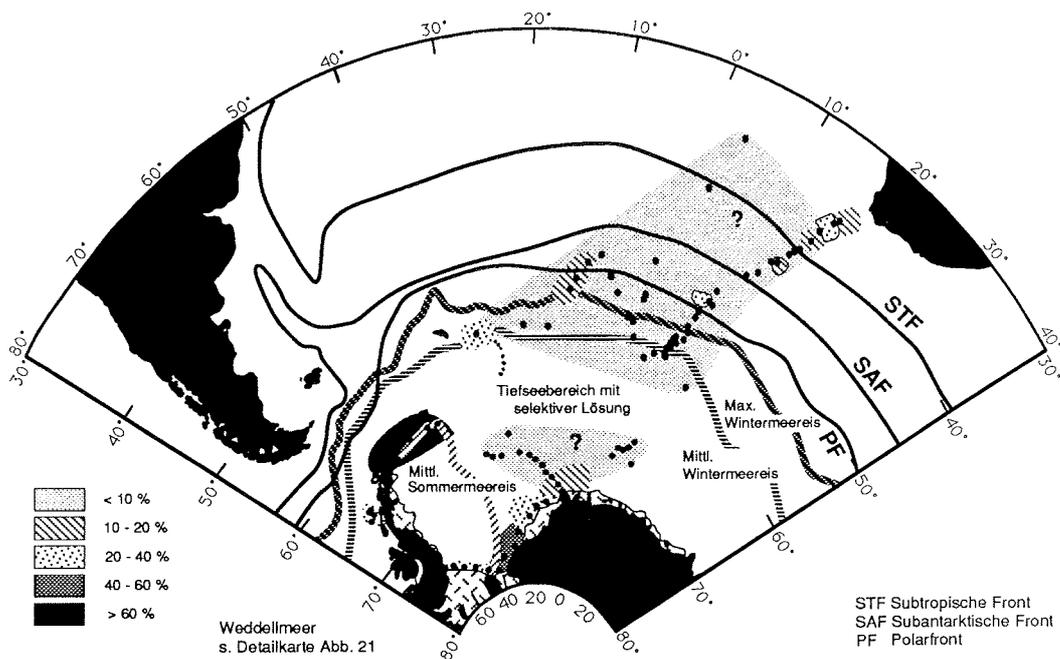
Individuen der Gattung *Chaetoceros* treten fast ausschließlich als Dauerspore im Untersuchungsgebiet auf. Neben diesen wurden vegetative Zellen von *Chaetoceros dictyota* gezählt. Da die Zuordnung der Sporen zu den entsprechenden vegetativen Zellen der Art außerordentlich schwierig ist, wurden die Sporen in einer Gruppe zusammengefaßt.

Dauersporen sind Ruhestadien mit stark verkieselten Schalen im Lebenszyklus der Diatomeen (HARGRAVES & FRENCH 1975), um ungünstige Umwelt- und Lebensbedingungen überdauern zu können (JANSEN & VAN IPEREN 1991). Die Dauersporenbildung ist neben einigen Frischwasserarten und pennaten Formen hauptsächlich bei marinen, zentrischen Diatomeen beobachtet worden (HARGRAVES & FRENCH 1983). Der Mechanismus der Dauersporenbildung ist noch in der Diskussion und nicht vollständig geklärt. Nach NÖTHIG (1988) könnten Reduzierung des Nährsalzangebotes, Verschlechterung der Lichtbedingungen und ein interner Rhythmus der Algen selbst Auslöser für die Sporenbildung sein. Dabei scheint die Zellgröße keinen Einfluß auf die Dauersporenbildung zu haben. Für das Südpolarmeer vermutet NÖTHIG (1988) qualitative und quantitative Veränderungen im Lichtangebot als auslösenden Faktor der Dauersporenbildung. VON STOSCH et al. (1973) beobachten in Kulturen einer bestimmten *Chaetoceros*-Art Dauersporenbildung bei beginnendem Nährstoffmangel und Keimung der Sporen nach Übertragung in ein frisches Nährstoffmedium. PITCHER (1986) zeigt, daß Dauersporen in einem kurzen Zeitraum gebildet werden und schneller absinken als vegetative Zellen. Er führt weiterhin an, daß bei verschiedenen

*Chaetoceros*-Arten die gebildeten Sporen selektiv und zu unterschiedlichen Zeiten absinken.

Da die *Chaetoceros*-Sporen in durch Eis beeinflusste Gebiete oder am Rand der Schelfeise z.T. massenhaft auftreten, sind sie in Sedimentkernen neben *N. curta* und *N. cylindrus* möglicherweise als Indikator zur Abgrenzung von Glazial/Interglazialzeiten anwendbar (vergl. LEVENTER 1992). Im Kern PS1768-8 zeigen die Kurven der Häufigkeitsfluktuationen von Meereisindikatoren und *Chaetoceros*-Sporen einen ähnlichen Verlauf. (Kap. 7.1.). Das deutliche Signal der Dauersporen in Verbindung mit erhöhtem Meereiseinfluß ist dabei jedoch noch unklar (LEVENTER 1992). In der Literatur wird dominantes Vorkommen der *Chaetoceros*-Dauersporen oft mit hoher Produktion in Verbindung gebracht (u.a. SANCETTA 1979b, SCHÜTTE & SCHRADER 1981, JANSEN & VAN IPEREN 1991). SANCETTA et al. (1992) weisen jedoch auf das Mißverhältnis von hoher Produktion zu Dauersporendominanz während der Glazialzeiten hin. Da in den Glazialen mit einer reduzierten Produktivität für den Bereich der Kernposition zu rechnen ist (MORTLOCK et al. 1991), müssen andere Faktoren für die hohen Häufigkeiten der *Chaetoceros*-Dauersporen in diesen Zeiträumen verantwortlich sein, die noch weitere Untersuchungen erfordern (SANCETTA et al. 1992).

Die Verteilung der *Chaetoceros*-Dauersporen im Gebiet der ozeanischen Frontensysteme ist relativ gleichförmig (Abb. 20). Durchschnittlich kommen sie mit 5,6 % in den Oberflächensedimenten vor, die höchsten Werte bis zu 24,6 % finden sich in zwei Proben östlich von Südgeorgien, nördlich der Polarfront bei ca. 7°E und nördlich der STF bei etwa 16°E. Es zeigt sich hierbei kein deutlicher von der Hydrographie des Oberflächenwassers abhängiger Verteilungstrend der Sporen über die ozeanischen Fronten hinweg. Nördlich der Subtropischen Front (STF) im Bereich mit Oberflächenwassertemperaturen von >18°C, variieren die relativen Häufigkeiten der Dauersporen zwischen 10 und 24,6 % (Abb. 20).

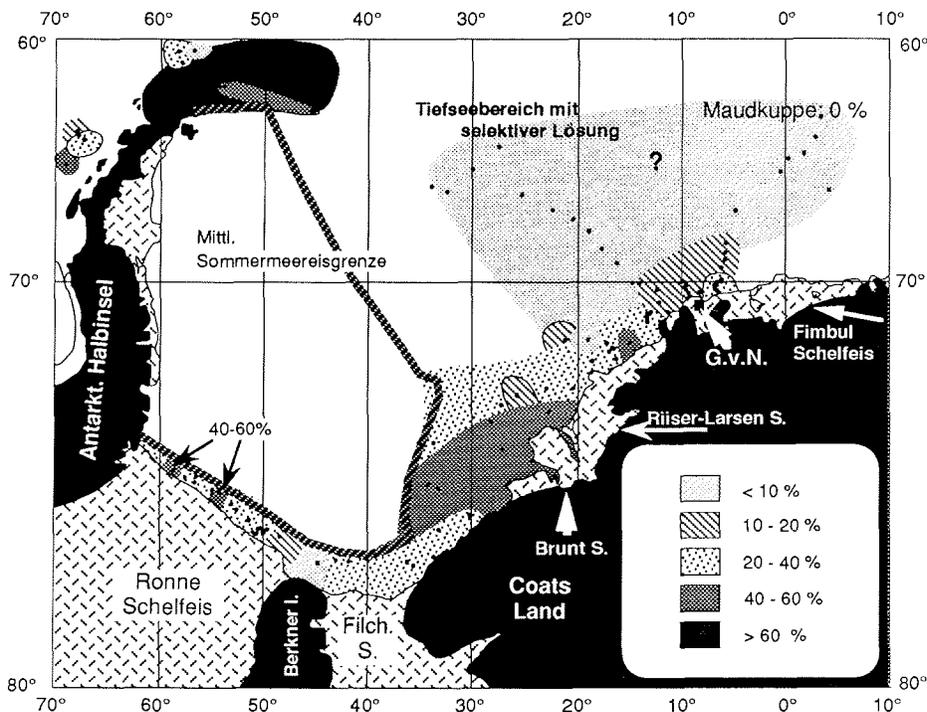


**Abb. 20:** Heutige Verbreitung von *Chaetoceros*-Dauersporen in Oberflächensedimenten des Antarktischen Ozeans (Atlantischer Sektor) in Prozentanteilen an der Gesamtdiatomeenvergesellschaftung. Lage der Fronten nach WHITWORTH (1988), PETERSON & STRAMMA (1991), Meereisverbreitung nach SEA ICE CLIMATIC ATLAS (1985).

Im südlichen Untersuchungsgebiet (Abb. 21) ist eine heterogenere Verteilung als im Norden ausgebildet. In den Küstenpolynien beträgt die relative Häufigkeit der Sporen generell 20 bis 60 %, während sich in den zentralen Teilen des Weddellmeeres ihr Anteil auf < 10 % reduziert. Im Bereich der Maudkuppe und in einigen Proben um 30°W sind *Chaetoceros*-Sporen nicht in den Oberflächenproben vorhanden. Die Bransfield-Straße und angrenzende Gebiete weisen mit > 60 % *Chaetoceros*-Sporen die höchsten Anteile auf, sie erreichen hier Werte bis 90 %.

Nach HARGRAVES (1986), HARGRAVES & FRENCH (1983) und NÖTHIG (1988) sind Sporen der Gattung *Chaetoceros* in küstennahen Bereichen weitaus häufiger vertreten als in ozeanischen Regionen. Dieses Bild bestätigt sich in den Daten der vorliegenden Arbeit ebenso wie in Ergebnissen von GERSONDE (1986) der die Zusammensetzung der Diatomeenvergesellschaftungen in den Oberflächensedimenten der Küstenpolynya des südlichen Weddellmeeres beschreibt. Demnach dominieren an Meereis adaptierte Arten wie *N. curta* und *N. obliquecostata*. *Chaetoceros*-Dauersporen weisen Häufigkeiten bis 40 % auf.

Neben den oben zitierten Ergebnissen von GERSONDE (1986) geben SCHÜTTE & SCHRADER (1979) relative Häufigkeiten von *Chaetoceros*-Dauersporen mit > 50% in Oberflächensedimenten des Auftriebsgebietes vor Peru an. SANCETTA (1979b) erwähnt Dauersporen dieser Gattung, die in ihrem Produktivitätsfaktor aus dem nordwestlichen Pazifik dominieren. JANSEN & VAN IPEREN (1991) finden im äquatorialen Atlantik im Bereich des Zaire Fächers dominantes Vorkommen von *Chaetoceros*-Dauersporen und bringen dies mit saisonalen Variationen der Produktivität und des Auftriebs in diesem Gebiet in Verbindung. LEVENTER (1992) beschreibt ähnliche Verbreitungsmuster im neritischen Bereich des George V Landes (Pazifischer Sektor des Antarktischen Ozeans). Ergebnisse von GERSONDE (1986) und LEVENTER (1991) über die Sporenverteilung im Gebiet der Bransfield-Straße (ca. 75 - > 90 %) werden durch die Daten der vorliegenden Arbeit bestätigt. Die Dominanz der *Chaetoceros*-Dauersporen im Bereich der Bransfield-Straße zeigt sich auch in Sedimentfallen-Daten, die einen Anteil der Sporen an der Gesamtvergesellschaftung von mehr als 80 % belegen (LEVENTER 1991, ABELMANN & GERSONDE 1991).



**Abb. 21:** Heutige Verbreitung von *Chaetoceros*-Dauersporen in Oberflächensedimenten des Weddellmeeres in Prozentanteilen an der Gesamtdiatomeenvergesellschaftung. Berkner I. = Berkner Insel, Filch. S. = Filchner Schelfeis, S. = Schelfeis, G.v.N. = Georg von Neumayer Station. Meereisverbreitung nach SEA ICE CLIMATIC ATLAS (1985).

Aufgrund der Dominanz der *Chaetoceros*-Dauersporen in den Diatomeenvergesellschaftungen der Oberflächensedimente aus der Bransfield-Straße, nimmt dieser Bereich eine Sonderstellung innerhalb des Arbeitsgebietes ein. Wie die Faktorenanalyse der Zählraten zeigt, läßt sich der *Chaetoceros*-Sporenfaktor nicht mit der Oberflächenwassertemperatur korrelieren (Kap. 6.3.3.). Zur Errechnung der Transferfunktion wurden aus diesem Grund die Proben aus diesem Gebiet für den Referenzdatensatz nicht berücksichtigt.

Zusammenfassend lassen sich folgende wesentliche Punkte zur Verbreitung der diskutierten Arten bzw. Artengruppen herausstellen: der Vergleich der heutigen Verbreitung von *E. antarctica* mit ihrem Vorkommen in quartären Sedimentkernen, weist diese Art als eine No-Analog-Spezies aus. Obwohl die Lebensbedingungen dieser Art noch nicht vollständig geklärt sind, zeigt sie in Sedimentkernen ein deutliches, interpretierbares Signal in den Glazialstadien und läßt sich zur Biofluktuationsstratigraphie heranziehen. Mit den Häufigkeitsvariationen der Meereisindikatoren läßt sich die Verbreitung des Meereises in der jüngeren, geologischen Vergangenheit rekonstruieren. Die Dominanz von *N. kerguelensis* in weiten Teilen des Arbeitsgebietes wird einerseits durch selektive Lösung verursacht. Andererseits zeigt diese Art hohes Vorkommen in Gebieten mit geringer Opallösung und hoher Produktion. *N. kerguelensis* kann vermutlich als Produktivitätsindikator bei der Interpretation quartärer Sedimentkerne angesehen werden. Die hauptsächlich in neritischen Gebieten häufig auftretenden *Chaetoceros*-Dauersporen zeigen in Glazialstadien im Ansteigen ihrer relativen Häufigkeit ein deutliches Signal. Ihre Lebensweise in Verbindung mit Eis ist dabei noch unklar. Eine Trennung der Dauersporengruppe, indem die Sporen bei der Zählung den jeweiligen vegetativen Zellen zugeordnet werden, könnte in Zukunft viel zur Entschlüsselung dieses wichtigen Signals beitragen.

## 6.2. Variabilität der Diatomeenvergesellschaftungen

Die hohe Probendichte im Bereich des Schelfes und Kontinentalhanges des Weddellmeeres macht es möglich, Aussagen zur Variabilität der Diatomeengemeinschaften in Oberflächensedimenten zu treffen. Besonders auf den flachen Schelfgebieten im östlichen bzw. südöstlichen Weddellmeer wird die Probennahme durch grobes Gesteinsmaterial erschwert. Hier sind die Oberflächen in Großkastengreifern teilweise gestört, schräggehend oder nicht vorhanden (KUHNS 1990). Es lassen sich Proben mit Diatomeenvergesellschaftungen abgrenzen, die nicht dem Muster der Zusammensetzung von Artengemeinschaften dieses Bereiches entsprechen. Dies kann möglicherweise auf Ungenauigkeiten bei der Probennahme zurückzuführen sein. So gelingt die Abtrennung der "fluffy layer" vom Oberflächensediment beim Großkastengreifer weniger gut als beim Multicorer (Kap. 4.1.). Die Diatomeenvergesellschaftungen des Oberflächensedimentes unterscheiden sich aufgrund der biogenen Opallösung an der Grenzfläche Wasser/Sediment

(Kap. 5.3.) deutlich von denen der "fluffy layer". Eine Vermischung während der Probennahme würde zu einer verfälschten Diatomeenzusammensetzung im Oberflächensediment führen. Die Probennahme erfolgte im Weddellmeer überwiegend mit Großkastergreifern, während im nördlichen Arbeitsgebiet bis auf wenige Ausnahmen Multicorer eingesetzt wurden, die eine weitgehend störungsfreie Beprobung des Oberflächensedimentes gewährleisten (Kap. 4.1.).

Die Großkastengreiferprobe PS1276-1 nahe des Filchner-Schelfeises stellt möglicherweise ein Beispiel für die unzureichende Abtrennung der "fluffy layer" dar. Neben einer hohen relativen Häufigkeit von 24,6 % der fein verrieselten Art *Nitzschia turgiduloides* (i.d.R. kommt sie um 1 % vor) mit z.T. komplett erhaltenen Schalen, ist der Anteil der *Chaetoceros*-Dauersporen erheblich reduziert.

Da sich die Größe der Diatomeenschalen in Bezug auf das Korngrößenpektrum im Silt- bzw. Feinsandbereich (2 µm bis 200 µm) befindet, können schon geringe Strömungsintensitäten Schalenmaterial transportieren (s.a. Kap. 5.3.). MELLES (1991) und WEBER (1992) beschreiben aus dem Schelfbereich des Weddellmeeres Modifikationen der Korngrößenverteilungen durch Strömungen nach der Ablagerung. Dies erfaßt hauptsächlich den Siltbereich, dementsprechend weisen Schelfsedimente die höchsten Kies- und Sandgehalte auf (WEBER 1992). Möglicherweise sind die höheren Vorkommen von *E. antarctica* in drei Proben nördlich des Filchner-Schelfeises (5,1 - 7 %) auf Anreicherung von Strömungen, wie sie auch TRUESDALE & KELLOGG (1979) beschreiben, zurückzuführen. GERSONDE (1986) findet in diesem Gebiet ebenfalls erhöhte Anteile dieser Art.

Auch im Bereich der Küstenpolynya entlang des Ronne-Eisschelfs beeinflussen Strömungen die Korngrößenverteilung der Oberflächensedimente (FÜTTERER & MELLES 1990). MELLES (1991) beschreibt komplexe Strömungssysteme in diesem Gebiet. Gezeitenströmungen sind hier ebenfalls stark ausgeprägt (ROBIN et al. 1983). Im Bereich zwischen Antarktischer Halbinsel und der Berkner-Insel finden sich die höchsten Schwankungen der relativen Häufigkeit von *Eucampia antarctica* von <2 % bis zu 12 % (Kap. 6.1.1., Abb. 15). Auch die Häufigkeiten der *Chaetoceros*-Dauersporen variieren innerhalb dieses Probenprofils zwischen 8 % und 51 %.

Eine für den Transport von Diatomeenschalen im Bereich des unteren Kontinentalhanges denkbare Möglichkeit stellen Konturströme dar, die von WEBER (1992) in einem ausgedehnten Rinnensystem aus dem südöstlichen Weddellmeer beschrieben werden. Konturströme sind in Verbindung mit der Coriolis-Kraft für die Ablagerung feinen Materials auf Sedimentrücken verantwortlich, wobei die Sedimentation aus einer Suspensionswolke (Nepheloid-Lage, Kap. 5.3.) heraus erfolgt (WEBER 1992).

BILLETT et al. (1983) beschreiben aus dem nordöstlichen Atlantik im Zusammenhang mit Bodenströmungen eine fleckenhafte Anreicherung von Diatomeen ("patches") in Mulden innerhalb eines Mikroreliefs.

Eine "punktuelle Sedimentation" im Schelfbereich, die zur Variabilität beiträgt, könnte durch die Bildung von Preßeisrücken infolge von Windeinwirkung auf Eisschollen begünstigt werden. Die so akkumulierte Kieselalgenflora, deren Produktivität im Eis durch verschiedene Faktoren noch erhöht wird (SMETACEK et al. 1990, WEISSENBERGER 1992), sinkt nach dem Abschmelzen des Eises zum Meeresboden. Durch Aggregatbildung, insbesondere von Eisalgen (RIEBESELL et al. 1991), wird dabei die Sinkgeschwindigkeit des Materials erhöht (Kap. 5.2.).

In der statistischen Auswertung innerhalb der Faktorenanalyse kann sich die Variabilität der Proben in einer weiten Spannbreite der Kommunalitäten in der Varimax Factor Matrix (Probenfaktorenmatrix) auswirken. Bei niedrigen Kommunalitäten ( $<0,75$ ) führt dies zum Ausschluß von Proben aus dem Datensatz (Kap. 6.3.2.).

### **6.3. Statistische Auswertung**

#### **6.3.1. Antarktischer Rohdatensatz (AR 178/88)**

Der Antarktische Rohdatensatz, im folgenden AR genannt, umfaßt alle 178 Oberflächenproben mit 85 Diatomeentaxa bzw. taxagruppen, zwei Silikoflagellatenarten und Chrysophyceen-Zysten (AR 178/88).

Die Faktorenanalyse ermittelt auf statistischem Wege einen Zusammenhang der Arten (Variablen), indem die anfänglich unüberschaubare Fülle der Zählzahlen auf wenige Faktoren reduziert wird. Das Faktorenmodell ist dabei von der Vorentscheidung abhängig, welche und wieviele Informationen aus den quantitativen Daten selektiert werden. Hierbei fließen Überlegungen zum Ausschluß von Daten wie rationale Artenanzahl, zielgerechte und interpretierbare Faktorenanzahl und eine erklärbare, regionale Verteilung der Faktoren mit ein. Vor diesem Hintergrund wurden alle Arten aus dem Datensatz entfernt, die in weniger als drei Proben vorhanden waren und eine im Datensatz durchgehende relative Häufigkeit  $< 2 \%$  (vergl. IMBRIE & KIPP 1971, KIPP 1976) aufwiesen. Desweiteren wurden zur Datenreduzierung Varietäten mit der namensgebenden Art zusammengefaßt und Arten mit gleichen ökologischen Ansprüchen gruppiert.

Folgende Arten und Varietäten wurden für die statistischen Berechnungen zusammengefaßt:

<i>Azpeitia tabularis</i> :	<i>A. tabularis</i> var. <i>tabularis</i> , <i>A. tabularis</i> var. <i>egregius</i>
Eisalgengruppe:	<i>N. curta</i> , <i>N. cylindrus</i> , <i>N. van heurckii</i>
<i>Thalassiosira gracilis</i> :	<i>T. gracilis</i> , <i>T. gracilis</i> var. <i>expecta</i>
<i>Thal. nitzschioides</i> fo. 2:	<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>lanceolata</i> , <i>T. capitulata</i> .
<i>Chaetoceros</i> -Dauersporen:	Alle Sporen der Gattung <i>Chaetoceros</i> .

Damit konnte die Zahl der Variablen im Rohdatensatz von 88 auf 34 verringert werden (AR 178/34).

Dieser Datensatz wurde durch die Faktorenanalyse in vier Faktoren gegliedert (Tab. 4). Diese Faktorenanzahl wurde gewählt, da sie bereits 96,49 % der Varianz berücksichtigt und damit einen befriedigenden Umfang der Daten zur Interpretation der Faktoren integriert. Die Probenfaktorenmatrix ist in Tabelle 10 im Anhang zu finden.

Generell werden die Faktoren von wenigen Arten dominiert (hohe Faktorladungen in Tab. 4). Dies hat zur Folge, daß die Signale anderer, weniger häufig vorkommender Arten überdeckt werden. Der *N. kerguelensis*-Faktor (Faktor 1) stellt mit 42,2 % Varianz den Hauptanteil am berechneten Rohdatensatz. Die Dominanz von *N. kerguelensis* spiegelt sich dabei in der hohen Ladung von 0,98 wider. Diese Art ist die am häufigsten verbreitete, offen-ozeanische Diatomeenart (Kap. 6.1.3.). Ihre Dominanz wird zum einen durch Anreicherung infolge selektiver Lösung (besonders im zentralen Weddellmeerbereich) verursacht. Zum anderen ist sie in Hochproduktionsgebieten mit geringer Opallösung wie dem Bereich zwischen 50°S und 55°S mit guter Erhaltung vorherrschend. Dieses Gebiet zeigt dabei die höchsten absoluten Häufigkeiten bis  $172 \times 10^6$  Diat./g Sediment (Abb. 22). Lediglich die grob verkieselte und dadurch relativ lösungsresistente *Thalassiosira lentiginosa* erreicht in Faktor eins eine höhere Ladung von 0,16. Sie ist ein wichtiger Bestandteil dieser offen-ozeanischen Vergesellschaftung.

Der *N. kerguelensis*-Faktor (Faktor 1) überdeckt den gesamten Bereich des Antarktischen Zirkumpolarstroms mit mittlerer bis guter Erhaltung der Diatomeenvergesellschaftungen und des Weddellmeer-Tiefseebeckens (Gebiet mit schlechter Erhaltung, Abb. 22A). Aufgrund der Dominanz von *N. kerguelensis* umfaßt der Faktor somit 70 % des Untersuchungsgebietes.

Die *Chaetoceros*-Sporen dominieren im Faktor zwei mit einer Ladung von 0,96. Keine andere Art erreicht hier Ladungswerte über 0,1 (Tab. 4). Die Eisalgengruppe ist in diesem Faktor antikorreliert (-0,26). In Verbindung mit der Probenfaktorenmatrix (Tab. 10 im Anhang) läßt sich feststellen, daß das Hauptverbreitungsgebiet dieses Faktors auf den Bereich der Antarktischen

Halbinsel konzentriert ist. Hier weisen die Oberflächenproben die höchsten Faktorladungen auf (Kap. 6.3.3.).

Variable	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
<i>Actinocyclus actinochilus</i>	0,0108	0,0140	0,0138	-0,0257
<i>Azpeitia tabularis</i>	0,0034	-0,0266	-0,0212	<b>0,3133</b>
<i>Chaetoceros</i> Dauersporen	-0,0319	<b>0,9573</b>	0,2470	0,1154
Eisalgengruppe	-0,0183	<u>-0,2604</u>	<b>0,9445</b>	0,0255
<i>Eucampia antarctica</i>	0,0335	0,0177	0,0511	-0,0215
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	-0,0073	-0,0129	-0,0045	0,1182
<i>Nitzschia angulata</i>	0,0217	-0,0072	0,0161	-0,0034
<i>Nitzschia bicapitata</i>	-0,0060	-0,0090	-0,0051	0,1020
<i>Nitzschia kerguelensis</i>	<b>0,9802</b>	0,0151	0,0231	0,0569
<i>Nitzschia obliquecostata</i>	-0,0072	-0,0169	0,0708	0,0037
<i>Nitzschia ritscheri</i>	0,0044	-0,0042	0,0144	-0,0020
<i>Nitzschia separanda</i>	0,0309	0,0002	0,0068	-0,0097
<i>Nitzschia sublinearis</i>	-0,0086	-0,0240	0,1004	0,0036
<i>Nitzschia turgiduloides</i>	0,0001	-0,0127	0,0204	0,0034
<i>Porosira glacialis</i>	0,0023	-0,0007	0,0085	-0,0029
<i>Porosira pseudodenticulata</i>	-0,0015	-0,0009	0,0088	-0,0005
<i>Pseudoeunotia doliolus</i>	-0,0533	-0,0854	-0,0284	<b>0,7803</b>
<i>Rhizosolenia ant. fo. semispina</i>	0,0102	0,0127	-0,0025	-0,0032
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	-0,0078	-0,0130	-0,0051	0,1256
<i>Rhizosolenia heb. fo. semispina</i>	0,0031	0,0055	-0,0020	0,0005
<i>Roperia tessellata</i>	-0,0012	-0,0086	-0,0067	0,1038
<i>Stellarima microtrias</i>	0,0000	0,0019	0,0053	-0,0022
<i>Thalassionema nitzsch. var. parva</i>	-0,0176	-0,0259	-0,0091	<b>0,2449</b>
<i>Thalassionema nitzschioides fo. 1</i>	0,0100	-0,0138	-0,0071	0,1345
<i>Thalassionema nitzschioides fo. 2</i>	0,0040	-0,0056	-0,0068	0,0862
<i>Thalassiosira antarctica</i>	0,0055	0,0507	0,1541	-0,0699
<i>Thalassiosira gracilis</i>	0,0487	0,0194	0,0242	-0,0186
<i>Thalassiosira lentiginosa</i>	0,1633	0,0180	-0,0157	-0,0002
<i>Thalassiosira oestrupii</i>	-0,0086	-0,0216	-0,0120	<b>0,2293</b>
<i>Thalassiosira oliverana</i>	0,0195	0,0026	0,0037	-0,0081
<i>Thalassiothrix antarctica</i>	0,0357	0,0042	-0,0115	0,0872
<i>Distephanus speculum</i>	0,0180	-0,0031	0,0037	0,0433
<i>Dictyocha sp.</i>	-0,0180	-0,0245	-0,0119	<b>0,2659</b>
Chrysophyceen-Zysten	0,0109	0,0023	0,0267	-0,0023
Varianz	42,198	21,483	29,368	3,440
Kumulative Varianz	42,198	63,680	93,048	96,488

**Tab. 4:** Varimax Factor Score Matrix (Artenfaktorenmatrix) aus der Faktorenanalyse des gekürzten Antarktischen Rohdatensatzes (AR 178/34). Faktor 1 bis 3 werden von nur einer, Faktor 4 von mehreren Arten dominiert. Die Ladungen der Arten bzw. Artengruppen, die die Faktoren kennzeichnen, sind fett gedruckt. Unterstrichene Ladungswerte kennzeichnen negative Korrelation.

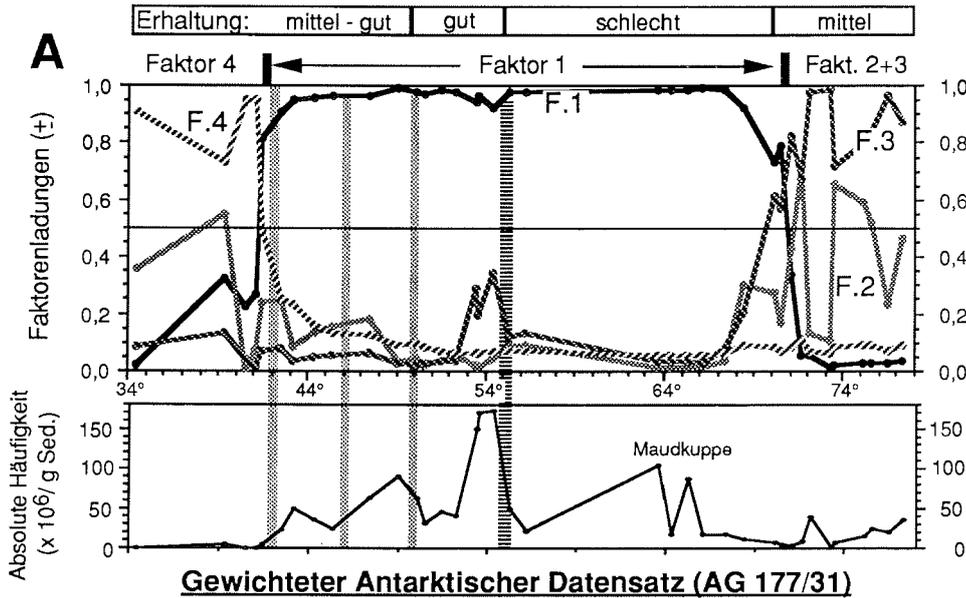
Faktor drei umfaßt die an Meereis gebundenen Formen. Neben der Eisalgen-  
gruppe (Ladung 0,94), bestehend aus *N. curta*, *N. cylindrus* und *N. van  
heurckii*, sind hier untergeordnet in absteigender Reihenfolge

*Chaetoceros*-Sporen, *Thalassiosira antarctica* und *N. sublinearis* vertreten. Auch diese Arten sind durch ihre niedrigen Faktorenladungen unterrepräsentiert. Dieser Faktor deckt zusammen mit Faktor zwei (*Chaetoceros*-Sporen) den neritischen Bereich des Weddellmeeres ab, der zumeist ganzjährig unter Meereiseinfluß steht (Abb. 22A). Die Verbreitung des Eisalgenfaktors wird vom Meereiseinfluß und der biogenen Opallösung gesteuert: im neritischen Bereich ist dieser Faktor dominant, während im zentralen Weddellbecken die Ladungen auf  $< 0,1$  absinken. In diesem Gebiet mit schlechter Diatomeenerhaltung werden die fein verkieselten Schalen der Eisalgen gelöst. Zwischen  $52^{\circ}$  und  $54^{\circ}$ S (Bereich mit guter Erhaltung und hoher absoluter Diatomeenhäufigkeit), an der nördlichen Verbreitungsgrenze der Eisalgen (Abb. 16, Kap. 6.1.2.) steigen die Ladungen wieder bis 0,35 an. Eine hypothetische Verteilung dieses Faktors ohne den Effekt der Opallösung im Weddellbecken, würde eine Kurve mit weitaus höheren Ladungen ergeben.

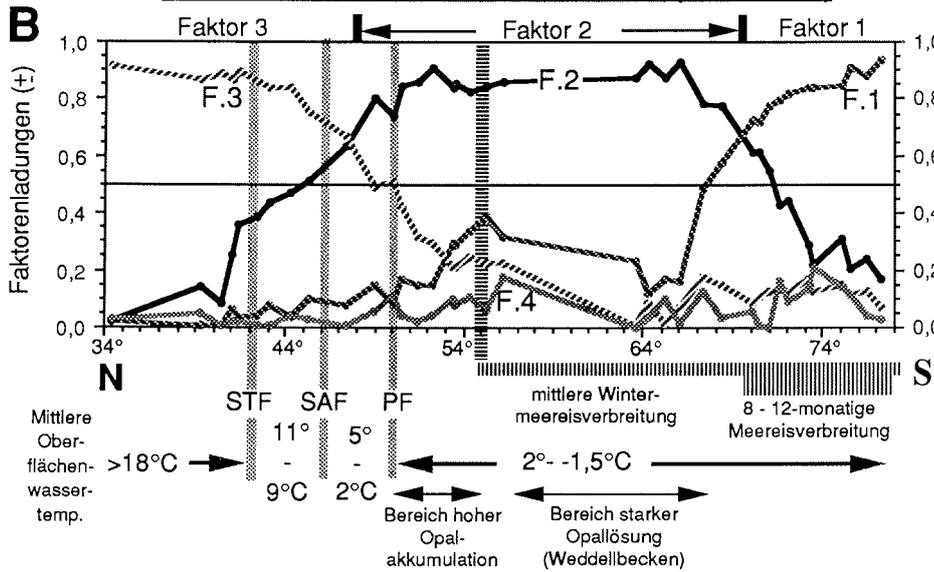
Die an höhere Wassertemperaturen gebundenen Arten des nördlichen Untersuchungsgebietes werden vom "Warmwasser-Faktor" (Faktor 4) repräsentiert (Tab. 4). Im Gegensatz zu den ersten drei Faktoren ist die Ladung der hier dominierenden Art *Pseudoeunotia doliolus* niedriger (0,78) und die der begleitenden Arten höher. Dies sind in absteigender Reihenfolge *Azpeitia tabularis*, *Thalassionema nitzschioides* var. *parva* und *Thalassiosira oestrupii*. Faktor vier erreicht nördlich der Subtropischen Front bei Wassertemperaturen  $> 18^{\circ}\text{C}$  signifikante Werte (Abb. 22A). Bis hier dominiert *N. kerguelensis* in diesem Faktor und unterdrückt dadurch die Signale der wärmeren Arten. In Faktor vier treten die Silikoflagellaten mit einer Ladung von 0,26 für *Dictyocha* sp. auf. Sie kommen allerdings nur in 13 von insgesamt 48 Proben aus dem nördlichen Arbeitsgebiet vor. *Distephanus speculum* und Chrysophyceen-Zysten zeigen in allen Faktoren keine signifikanten Ladungen (Tab. 4).

Es zeigt sich, daß die in den Oberflächensedimenten gespeicherten, ökologisch relevanten Signale in dieser Faktorenanalyse mit Hilfe des Rohdatensatzes nicht zufriedenstellend aufgelöst werden können. Durch die Dominanz von *N. kerguelensis* werden die Signale weniger häufig vorkommender Artengemeinschaften überdeckt. Um Beziehungen zwischen Diatomeen-Thaphozönosen und Oberflächenwasserhydrographie für Interpretationen von Paläoumweltdaten herstellen zu können, ist es notwendig, den diesem Faktorenmodell zugrunde liegenden Datensatz zugunsten der geringer häufigen Arten zu modifizieren.

**Modifizierter Antarktischer Rohdatensatz (AR 178/34)**



**Gewichteter Antarktischer Datensatz (AG 177/31)**



**Abb. 22:** Schematische Darstellung der Faktorenladungen ausgewählter Proben aus dem AR 178/34 und dem AG 177/31 auf einem Nord-Süd-Profil in Bezug zur Temperatur des Oberflächenwassers. Alle Faktorenladungen wurden zur besseren Darstellung in positive Werte umgerechnet. Zusätzlich ist die absolute Diatomeenhäufigkeit über das Profil aufgetragen. STF = Subtropische Front, SAF = Subantarktische Front, PF = Polarfront. Meereisverbreitung nach SEA ICE CLIMATIC ATLAS (1985), Temperaturangaben und Lage der Fronten nach LUTJEHARMS (1985).

### 6.3.2. Faktorenanalyse am gewichteten Datensatz (AG 177/31)

Zur Dämpfung der Dominanz lösungsresistenter Diatomeenarten, wurde für die relativen Häufigkeiten der Arten bzw. Artengruppen eine Wichtung vorgenommen. Hierzu wurde der Rohdatensatz in das von PICHON (1985) und PICHON et al. (1987, 1992b) vorgeschlagene Klassifizierungssystem ("ranking") überführt (Tab. 5). Damit wird die Häufigkeit dominanter Arten gedämpft, während gleichzeitig das Signal weniger häufiger Formen verstärkt wird. Dadurch erhält beispielsweise *N. kerguelensis*, die mit maximal 89% relativer Häufigkeit im Datensatz vertreten ist, den gleichen Stellenwert wie *N. sublinearis* mit nur 13,6%. Das Klassifikationssystem besteht aus vier Abundanzklassen (0 - 3), wobei Klasse 0 Abwesenheit einer Art und Klasse 1 die relativen Häufigkeiten < 2% beinhalten. Die Arten, die eine durch den gesamten Datensatz **konsistente** Häufigkeit unter dieser Prozentmarke aufwiesen, wurden vorher entfernt (Kap. 6.3.1.). Die Grenze zwischen Klasse 2 und 3 wird durch Division der maximalen, im Rohdatensatz auftretenden relativen Häufigkeit jeder Art ermittelt: Klasse 2 = 2% bis Hälfte der maximalen Häufigkeit, Klasse 3 = Hälfte bis Höchstwert der relativen Häufigkeit (Tab. 5).

Für die Faktorenanalyse der gewichteten Daten wurde die Probe PS1180-4 aus dem Powellbecken nicht berücksichtigt. Sie wurde durch das Vier-Faktoren-Modell nicht befriedigend erfaßt und weist daher eine sehr niedrige Kommunalität von 0,055 auf (Tab. 10 im Anhang). Die Probe, die mit einem Großkastengreifer entnommen wurde, enthält eine Häufigkeit von 39% *Actinocyclus actinochilus* und einen stark reduzierten Anteil von *Chaetoceros*-Dauersporen (4,7%). Diese Abweichung könnte möglicherweise durch die in Kap. 6.2. beschriebene schwierige Trennung bei der Beprobung zwischen "fluffy layer" und Oberflächensediment verursacht worden sein.

Das Klassifizierungssystem wurde nur für die Diatomeentaxa bzw. -gruppen übernommen. Da aus dem Auftreten von Silikoflagellaten und Chrysophyceen-Zysten keine Informationen zur palökologischen Interpretation zu erwarten sind, wurden sie aus dem Datensatz entfernt. Im Gegensatz zu PICHON (1985) und PICHON et al. (1987, 1992b), welche die Silikoflagellaten in ihren Datensatz integrieren, wurden in den vorliegenden Ergebnissen die *Chaetoceros*-Dauersporen mit in die Berechnungen einbezogen (vergl. Kap. 2).

Der Antarktische Rohdatensatz (AR 178/34) wurde so nach der Wichtung der relativen Häufigkeiten auf eine Datenbasis von 177 Proben und 31 Arten reduziert (Gewichteter Antarktischer Datensatz AG 177/31). Für die Faktorenanalyse wurde analog zur Rohdatenanalyse ein Vier-Faktoren-Modell gewählt.

Diatomeenarten	Abundanzklasse			
	0 ln (%)	1 ln (%)	2 ln (%)	3 ln (%)
<i>Actinocyclus actinochilus</i>	0	<2	2 - 3	3 - 4,3
<i>Azpeitia tabularis</i>	0	<2	2 - 5	5 - 11
<i>Chaetoceros</i> -Dauersporen	0	<2	2 - 46	46 - 92
Eisalgengruppe	0	<2	2 - 31	31 - 62
<i>Eucampia antarctica</i>	0	<2	2 - 6	6 - 12,2
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	0	<2	2 - 3	3 - 6,3
<i>Nitzschia angulata</i>	0	<2	2 - 6	6 - 12,4
<i>Nitzschia bicapitata</i>	0	<2	2 - 3	3 - 6,1
<i>Nitzschia kerguelensis</i>	0	<2	2 - 44,5	44,5 - 89
<i>Nitzschia obliquecostata</i>	0	<2	2 - 8	8 - 15,7
<i>Nitzschia ritscheri</i>	0	<2	2 - 3	
<i>Nitzschia separanda</i>	0	<2	2 - 3,5	3,5 - 7,3
<i>Nitzschia sublinearis</i>	0	<2	2 - 7	7 - 13,6
<i>Nitzschia turgiduloides</i>	0	<2	2 - 12	12 - 24
<i>Porosira glacialis</i>	0	<2	2 - 3	
<i>Porosira pseudodenticulata</i>	0	<2	2 - 3	3 - 5
<i>Pseudoeunotia doliolus</i>	0	<2	2 - 13,5	13,5 - 27
<i>Rhizosol. antennata</i> fo. <i>semispina</i>	0	<2	2 - 3	3 - 6,8
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	0	<2	2 - 3	3 - 4,2
<i>Rhizosolenia hebetata</i> fo. <i>semispina</i>	0	<2	2 - 3	
<i>Roperia tessellata</i>	0	<2	2 - 3	3 - 5
<i>Stellarima microtrias</i>	0	<2	2 - 3	
<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>parva</i>	0	<2	2 - 6	6 - 12
<i>Thalassionema nitzschioides</i> fo. 1	0	<2	2 - 6	6 - 12
<i>Thalassionema nitzschioides</i> fo. 2	0	<2	2 - 3	3 - 4,7
<i>Thalassiosira antarctica</i>	0	<2	2 - 16	16 - 33
<i>Thalassiosira gracilis</i>	0	<2	2 - 6	6 - 12
<i>Thalassiosira lentiginosa</i>	0	<2	2 - 13	13 - 26
<i>Thalassiosira oestrupii</i>	0	<2	2 - 5	5 - 10
<i>Thalassiosira oliverana</i>	0	<2	2 - 4,5	4,5 - 9
<i>Thalassiotrix antarctica</i>	0	<2	2 - 4,5	4,5 - 9

**Tab. 5:** Einteilung der relativen Häufigkeiten aller Diatomeentaxa und -taxagruppen des Antarktischen Rohdatensatzes (AR 178/34) in vier Abundanzklassen nach PICHON (1985) und PICHON et al. (1987, 1992b).

In Faktor eins stellt die Eisalgengruppe mit der Ladung von 0,469 den Hauptanteil an der Vergesellschaftung. Begleitende Arten sind in Tabelle 6 fett gedruckt hervorgehoben. Im Faktor zwei wurde für *N. kerguelensis* eine Ladung von 0,623 errechnet. Sie weist die höchste Ladung innerhalb der Artenfaktorenmatrix auf und läßt auch nach der Wichtung der relativen Häufigkeiten ihre Dominanz erkennen. Die Warmwasserarten sind im Faktor drei zusammengefaßt. Die Ladung von 0,422 weist *Azpeitia tabularis* als dominante Art aus. Im Faktor vier weisen *E. antarctica* (0,435) und an Meereis gebundene Arten wie *N. obliquecostata* und *N. sublinearis* mit ihren

Ladungen (0,31 bzw. 0,357) gegenüber den *Chaetoceros*-Dauersporen (-0,52) deutliche Antikorrelationen auf.

Die Faktoren werden im Gegensatz zur Analyse des AR 178/34 (Tab. 4) nicht mehr von einer Art dominiert (Tab. 6). Zum einen weisen die Ladungen der Arten, die den jeweiligen Faktor (Artenvergesellschaftung) charakterisieren, weitaus geringere Werte auf als in der Analyse des AR 178/34 (Dämpfung der Signale). Andererseits zeigen die Ladungen weniger häufig auftretender Arten, in welchen Faktor sie innerhalb der Berechnung integriert wurden (Verstärkung ihrer Signale). Dieses war nach der Faktorenanalyse des AR 178/34 nicht erkennbar. Als Beispiel sei die Art *Stellarima microtrias*

Variable	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
<i>Actinocyclus actinochilus</i>	0,1283	0,1358	-0,1127	-0,1239
<i>Azpeitia tabularis</i>	-0,0737	0,0251	<b>0,4222</b>	0,1049
<i>Chaetoceros</i> Dauersporen	<b>0,3822</b>	-0,0174	<b>0,3177</b>	<b>-0,5224</b>
Eisalgengruppe	<b>0,4690</b>	0,1022	-0,0443	-0,0837
<i>Eucampia antarctica</i>	<b>0,2645</b>	0,1796	0,0626	<u>0,4351</u>
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	-0,0111	-0,0569	<b>0,2170</b>	0,0047
<i>Nitzschia angulata</i>	0,0659	0,1482	0,0039	<b>-0,1892</b>
<i>Nitzschia bicapitata</i>	-0,0086	-0,0436	0,1652	0,0042
<i>Nitzschia kerguelensis</i>	-0,0600	<b>0,6229</b>	0,0192	-0,0311
<i>Nitzschia obliquecostata</i>	<b>0,3320</b>	-0,0418	-0,0140	<u>0,3098</u>
<i>Nitzschia ritscheri</i>	0,1217	0,0618	-0,0142	0,0342
<i>Nitzschia separanda</i>	-0,0292	<b>0,2906</b>	-0,0408	-0,0281
<i>Nitzschia sublinearis</i>	<b>0,4138</b>	-0,0807	-0,0144	<u>0,3572</u>
<i>Nitzschia turgiduloides</i>	0,1087	0,0128	0,0099	0,0451
<i>Porosira glacialis</i>	0,0612	0,0310	-0,0365	-0,1335
<i>Porosira pseudodenticulata</i>	0,1239	-0,0507	0,0341	0,0205
<i>Pseudoeunotia doliolus</i>	-0,0142	-0,0685	<b>0,2630</b>	0,0013
<i>Rhizosolenia ant. fo. semispina</i>	-0,0280	0,0475	0,1200	<b>-0,2380</b>
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	-0,0076	-0,0600	<b>0,2073</b>	-0,0095
<i>Rhizosolenia heb. fo. semispina</i>	-0,0283	0,0389	0,1016	-0,1039
<i>Roperia tessellata</i>	-0,0223	-0,0640	<b>0,3050</b>	0,0270
<i>Stellarima microtrias</i>	0,1312	-0,0135	0,0032	0,0694
<i>Thalassionema nitzsch. var. parva</i>	-0,0080	-0,0527	0,1842	-0,0012
<i>Thalassionema nitzschoides fo. 1</i>	-0,0647	0,0369	<b>0,2949</b>	0,0301
<i>Thalassionema nitzschoides fo. 2</i>	-0,0220	-0,0248	<b>0,3095</b>	0,0857
<i>Thalassiosira antarctica</i>	<b>0,4091</b>	-0,0591	-0,0276	<b>-0,2198</b>
<i>Thalassiosira gracilis</i>	0,0951	<b>0,2843</b>	0,0110	<b>-0,1930</b>
<i>Thalassiosira lentiginosa</i>	-0,0624	<b>0,4707</b>	0,0562	0,0792
<i>Thalassiosira oestrupii</i>	-0,0201	-0,0514	<b>0,3186</b>	0,0549
<i>Thalassiosira oliverana</i>	-0,0161	<b>0,2183</b>	-0,0008	0,0973
<i>Thalassiothrix antarctica</i>	0,0249	<b>0,2129</b>	<b>0,2652</b>	0,1905
Varianz	38,365	35,125	9,723	3,081
Kumulative Varianz	38,365	73,490	83,212	86,293

Tab. 6: Varimax Factor Score Matrix (Artenfaktorenmatrix) aus der Faktorenanalyse des gewichteten Antarktischen Datensatzes (AG 177/31). Hohe Faktoraladungen sind fett gedruckt. Werte, die eine deutliche Antikorrelation zeigen, sind unterstrichen hervorgehoben.

genannt: ihre Ladung (Tab. 6) in allen Faktoren weist im Faktor eins den höchsten Wert von 0,1312 auf, sie ist demnach Bestandteil der Eisalgen-Vergesellschaftung. Die Ladungen dieser Art ergeben hinsichtlich ihrer Faktorenzugehörigkeit im AR 178/34 (Tab. 4) keine Aussagen.

Gegenüber des AG 177/31 wurden im AR 178/34 ca. 10% mehr kummulative Varianz durch das Vier-Faktorenmodell erklärt. Desweiteren wird eine andere Reihenfolge in der statistischen Relevanz der einzelnen Faktoren deutlich: da in einer Faktorenanalyse alle Ausgangsvariablen (Diatomeenarten) einer linearen Kombination unterliegen, erfolgt im gewichteten Datensatz aufgrund der Veränderung der Variablen eine andere lineare Kombination (vergl. SANCETTA 1979a). Dies führt zu einer veränderten Gliederung der Faktoren als im antarktischen Rohdatensatz (Tab. 7).

Der *N. kerguelensis*-Faktor stellt im AR 178/34 mit 42,2 % Varianz den Hauptanteil am Faktorenmodell, während in der Analyse des AG 177/31 seine Varianz auf 35,125 % abfällt und der Eisalgen-Faktor den größten Teil der Informationen erklärt (38,365 %). Die Varianz des Warmwasser-Faktors ist im gewichteten Datensatz auf 9,723 % gestiegen. Das Signal der entsprechenden Warmwasser-Arten, das vorher durch die Dominanz von *N. kerguelensis* verdeckt wurde, kommt somit deutlicher zur Geltung. Die Varianz für den *Chaetoceros*-Sporen-Faktor hat sich von 21,483 % im AR 178/34 auf 3,081 % im gewichteten Datensatz AG 177/31 reduziert. Hier wurden die Dauersporen im Gegensatz zum antarktischen Rohdatensatz in drei Faktoren integriert (vergl. Ladungen der Dauersporen von Tab. 4 und

Faktor	AR 178/34 (%)	AG 177/31 (%)	AG 130/30 (%)
" <i>N. kerguelensis</i> -Faktor"	42,198 (F.1)	35,125 (F.2)	35,599 (F.2)
"Eisalgen-Faktor"	29,368 (F.3)	38,365 (F.1)	41,274 (F.1)
" <i>Chaetoceros</i> -Faktor"	21,483 (F.2)	3,081 (F.4)	-
"Warmwasser-Faktor"	3,440 (F.4)	9,723 (F.3)	10,682 (F.3)
Kum. Varianz	96,488	86,293	87,555

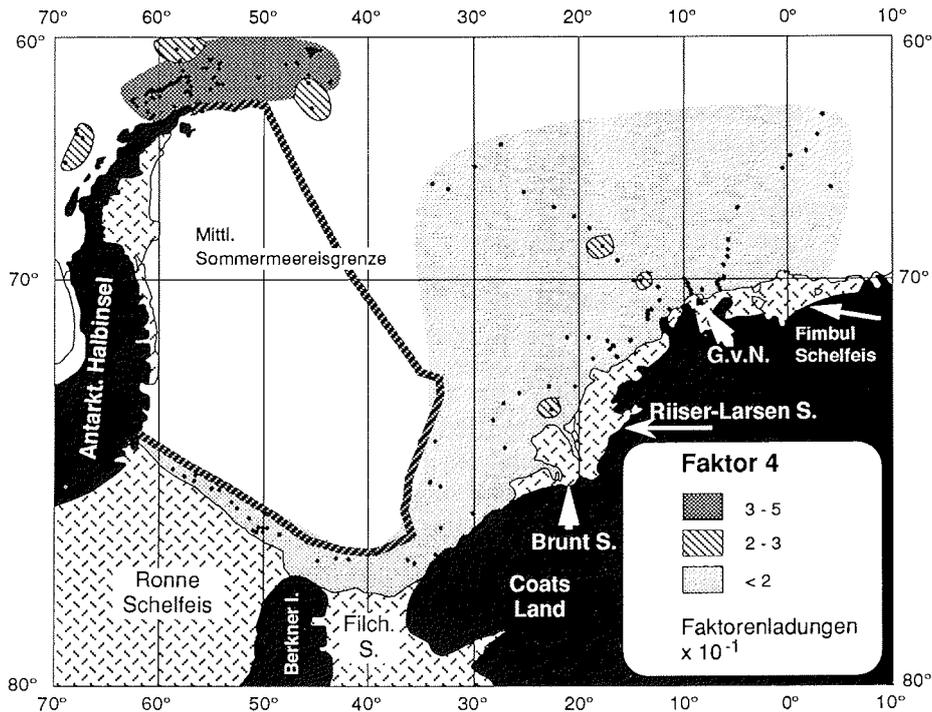
**Tab. 7:** Zusammenstellung der Varianzen aus den Faktorenanalysen im Zuge der Datenreduzierung bzw. -modifikation. Die in Klammern stehenden Nummern entsprechen der Faktorengliederung in der jeweiligen Analyse (AR = Antarktischer Rohdatensatz, AG = Gewichteter Antarktischer Datensatz).

Tab. 6). Dabei wird deutlich, daß es bei weiteren Untersuchungen notwendig sein wird, die *Chaetoceros*-Dauersporen separat zu zählen und nicht zu gruppieren, um das Signal besser interpretieren zu können (vergl. Kap. 6.1.4.).

Im gewichteten antarktischen Datensatz AG 177/31 tritt ein Informationsverlust nach der Einteilung in Abundanzklassen auf (vergl. PICHON et al. 1987). Jedoch lassen sich, wie in Abbildung 22B ersichtlich wird, die Faktoren nach der Wichtung der relativen Häufigkeiten klarer den unterschiedlichen Temperaturbereichen des Oberflächenwassers zuordnen.

Der *N. kerguelensis*-Faktor (F.2) überdeckt dabei das Gebiet des biogenen Opalgürtels (gute Diatomeenerhaltung) und den Bereich mit hoher Opallösung im Weddellbecken (schlechte Erhaltung, Abb. 22B). Nördlich der PF und südlich 70°S fallen seine Faktorladungen stark ab. Der hohe Anteil dieses Faktors in der Antarktischen Zone südlich 55°S ist auf Anreicherung von *N. kerguelensis* infolge selektiver Lösung zurückzuführen, während im biogenen Opalgürtel südlich der PF hohe Sedimentations- und Opalakkumulationsraten und geringere Opallösung die Dominanz dieses Faktors begünstigen. Der neritische Bereich des Weddellmeeres wird vollständig von der Eisalgengruppe (F.1) dominiert (vergl. Kap. 6.1.2.). In diesem Faktor haben die ebenfalls im Gebiet des Schelfeises häufig auftretenden *Chaetoceros*-Dauersporen einen hohen Anteil (Tab. 6). Der Einfluß der Warmwasserarten (F.3) im nördlichen Arbeitsgebiet wird im kontinuierlichen Anstieg der Faktorenladungen ab der PF deutlich.

Das Signal von Faktor vier erreicht im Nord-Süd-Profil (Abb. 22B) lediglich Ladungen von etwa 0,2 und kann keinem Temperaturbereich zugeordnet werden (vergl. Abb. 24D). In dieser Vergesellschaftung dominieren *Chaetoceros*-Dauersporen. Diese sind aufgrund ihrer geringen, morphologischen Unterscheidungskriterien keiner Art zuzuordnen, dies ist nur an Rezentmaterial möglich (GERSONDE & PÄTZOLD 1992). Die Sporen sind jedoch im gesamten Arbeitsgebiet sehr zahlreich (Kap. 6.1.4.) und zeigen in drei von vier Faktoren des gewichteten antarktischen Datensatzes (AG 177/31) hohe Ladungen (Tab. 6). Deshalb kann angenommen werden, daß die Sporen verschiedene biogeographische Gebiete repräsentieren. Die höchsten Ladungen (bis 0,52) des Sporenfaktors finden sich in der Bransfield-Straße und dem Bereich des Powellbeckens (Abb. 23). Die *Chaetoceros*-Dauersporen treten in diesem Gebiet mit den maximalen relativen Häufigkeiten (bis 92 %) des gesamten Datensatzes auf. Im südlichen- bzw. südöstlichen Weddellmeer weist dieser Faktor nur geringe Ladungen auf (Abb. 23). Auch im Gebiet des Antarktischen Zirkumpolarstroms zeigt diese Diatomeengemeinschaft niedrige Ladungswerte von <0,2 (Abb. 22B). Im Faktor vier stellen neben den dominierenden *Chaetoceros*-Dauersporen *Nitzschia angulata* und *Thalassiosira antarctica* signifikante Anteile an der Artenzusammensetzung (Tab. 6). Diese Gemeinschaft wird aus Sedimentfallen-Experimenten auch von GERSONDE & WEFER (1987) und LEVENTER (1991) aus der Bransfield-Straße beschrieben. Der höchste Diatomeenfluß in der Wassersäule wurde dabei in den Monaten Dezember und Januar gemessen (ABELMANN & GERSONDE 1991, LEVENTER 1991).



**Abb 23:** Verbreitungsgebiet des *Chaetoceros*-Dauersporen-Faktors im südlichen Arbeitsgebiet. Die höchsten Ladungen zeigen die Oberflächenproben aus dem Bereich der Bransfield-Straße und des Powellbeckens. Vergleiche hierzu auch Kap. 6.1.4. (Abb. 21). Berkner I. = Berkner Insel, Filch. S. = Filchner Schelfeis, S. = Schelfeis, G.v.N. = Georg von Neumayer Station. Meereisverbreitung nach SEA ICE CLIMATIC ATLAS (1985).

In den Proben PS2231-1 und PS2233-1 nördlich der STF findet sich eine Artengemeinschaft, die dem *N. kerguelensis*-Faktor entspricht (vergl. Abb. 24B). *N. kerguelensis* ist hier mit bis zu 60% relativer Häufigkeit vertreten. Subtropische, wärmere Arten treten hier in den Hintergrund. Dieses Gebiet mit Wassertemperaturen von etwa 20°C, wird jedoch vom Warmwasser-Faktor (Faktor 3 des AG 177/31 in Abb. 22B) abgedeckt. Es muß sich bei den dominanten Arten innerhalb der beiden Proben um allochthone Komponenten handeln, die möglicherweise durch Bodenwasserströmungen oder Wirbel in diesen Bereich transportiert wurden (Kap. 5.3.). Da die Vergesellschaftung dem *N. kerguelensis*-Faktor entspricht, weisen diese Proben nach der statistischen Berechnung hohe Kommunalitäten auf. Das resultierende Temperatursignal aufgrund der Artenzusammensetzung dieser Proben ist jedoch der nördlichen Antarktischen Zone und der Polarfrontzone zuzuordnen. Für die geographische Breite der Proben PS2231-1 und PS2233-1 ist es nicht repräsentativ. Diese Proben wurden deshalb aus dem Datensatz entfernt.

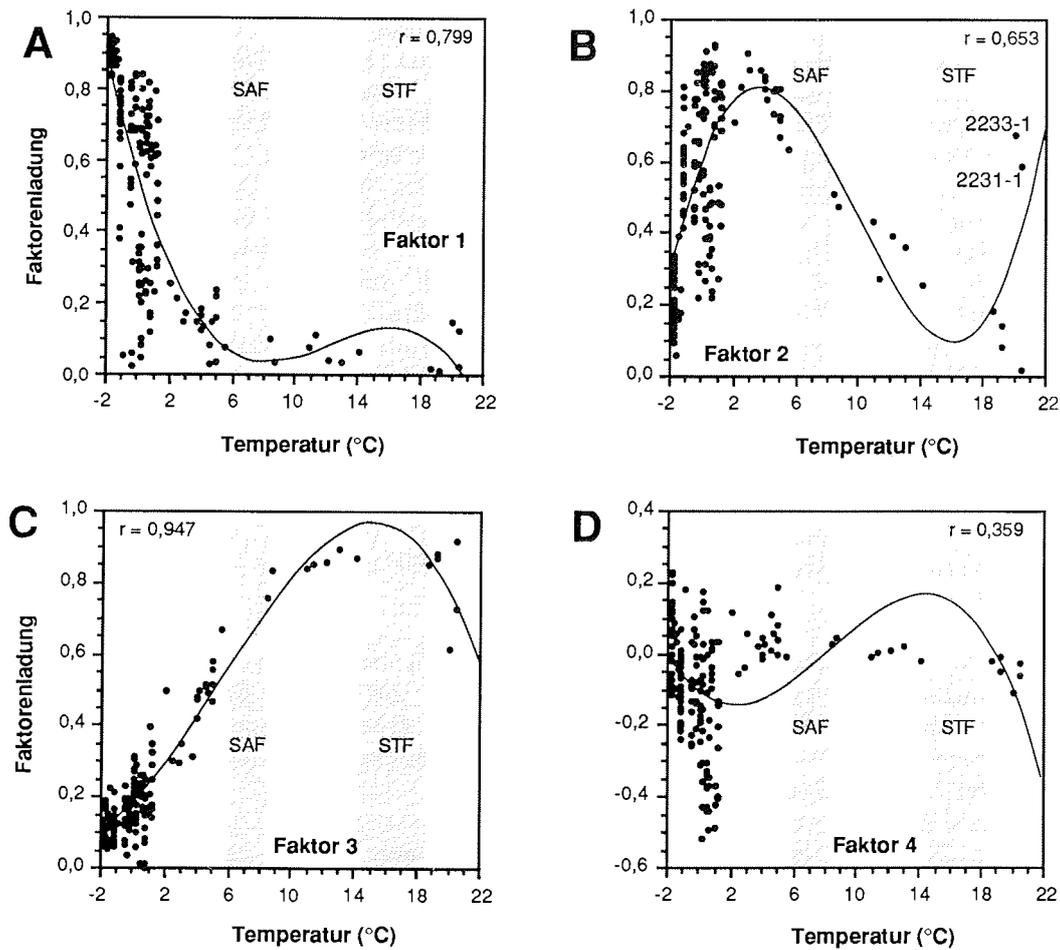
Neben den ausgewählten Proben des Nord-Süd-Profiles (Abb. 22) soll im folgenden der Bezug der gesamten Datenbasis zur Oberflächenhydrographie des Arbeitsgebietes hergestellt werden. Hierzu sind in Abb. 24 die Faktorenladungen aller Oberflächenproben des gewichteten antarktischen Datensatzes (AG 177/31) gegen die gemessene Sommertemperatur aufgetragen. Die Werte stellen gemittelte Temperaturen über die Monate Dezember bis März dar und wurden aus OLBERS et al. (1992) entnommen. In diesem Zeitraum erfolgt nach Ergebnissen von Sedimentfallen-Experimenten der jährliche Hauptpartikelfluß (Kap. 5.1.). Die Faktoren schließen einen Temperaturbereich von  $-1,7^{\circ}\text{C}$  bis  $20,5^{\circ}\text{C}$  ein. Der größte Teil der bearbeiteten Oberflächenproben deckt den Temperaturbereich unterhalb von  $6^{\circ}\text{C}$  ab (Antarktische- bzw. Polarfrontzone). Das gleiche Muster zeigt der Referenzdatensatz von PICHON et al. (1992b) aus dem Atlantischen- bzw. Indischen Sektor.

Es lassen sich drei Faktoren den verschiedenen Temperaturen des Oberflächenwassers zuordnen (Abb. 24A-C, vergl. Abb. 22). Der vierte Faktor (*Chaetoceros*-Dauersporen) zeigt keine Korrelation zur Temperatur (Abb. 24D).

Der Warmwasserfaktor (F. 3) verdeutlicht den besten Bezug zur Temperatur mit einem Koeffizienten von  $r = 0,947$  (Abb. 24C). Der Eisalgenfaktor (F.1) zeigt mit  $r = 0,799$  ebenfalls eine relativ gute Korrelation (Abb. 24A), während der *N. kerguelensis*-Faktor nur einen Koeffizienten von  $0,653$  aufweist (Abb. 24B).

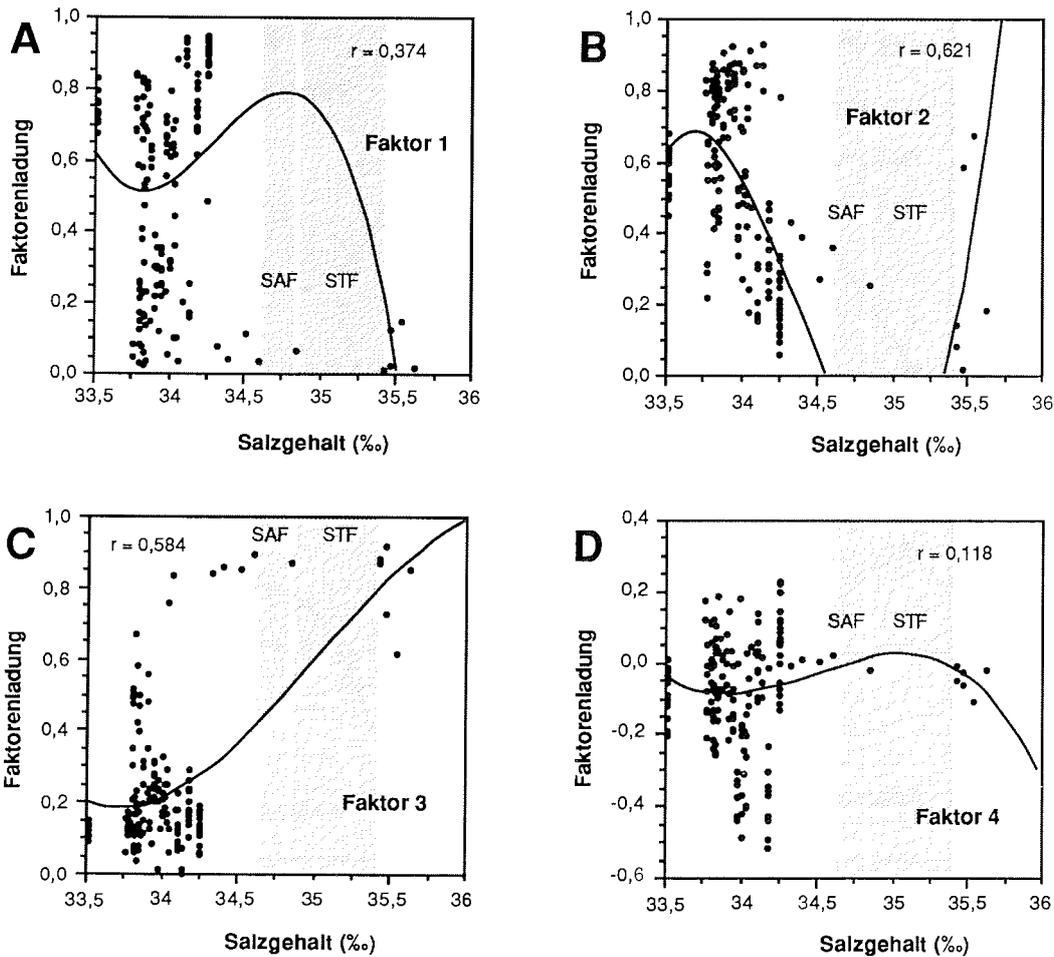
Abb. 24 zeigt jeweils zwei Temperatursprünge (grau gerastert), die den Gradienten an der SAF bzw. der STF entsprechen. Die Gradienten sind hier jedoch mit  $2,5^{\circ}\text{C}$  (SAF) und  $4,5^{\circ}\text{C}$  (STF) niedriger als die Mittelwerte aus der Literatur (vergl. Abb. 22). Auch der Sprung der Salzgehalte an der STF mit ca.  $0,5\%$  (Abb. 25) liegt dabei unter den Literaturwerten. Dies könnte im statistischen Fehlerbereich der Faktorenanalyse begründet sein.

Die Korrelationen zum Salz- und Phosphatgehalt sind im Vergleich zur Temperatur gering. Der Warmwasserfaktor (F.3) und der *N. kerguelensis*-Faktor (F.2) weisen nur geringe Korrelationen zum Salzgehalt auf (Abb. 25C und B), Faktor eins und Faktor vier zeigen keine Beziehung zum Salzgehalt (Abb. 25A und D).



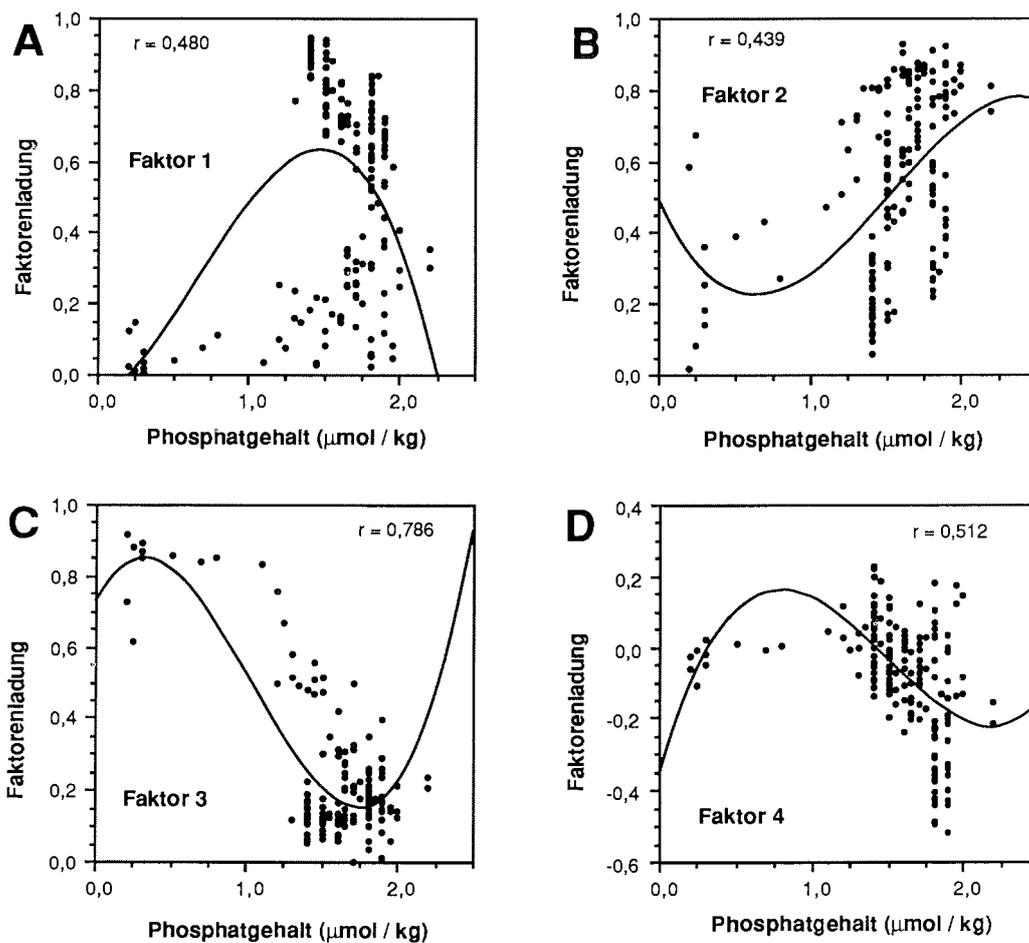
**Abb. 24:** Korrelation von Faktorenladungen der Proben aus dem AG 177/31 gegen die gemessene Sommertemperatur (Dez. bis März). Es sind zwei Temperatursprünge eingezeichnet (grau gerastert), die den Gradienten an den ozeanischen Fronten zuzuordnen sind (vergl. Kap. 3.2.). Die Kurven sowie die Koeffizienten entsprechen einer polynomischen Regression dritten Grades. SAF = Subantarktische Front, STF = Subtropische Front.

Zum Phosphatgehalt ist lediglich beim Warmwasserfaktor (F.3) eine Beziehung festzustellen (Abb. 26C). Die anderen Faktoren zeigen keine oder nur sehr geringe Korrelationen zum Phosphatgehalt (Abb. 26).



**Abb. 25:** Korrelation von Faktorenladungen der Proben aus dem AG 177/31 gegen die gemessenen Salzgehalte (Dez. bis März). Es sind zwei Salzgehaltssprünge eingezeichnet (grau gerastert), die den Gradienten an den ozeanischen Fronten zuzuordnen sind (vergl. Kap. 3.2.). Die Kurven sowie die Koeffizienten entsprechen einer polynomischen Regression dritten Grades. SAF = Subantarktische Front, STF = Subtropische Front.

Aus den Ergebnissen der Korrelationen kann geschlossen werden, daß die Zusammensetzung der Vergesellschaftungen vorwiegend durch die Temperatur beeinflusst wird und nur sekundär von der Salinität und dem Nährstoffgehalt. Letztere Parameter weisen jedoch Beziehungen zur Temperatur auf und sind somit keine unabhängigen Parameter für die statistische Berechnung.



**Abb. 26:** Korrelation von Faktorenladungen der Proben aus dem AG 177/31 gegen die gemessenen Phosphatgehalte (Daten nach SCHLITZER, unpubl. Univers. Bremen). Die Kurven sowie die Koeffizienten entsprechen einer polynomischen Regression dritten Grades.

### 6.3.3. Antarktischer Referenzdatensatz (AG 130/30)

Die bisherigen Ergebnisse aus der statistischen Auswertung der Daten ergeben neue Kriterien zum Ausschluß von Proben aus dem gewichteten Datensatz. Zur Definition des Referenzdatensatzes für die Berechnung von Transferfunktionen wurde versucht, unter Ausschluß von 47 Oberflächenproben die Korrelationen zwischen Faktoren und Temperatur zu verbessern. Dazu wurden Proben, die mit dem Vier-Faktorenmodell des gewichteten antarktischen Datensatzes nicht befriedigend erklärt werden konnten (niedrige Kommunalität  $<0,75$ ) aus dem Datensatz entfernt. Zusätzlich wurden die Proben PS2231-1 und PS2233-1 aufgrund ihrer vermutlich allochthonen Vergesellschaftung nicht berücksichtigt. Da der Dauersporen-Faktor (F.4) keine Beziehung zur Temperatur zeigt (Abb. 24D), wurden alle Proben mit hoher Ladung dieses Faktors nicht berücksichtigt. Dies betrifft die Proben aus der Bransfield-Straße und dem Powellbecken (Abb. 23). Der Ausschluß erfolgte unter der Annahme, das sich diese Proben störend auf die Korrelation der anderen Faktoren zur Temperatur auswirkt. Die Art *Eucampia antarctica* wurde ebenfalls nicht berücksichtigt, da sie aufgrund ihrer heutigen Verbreitung eine No-Analog-Kondition darstellt (Kap. 6.1.1.). Damit reduziert sich der bisherige gewichtete antarktische Datensatz auf 130 Oberflächenproben und 30 Taxa bzw. Taxagruppen (AG 130/30). Die anschließende Faktorenanalyse wurde mit einem Drei-Faktorenmodell ohne einen separaten *Chaetoceros*-Dauersporen-Faktor gerechnet.

Der Datensatz wurde erneut in das in Kap. 6.3.2. beschriebene Ranking-System gegliedert, da durch die Reduzierung des gewichteten Datensatzes die relativen Häufigkeiten einiger Arten verändert wurden. Insbesondere die Dominanz der *Chaetoceros*-Dauersporen verringerte sich von 92 % relativer Häufigkeit (vergl. Tab. 5, Kap. 6.3.2.) auf 58 % im antarktischen Referenzdatensatz (AG 130/30). Die neue Einteilung der Diatomeentaxa bzw. Taxagruppen in das Abundanzklassensystem ist Tabelle 8 zu entnehmen.

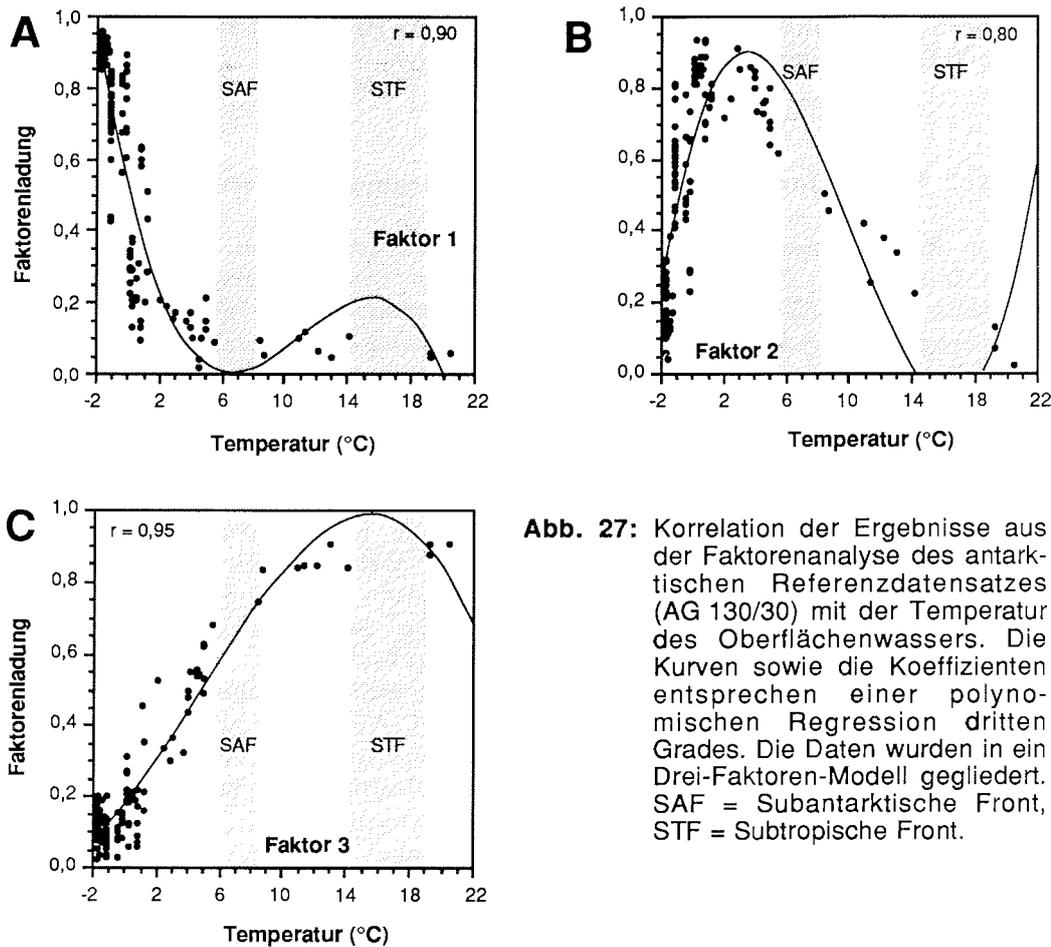
Die Korrelationen der Faktoren des antarktischen Referenzdatensatzes (AG 130/30) zur Temperatur des Oberflächenwassers zeigen nun bessere Ergebnisse als im AG 177/31 (Abb. 27). Besonders die Korrelationen des Eisalgen-Faktors (F.1, Abb. 27A) und des *N. kerguelensis*-Faktors (F.2, Abb. 27B) weisen höhere Koeffizienten als im gewichteten antarktischen Datensatz mit 177 Proben auf (Abb. 24). In den Beziehungen der Faktoren zu den Salz- und Phosphatgehalten ist lediglich beim *N. kerguelensis*-Faktor (F.2) eine bessere Korrelation zum Phosphatgehalt festzustellen ( $r = 0,61$ , vergl. Abb. 26B).

Die Ergebnisse der Faktorenanalyse des AG 130/30 sind in Tabelle 7 den Daten der beiden vorangegangenen Analysen gegenübergestellt. Da der

Diatomeenarten	Abundanzklasse			
	0 ln (%)	1 ln (%)	2 ln (%)	3 ln (%)
<i>Actinocyclus actinochilus</i>	0	<2	2 - 3	
<i>Azpeitia tabularis</i>	0	<2	2 - 5	5 - 11
<i>Chaetoceros</i> -Dauersporen	0	<2	2 - 29	29 - 58
Eisalgengruppe	0	<2	2 - 31	31 - 62
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	0	<2	2 - 3	3 - 6,3
<i>Nitzschia angulata</i>	0	<2	2 - 3	3 - 6,3
<i>Nitzschia bicapitata</i>	0	<2	2 - 3	3 - 5,3
<i>Nitzschia kerguelensis</i>	0	<2	2 - 43	43 - 86
<i>Nitzschia obliquecostata</i>	0	<2	2 - 8	8 - 15,7
<i>Nitzschia ritscheri</i>	0	<2	2 - 3	
<i>Nitzschia separanda</i>	0	<2	2 - 3,5	3,5 - 7,3
<i>Nitzschia sublinearis</i>	0	<2	2 - 7	7 - 13,6
<i>Nitzschia turgiduloides</i>	0	<2	2 - 12	12 - 24
<i>Porosira glacialis</i>	0	<2		
<i>Porosira pseudodenticulata</i>	0	<2	2 - 3	
<i>Pseudoeunotia doliolus</i>	0	<2	2 - 13	13- 27
<i>Rhizosol. antennata</i> fo. <i>semispina</i>	0	<2	2 - 3	
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	0	<2	2 - 3	3 - 4,2
<i>Rhizosolenia hebetata</i> fo. <i>semispina</i>	0	<2		
<i>Roperia tessellata</i>	0	<2	2 - 3	3 - 5
<i>Stellarima microtrias</i>	0	<2	2 - 3	
<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>parva</i>	0	<2	2 - 4	4 - 8,6
<i>Thalassionema nitzschioides</i> fo. 1	0	<2	2 - 3	3 - 6,2
<i>Thalassionema nitzschioides</i> fo. 2	0	<2	2 - 3	3 - 4,7
<i>Thalassiosira antarctica</i>	0	<2	2 - 16	16 - 33
<i>Thalassiosira gracilis</i>	0	<2	2 - 4	4 - 8
<i>Thalassiosira lentiginosa</i>	0	<2	2 - 13	13- 26
<i>Thalassiosira oestrupii</i>	0	<2	2 - 5	5- 10
<i>Thalassiosira oliverana</i>	0	<2	2 - 3	
<i>Thalassiotrix antarctica</i>	0	<2	2 - 4,5	4,5 - 9

**Tab. 8:** Einteilung der relativen Häufigkeiten aller Diatomeentaxa und -taxagruppen des antarktischen Referenzdatensatzes (AG 130/30) in das Abundanzklassensystem nach PICHON (1985) und PICHON et al. (1987, 1992b).

*Chaetoceros*-Dauersporen-Faktor im gewichteten antarktischen Datensatz AG 177/31 nur eine Varianz von 3,081 % erklärt, wurde in der erneuten Faktorenanalyse des AG 130/30 mit einem Drei-Faktoren-Modell gearbeitet. Die Dauersporen wurden dabei innerhalb der Berechnung in den Eisalgen-Faktor (F. 1) integriert, wobei sich die Varianz dieses Faktors auf 41,274 % erhöht (Tab. 7). Die kummulative Varianz erhöht sich ebenfalls um mehr als 1 %.



**Abb. 27:** Korrelation der Ergebnisse aus der Faktorenanalyse des antarktischen Referenzdatensatzes (AG 130/30) mit der Temperatur des Oberflächenwassers. Die Kurven sowie die Koeffizienten entsprechen einer polynomischen Regression dritten Grades. Die Daten wurden in ein Drei-Faktoren-Modell gegliedert. SAF = Subantarktische Front, STF = Subtropische Front.

Im Vergleich zum Referenzdatensatz AG 130/30 weist der Datensatz von PICHON et al. (1992b) einige wesentliche Unterschiede auf. Die relativen Häufigkeiten bestimmter Arten differieren in beiden Oberflächendatensätzen teilweise erheblich, z.B. *Eucampia antarctica* (Kap. 2 und 6.1.1.). Andere Arten wie *Actinocyclus actinochilus*, *Thalassiosira antarctica* und *T. lentiginosa* zeigen ebenfalls z. T. große Unterschiede der relativen Häufigkeiten in beiden Datensätzen. Diese Abweichungen sind in der unterschiedlichen quantitativen Erfassung des Artenbestandes begründet. Von PICHON et al. (1992b) wurden keine *Chaetoceros*-Dauersporen berücksichtigt, was zur Verzerrung der relativen Häufigkeiten jeder Art innerhalb des Datensatzes führt (Kap. 2). Aufgrund der Integration der Sporen verschieben sich die Häufigkeiten aller Arten des AG 130/30 im Vergleich zum Datensatz von PICHON et al. (1992b) zu kleineren Werten. *Chaetoceros*-Dauersporen müssen jedoch im Oberflächendatensatz mit berücksichtigt werden, da sie in

quartären Sedimentkernen mit ihren relativen Häufigkeitsfluktuationen ein deutliches Signal darstellen (Kap. 6.1.4. und 7.1.).

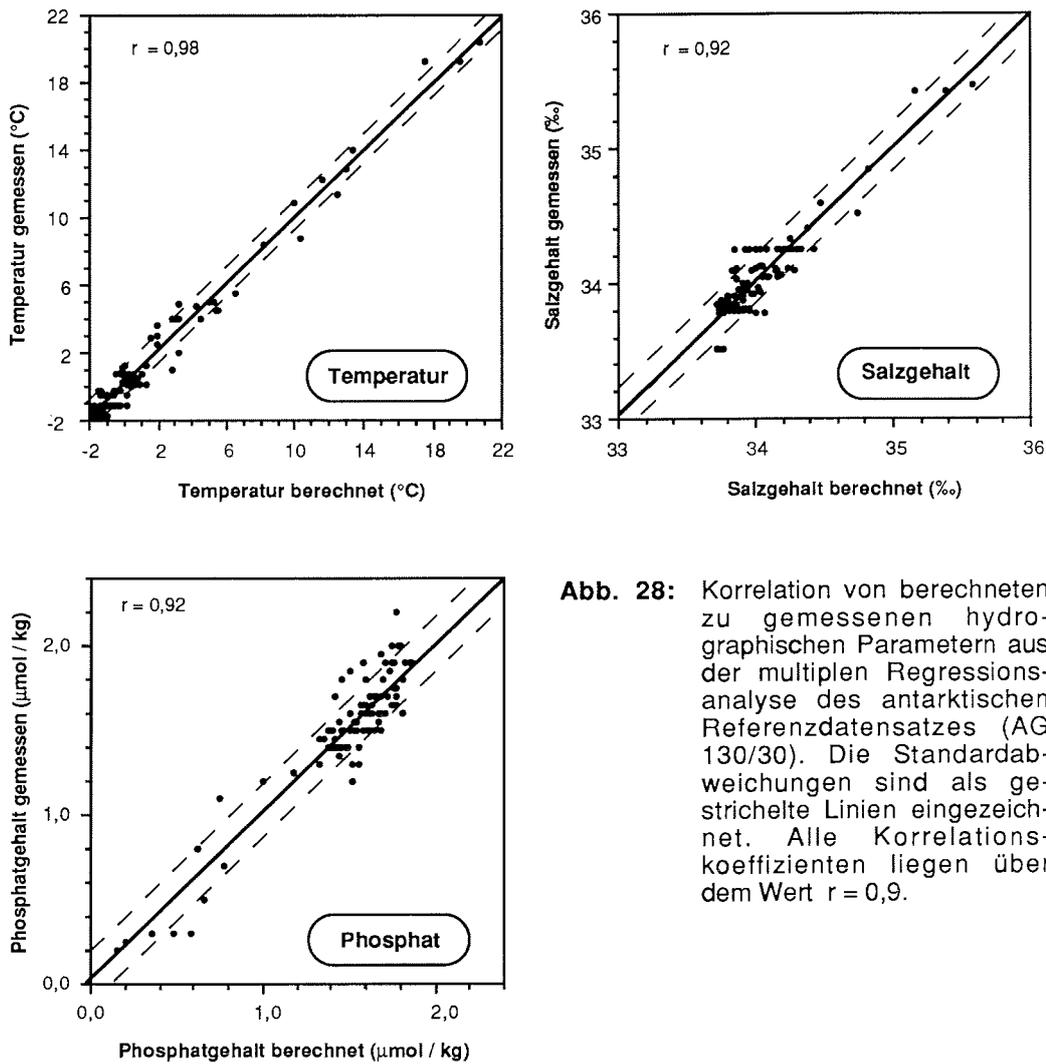
#### 6.3.4. Regressionsanalyse des antarktischen Referenzdatensatzes

In der Regressionsanalyse können die im vorangegangenen Kapitel erarbeiteten Daten des Oberflächenmodells getestet werden. Hierzu werden im Programm REGRESS die Faktoren des antarktischen Referenzdatensatzes in Beziehung zur Hydrographie des Oberflächenwassers gesetzt. Erläuterungen zu diesem Rechenschritt, sowie die Eingabeparameter und Quellen der hydrographischen Daten sind in Kap. 4.5.2. zu finden.

Die Ergebnisse dieser Anwendung der Faktorenanalysedaten lassen sich anhand der berechneten hydrographischen Werte (Abb. 28) und ihrer Residuen (Abb. 29) bewerten. Die Beziehungen von berechneten zu gemessenen Werten aller drei hydrographischer Parameter weisen einen hohen Korrelationskoeffizienten auf ( $r > 0,9$ ). Desweiteren zeigen die Regressionsergebnisse für die Parameter relativ geringe Standardabweichungen von  $0,71\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Temperatur),  $0,14\text{ }‰$  (Salzgehalt) und  $0,14\text{ }\mu\text{mol/kg}$  (Phosphatgehalt). Die errechneten Werte weisen keine gravierenden Abweichungen von den gemessenen Daten auf (Abb. 28). Die Konzentration der Meßwerte auf einen bestimmten Bereich beruht auf der überwiegenden Probenanzahl aus der Antarktischen- bzw. Polarfrontzone mit Temperaturen  $< 6^{\circ}\text{C}$ .

Das Streudiagramm (Abb. 29) läßt keine Beziehung zwischen der Residualverteilung und der geographischen Breite erkennen (Korrelationskoeffizienten  $r = < 0,05$ ). Die Akkumulation der Werte südlich von  $69^{\circ}\text{S}$  entspricht dem Hauptbeprobungsgebiet im Weddellmeer (vergl. Abb. 6 und 7).

Die Temperatur weist die größten Abweichungen der Residuen außerhalb der Standardabweichung auf (Abb. 29). Besonders im Gebiet um  $50^{\circ}\text{S}$  zeigen die Residuen über- bzw. unterschätzte Werte in etwa gleichem Verhältnis. Dies kann einerseits durch die Datenbasis begründet sein: Abbildung 29 enthält alle 130 Proben des antarktischen Referenzdatensatzes in einer flächhaften Darstellung. Die Temperatur ist jedoch entlang eines Breitengrades nicht im gesamten Arbeitsgebiet gleich, auch die geographische Lage der Fronten verändert sich, insbesondere im Westen des Südatlantiks (vergl. Abb. 2 in Kap. 3.2.). Andererseits ist gerade der Bereich der Polarfrontzone von großen Wirbeln gekennzeichnet, die lokal Wassermassen abschnüren und transportieren können (PETERSON & WHITWORTH III 1989). Demzufolge ist es denkbar, daß sich diese lokalen

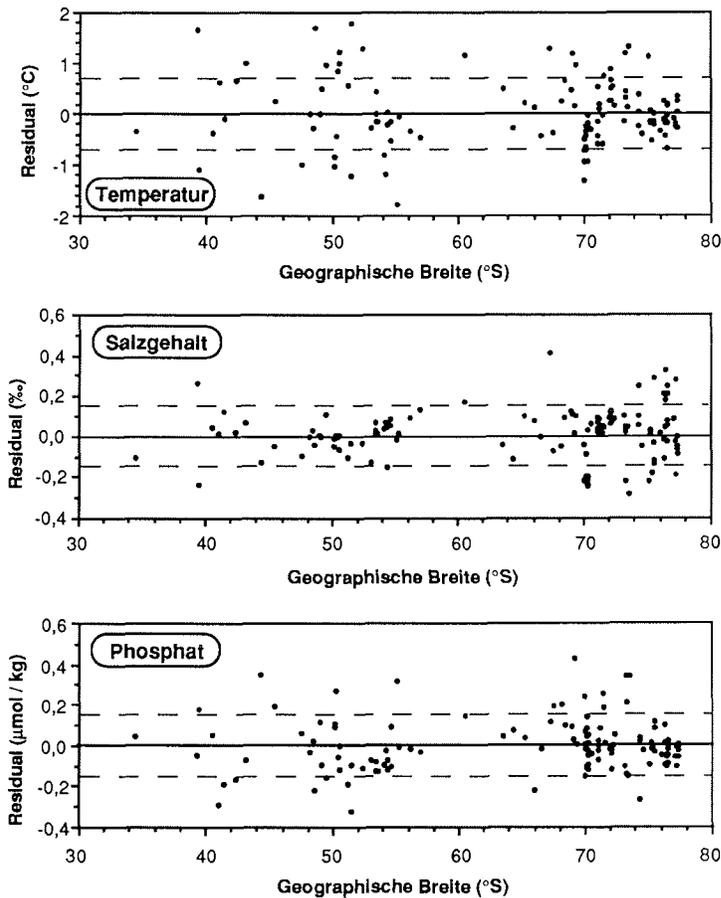


**Abb. 28:** Korrelation von berechneten zu gemessenen hydrographischen Parametern aus der multiplen Regressionsanalyse des antarktischen Referenzdatensatzes (AG 130/30). Die Standardabweichungen sind als gestrichelte Linien eingezeichnet. Alle Korrelationskoeffizienten liegen über dem Wert  $r = 0,9$ .

hydrographischen Prozesse störend auf die Erstellung einer Transferfunktion auswirken.

Negative Residualwerte repräsentieren eine Überschätzung des Umweltparameters durch die Regressionsanalyse. Bei einer gemessenen Temperatur von  $16^{\circ}\text{C}$  und einem errechneten Wert von  $17^{\circ}\text{C}$ , ergibt sich ein Residualwert von  $-1^{\circ}\text{C}$ , die Temperatur ist also um  $1^{\circ}\text{C}$  überschätzt. Positive Werte zeigen dementsprechend eine Unterschätzung. Im Idealfall muß das Verhältnis von negativen zu positiven Residualwerten in etwa gleich sein (MOLFINO et al. 1982). Für den Salzgehalt ist das Verhältnis zugunsten der unterschätzten Werte verschoben, während der Phosphatgehalt etwas mehr überschätzte Werte aufweist. Für die Residuen der Temperatur ist das Verhältnis in etwa

ausgewogen. Für die Daten, die außerhalb der Standardabweichung liegen, zeigen sich in allen drei Parametern in etwa gleiche Verhältnisse.



**Abb. 29:** Korrelation der Residuen zur geographischen Breite mit den jeweiligen Standardabweichungen. Die Werte weisen keine Beziehung zur Breite auf, die Koeffizienten liegen unter  $r = 0,05$ .

Die multiple Regressionsanalyse berechnete für alle Umweltparameter gute Koeffizienten und niedrige Standardabweichungen. Die direkte Korrelation der Faktoren zu den heutigen gemessenen hydrographischen Werten ergab demgegenüber für die Salz- und Phosphatgehalte keine guten Beziehungen (Kap. 6.3.2.). Dies legt den Schluß nahe, daß die Zusammensetzung der Diatomeenvergesellschaftungen vorwiegend durch die Temperatur gesteuert wird. In der Anwendung der Transferfunktionen am Sedimentkern ergibt sich das gleiche Ergebnis (Kap. 7.2.).

## 7. ANWENDUNG DER TRANSFERFUNKTION AN KERN PS1768-8

### 7.1. Stratigraphie

Die Sedimentabfolge des untersuchten Kernes befindet sich nach der biostratigraphischen Diatomeenzonierung nach GERSONDE & BURCKLE (1990) in der *Thalassiosira lentiginosa*-Zone, die an ihrer Basis durch das LAD (= Last Appearance Datum) von *Actinocyclus ingens* bei 600.000 Jahren v.H. begrenzt wird. Als weiterer stratigraphischer Marker für die Alterseinstufung kann die Art *Hemidiscus karstenii* hinzugezogen werden, die ihr letztes, häufiges Auftreten (LAAD) nahe der Grenze der Sauerstoffisotopenstadien 7/8 zeigt (BURCKLE et al. 1978). Sie wurde im Kern nicht gefunden, somit sind die untersuchten Sedimente jünger als 186.000 Jahre. Nach <sup>230</sup>Thorium-Analysen fehlen die Sedimente der jüngsten ca. 3000 - 4000 Jahre im obersten Abschnitt des Kernes (GERSONDE, mdl. Mittl.).

Aus den Schwankungen der relativen Häufigkeiten von *E. antarctica* im Kern läßt sich eine Biofluktuationsstratigraphie erstellen. Dazu wurden nach BURCKLE & COOKE (1983) die Häufigkeitsmaxima und -minima dieser Art durch den Kern nummeriert (Abb. 30). Die Alterseinstufung der Intervalle nach BURCKLE & COOKE (1983) muß jedoch durch Korrelation mit der Sauerstoff-Isotopenkurve revidiert werden. In Verbindung mit den Häufigkeitsschwankungen anderer, stratigraphisch relevanter Arten (Abb. 30) kann eine erste Abgrenzung von Kalt- und Warmzeiten erfolgen.

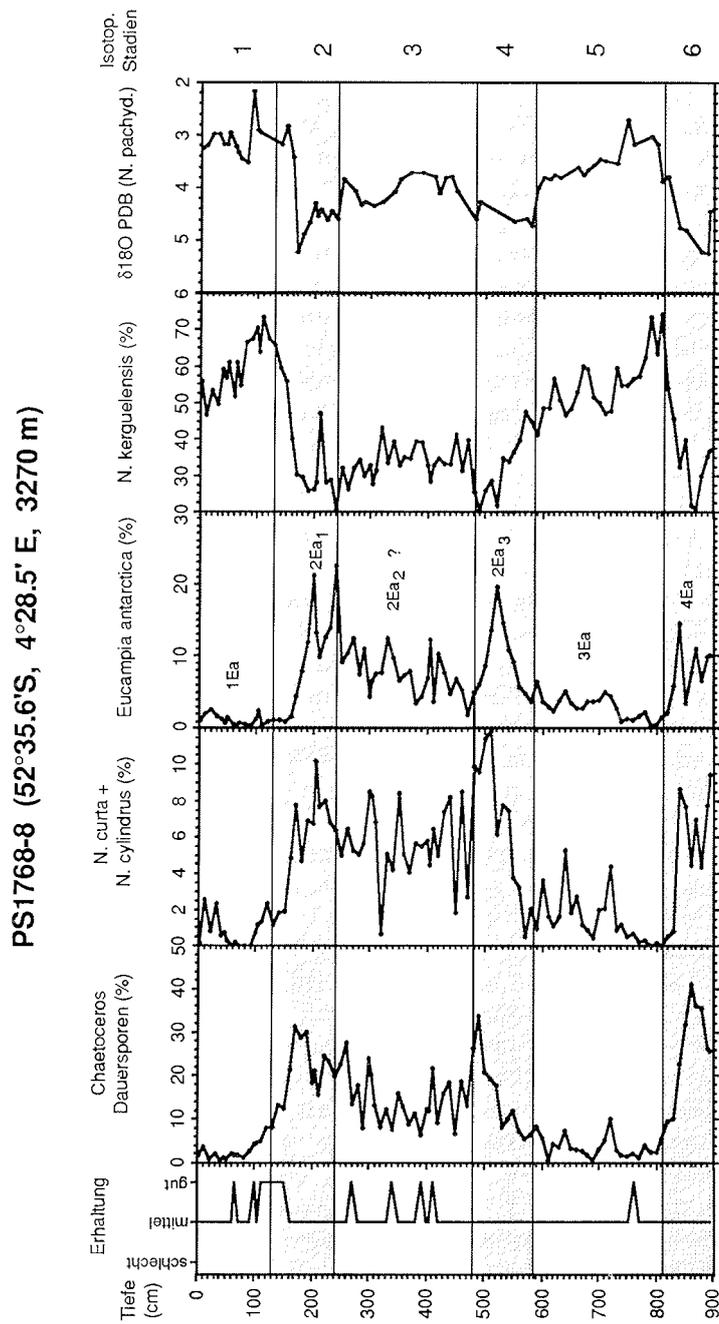
Das Intervall 4Ea repräsentiert den letzten, vom Kern erfaßten kalten Zeitabschnitt (Stadium 6). Intervall 3Ea zeigt geringes Auftreten von *E. antarctica* im Stadium 5, das Häufigkeitsmaximum im anschließenden Zeitabschnitt (Intervall 2Ea<sub>3</sub>) entspricht dem Glazialstadium 4. Das nach BURCKLE & COOKE (1983) definierte 2Ea<sub>2</sub>-Maximum kann hier nicht eindeutig festgelegt werden. Gemäß der Definition nach BURCKLE & COOKE (1983) zeigt es einen geringeren *E. antarctica*-Anstieg als 2Ea<sub>3</sub> und das folgende 2Ea<sub>1</sub>-Intervall im letzten Glazial. Dieses Häufigkeitsmaximum weist eine bimodale Form auf, wie sie von BURCKLE & COOKE (1983) und TREPPKE (1988) beschrieben wird. Stadium 1 kennzeichnet geringes Vorkommen von *E. antarctica* bis 3 % (Intervall 1Ea).

*N. curta* und *N. cylindrus* (Eisalgen) steigen in ihren relativen Häufigkeiten bis 12 % während der Glazialzeiten an und korrelieren dabei mit den Maxima von *E. antarctica*. Etwa den gleichen Häufigkeitswert zeigen die Eisalgen heute an ihrer nördlichen Verbreitungsgrenze (Abb. 16, Kap. 6.1.2.) zwischen mittlerer und maximaler Wintermeereisausdehnung. Somit lassen sich mit Hilfe angrenzender Kerne auf einem Profil über die ozeanischen Fronten Meereisgrenzen in der jüngeren geologischen Geschichte rekonstruieren (GERSONDE & PÄTZOLD 1992). Die Kurve der *Chaetoceros*-

Dauersporen weist ebenfalls ein deutlich positives Signal (bis 42 %) in den Kaltzeiten auf und entspricht damit den *E. antarctica*-Intervallen 2Ea<sub>1</sub>, 2Ea<sub>3</sub> und 4Ea. Der Häufigkeitsanstieg der heute vorwiegend in neritischen Gebieten vorkommenden Dauersporen ist noch in der Diskussion und bedarf weiterer Untersuchungen (vergl. Kap. 6.1.4.).

*N. kerguelensis* erreicht in den Warmzeiten ihre höchsten Vorkommen mit über 70 %. Da die Lebensbedingungen dieser Art bei Temperaturen über 0°C liegen (Kap. 6.1.3.), könnten möglicherweise höhere Temperaturen und veränderte Nährstoffgehalte in Warmzeiten die hohen Vorkommen verursachen. Die Häufigkeitsmaxima von *N. kerguelensis* im Stadium 1 und 5.5 korrelieren dabei mit den *E. antarctica*-Minima 3Ea und 1Ea. Damit ist gleichzeitig ein Anstieg der Opalwerte bis auf über 90 % verbunden (Daten nach BOHRMANN in MÜLLER 1992). Die Kaltzeiten kennzeichnen niedrige Häufigkeiten von *N. kerguelensis* bis < 30 % (Abb. 30) und decken sich mit den Maxima der Arten, die kalte Bedingungen charakterisieren.

Wichtige Daten für die Alterseinstufung liefert die Sauerstoff-Isotopenkurve (Abb. 30). Die Messungen wurden an der planktischen Foraminifere *Neoglobobulina pachyderma* sinistral vorgenommen (Daten nach HUBBERTEN & NIEBLER in GERSONDE & PÄTZOLD 1992). Die Interpretation dieser Daten wird allerdings neben dem globalen Eiseffekt (LABEYRIE et al. 1987, BARD et al. 1990) hauptsächlich durch lokale Effekte (Temperatur, Salinität) erschwert (vergl. Abb. 33). Desweiteren besteht bei den Kernen aus dem Antarktischen Ozean das Problem, daß oftmals nicht genügend Kalkschalen zur Messung von Sauerstoff-Isotopen vorhanden sind.



**Abb. 30:** Häufigkeitsfluktuationen vier stratigraphisch relevanter Diatomeenarten bzw. -gruppen und die Sauerstoff-Isotopenkurve des Kerns PS1768-8. Isotopendaten nach HUBBERTEN & NIEBLER in GERSONDE & PÄTZOLD (1992). Stratigraphie nach Isotopendaten und Daten aus PICHON et al. (1992b). *E. antarctica*-Nummerierung nach BURCKLE & COOKE (1983).

Die Alterseinstufung des Kerns PS1768-8 erfolgte neben den Sauerstoff-Isotopendaten (Abb. 30) mit der Stratigraphie eines Vergleichskerns von PICHON et al. (1992b). Für den Kern aus der Literatur liegen Isotopenmessungen aus benthischen Foraminiferen vor, die gegenüber planktischen Isotopensignalen bessere Daten liefern. Im benthischen Signal sind die lokalen Effekte, die ein planktisches Isotopensignal beeinflussen, nicht vorhanden. Um diese Informationen für den bearbeiteten Kern zu nutzen, wurden die planktischen Isotopenkurven beider Kerne verglichen und eine Alterszuordnung vorgenommen. Der Kern von PICHON et al. (1992b) stammt aus der subantarktischen Zone des Indischen Sektors und wurde ebenfalls für den Vergleich der berechneten Paläotemperaturen des Kerns PS1768-8 herangezogen (Kap. 7.2.). Für den Vergleichskern liegen zusätzlich absolute Zeitmarken (AMS  $^{14}\text{C}$ -Alter) für die Termination I und das Stadium 1 aus der Literatur vor (LABRACHERIE et al. 1989, BARD et al. 1990). Danach begann der Wechsel vom Letzten Glazialen Maximum (LGM) zur heutigen Warmzeit vor ca. 16,5 bis 13 ka (ka = 1000 Jahre v.H.). Im Vergleich dazu erfolgte dieser Übergang auf der Nordhemisphäre vor ca. 15 bis 14,5 ka. Wärmere, holozäne Temperaturen wurden im Antarktischen Ozean bei etwa 12 ka erreicht, im Nordatlantik um 12,5 bis 12 ka (LABRACHERIE et al. 1989, BARD et al. 1990). Die Ergebnisse im Kern PS1768-8 zeigen etwa ab 130 cm Tiefe im Glazial/Interglazial-Wechsel wärmere Temperaturen  $> 1^\circ\text{C}$  an (Abb. 33), die mit einer Erhöhung der Sedimentationsraten und der Opalproduktion verbunden sind (Daten nach BOHRMANN in MÜLLER 1992). Zu diesem Zeitpunkt ist desweiteren ein Ansteigen der relativen Häufigkeit von *N. kerguelensis* zu verzeichnen (Abb. 30). Es kann vermutet werden, daß der Abschnitt von 130 cm Kerntiefe der absoluten Datierung nach LABRACHERIE et al. (1989) und BARD et al. (1990) von etwa 12 ka entspricht (Abb. 33).

Die Sauerstoff-Isotopenkurve in Kern PS1768-8 zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die Fluktuation der relativen Häufigkeiten von *N. kerguelensis* (Abb. 30). Besonders die Maxima im letzten und vorletzten Klimaoptimum (Stadium 1 bzw. unteres Stadium 5) lassen sich parallelisieren. *N. kerguelensis* erreicht in diesen Abschnitten ihre höchste Häufigkeit von über 70 %, die leichten Werten der Isotopenkurve entspricht. Die anhand der Isotopenkurve abgegrenzten Glazialstadien decken sich mit den Häufigkeitsmaxima der an Meereis adaptierten Diatomeen: sie stehen schweren Werten der  $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve in den Stadien 2 - 4 und 6 gegenüber. Die Opalwerte erreichen in diesen Kaltabschnitten entsprechend geringe Werte bis  $< 30\%$  (Daten nach BOHRMANN in MÜLLER 1992).

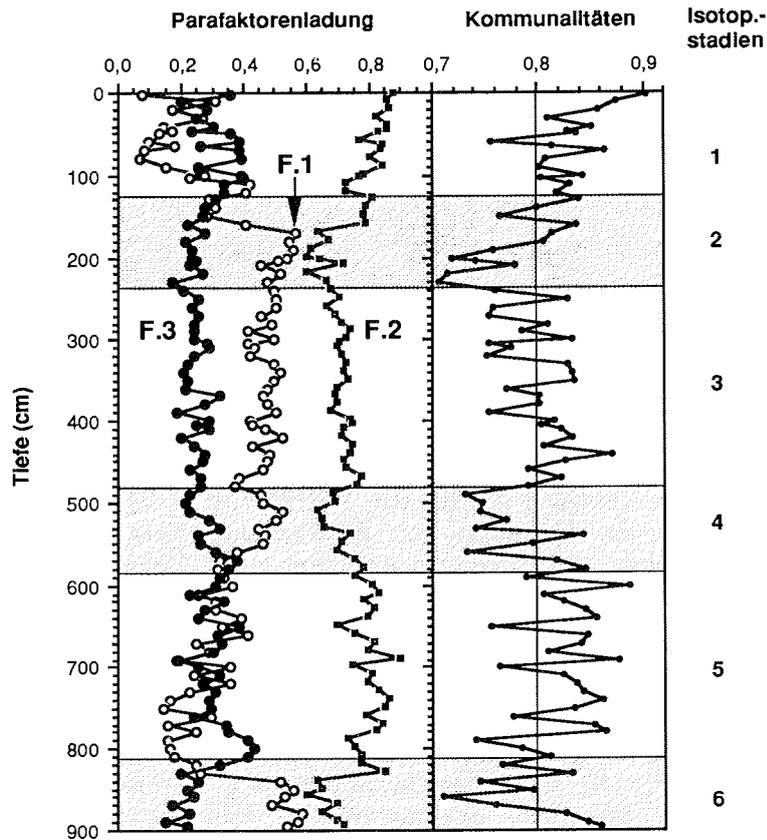
Besonders in Stadium 5 sind drei Häufigkeitsmaxima von *N. kerguelensis* zu erkennen, die vermuten lassen, daß sie neben dem deutlichen Signal des vorletzten Klimaoptimums (5.5) die warmen Zeitabschnitte 5.3 bzw. 5.1 kennzeichnen. Die Kaltwasserarten zeigen in diesen Bereichen Minima, dazwischen entsprechend deutliche Anstiege in ihrer relativen Häufigkeit. Auch die Opalwerte zeichnen in ihrem Verlauf ein derartiges Muster nach mit Höchstständen in den Abschnitten der *N. kerguelensis*-Maxima (Daten

nach BOHRMANN in MÜLLER 1992). Die Häufigkeitsfluktuationen der Diatomeen im Stadium 3 lassen sich, wie das Isotopensignal, aufgrund ihres undeutlichen Verlaufes nur schlecht interpretieren (Abb. 30). Es ist lediglich ein Trend zu erkennen, der durch geringere Vorkommen der Kaltwasserarten und etwas ansteigende Häufigkeit von *N. kerguelensis* auf geringfügig wärmere Bedingungen zwischen den Kaltstadien 2 und 4 hindeutet.

## 7.2. Berechnung der Paläoumweltparameter

Für den Kern PS1768-8 wurden Sommertemperaturen, Salzgehalte und Phosphatgehalte berechnet. Auf die Bestimmung von Winterwerten wurde nicht eingegangen, da Ergebnisse aus Sedimentfallen-Experimenten ergaben, daß in der saisonal eisbedeckten Zone im Winter kein Signal gebildet wird (Kap. 5.1.). Der vorgeschlagene Ansatz von PICHON et al. (1987) mit Hilfe der Transferfunktion aus der Quantität von Eisalgen im Kern ("Meereissignal") auf die jährliche Dauer der Meereisbedeckung eines Gebietes zu schließen, wird in der vorliegenden Arbeit nicht verfolgt. Da während einer Meereisbedeckung kaum Diatomeenschalen sedimentiert werden, entsteht das Meereissignal erst nach Abschmelzen des Eises, also im **Antarktischen Sommer** (ABELMANN & GERSONDE 1991). Zusätzlich wird ein Teil der fein verkieselten Schalen der Eisdiatomeen in Bereichen mit starker Opallösung zerstört (Kap. 6.3.2.) und somit das Signal verändert. Aus diesen Gründen kann nicht von der Quantität der Eisdiatomeen in bestimmten Kernabschnitten auf die jährliche Dauer der Meereisbedeckung in der geologischen Vergangenheit geschlossen werden (GERSONDE & PÄTZOLD 1992). Es lassen sich lediglich aus dem Meereissignal in Sedimentkernen Rückschlüsse über die **Häufigkeit** der Meereisbedeckung eines Gebietes ziehen.

Die für den Kerndatensatz berechneten Kommunalitäten liegen um 0,8 (Abb. 31). Werte in dieser Größenordnung werden allgemein als signifikant zur Interpretation von Faktoren angesehen (u.a. PICHON et al. 1992b, KARPUZ & JANSEN 1992). Dadurch wird deutlich, daß sich das Faktorenmodell des Kerndatensatzes gut in das Modell des Oberflächendatensatzes einfügen läßt (vergl. Kap. 4.5.3.). Die Kommunalitäten stellen somit ein Maß für die gute Qualität der Berechnungen dar. Niedrige Kommunalitäten < 0,8 sind vorwiegend in den Glazialstadien festzustellen (Abb. 31). Dies bedeutet, daß es für die Zusammensetzung der Diatomeenvergesellschaftungen in diesen kalten Zeitabschnitten kein vergleichbares Muster der Artengemeinschaften im Oberflächendatensatz gibt. Für die niedrigen Kommunalitäten sind die *Chaetoceros*-Dauersporen in hohem Maße verantwortlich.



**Abb. 31:** Parafaktoren und Kommunalitäten aus der B-Hat-Matrix für den Kern PS1768-8 gegen die Tiefe dargestellt. Schwarze Kreise = Warmwasser-Faktor (F.3), Weiße Kreise = Eisalgens-Faktor (F.1), Quadrate = *N. kerguelensis*-Faktor (F.2). Der größte Teil der niedrigen Kommunalitäten (< 0,8) tritt in kalten Zeitabschnitten auf (Stadium 2 - 4, Stadium 6). Stratigraphie siehe Abb. 30.

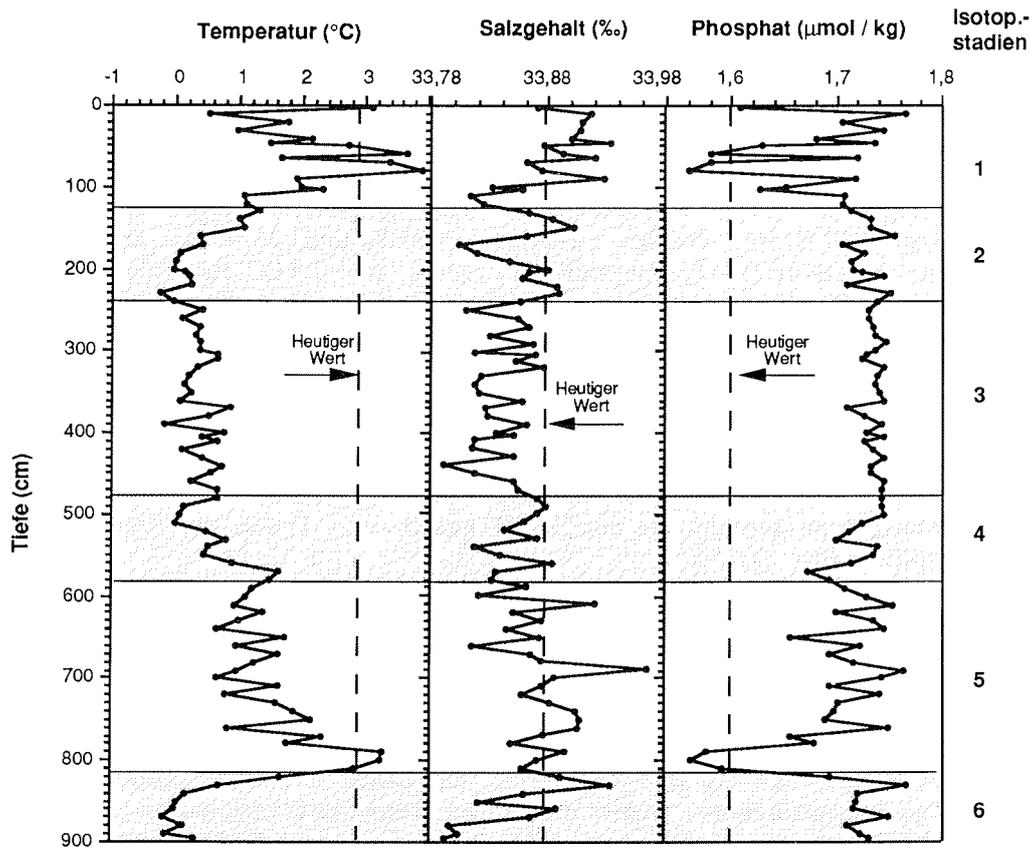
Die Proben aus den Glazialabschnitten mit hohem Anteil dieser Gruppe weisen im Gegensatz zum Oberflächendatensatz hohe relative Häufigkeiten (um 30%) von *N. kerguelensis* auf.

Der *N. kerguelensis*-Faktor (F.2) zeigt im gesamten Kern die höchsten Faktorenladungen (Abb. 31). In den Glazialstadien zeigt dieser Parafaktor die geringsten Ladungswerte. Dementsprechend höher ist in diesen Zeitabschnitten der Einfluß des Eisalgens-Faktors (F.1). In den Klimaoptima gewinnt der Warmwasser-Faktor (F.3) an Bedeutung und reduziert dadurch ebenfalls die Signifikanz des *N. kerguelensis*-Faktors.

Die errechneten Paläotemperaturen liegen im Bereich von  $-0,3^{\circ}\text{C}$  bis  $3,9^{\circ}\text{C}$  (Abb. 32). Deutliche Temperaturmaxima zeigen dabei die beiden Klimaoptima im Stadium 1 und unteren Stadium 5 mit gemittelten Temperaturen von  $3,1^{\circ}\text{C}$ , die über dem heutigen Wert liegen. Stadium 6 weist die geringsten Durchschnittstemperaturen im Kern mit  $0^{\circ}\text{C}$  auf. Der Zeitabschnitt zwischen Stadium 5 und 1 ist durchgehend mit kalten Durchschnittstemperaturen von  $0,3^{\circ}\text{C}$  charakterisiert. Die Salzgehalte zeigen eine Fluktuation von 0,17 ‰ mit Werten zwischen 33,79 ‰ und 33,96 ‰. Ihre Korrelation zur berechneten Temperatur ist gering ( $r = 0,32$ ). Es läßt sich im Vergleich zur Temperatur nur ein geringer Trend im Verlauf der Salzgehalte im Kern erkennen: Höhere Salzgehalte über dem heutigen Wert sind im Stadium 1 zu finden, während die übrigen Abschnitte vorwiegend geringe Salzgehalte unter dem heutigen Stand zeigen. Die Durchschnittswerte schwanken nur zwischen 33,85 ‰ und 33,88 ‰. Die errechneten Phosphatwerte zwischen 1,55 und  $1,77 \mu\text{mol/kg}$  sind mit der Paläotemperatur anti-korreliert ( $r = -0,87$ ). Diese Beziehung zur Temperatur zeigt sich auch, jedoch weniger ausgeprägt, in den heute gemessenen Daten der Oberflächenhydrographie ( $r = -0,75$ ).

Setzt man die Parafaktoren mit der Paläotemperatur in Beziehung, zeigt der Eisalgen-Faktor (F.1) eine sehr gute Korrelation ( $r = 0,90$ ). Dieser Parafaktor spiegelt die Temperaturänderungen am deutlichsten wider. Der Warmwasser-Faktor (F.3) weist ebenfalls eine gute Korrelation auf ( $r = 0,84$ ), während der Bezug vom *N. kerguelensis*-Faktor zur Temperatur schlechter ausgeprägt ist ( $r = 0,62$ ). Die Dominanz dieses Parafaktors wird demzufolge in geringerem Maße durch die Temperaturvariationen gesteuert. Die Beziehungen des errechneten Salzgehaltes zu den Parafaktoren weisen keine oder nur geringe Korrelationen zwischen  $r = 0$  und 0,64 auf. Der Phosphatgehalt zeigt lediglich zum Warmwasser-Faktor (F.3) eine Korrelation von  $r = 0,84$ . Dies drückt sich auch beim Vergleich mit heutigen Phosphatwerten und dem Warmwasser-Faktor des Oberflächendatensatzes aus (Kap. 6.3.2.). Die Beziehungen der beiden anderen Faktoren sind dagegen gering (F.2:  $r = 0,2$ , F.1:  $r = 0,6$ ).

Aufgrund der unterschiedlichen Signale der errechneten Parameter stellt sich die Frage, ob alle Daten sinnvoll interpretiert werden können. Durch die Beziehung zu den Parafaktoren zeigt sich eine Steuerung ihres Verlaufs im Kern durch Temperaturvariationen. Die Faktoren des Oberflächendatensatzes weisen ebenfalls die besten Korrelationen zur Temperatur des Oberflächenwassers auf (Kap. 6.3.2.) Demgegenüber erscheint die Interpretation der Salzgehaltsdaten weniger sinnvoll, da die Parafaktoren nur in geringem Maße an die Salzgehaltsänderungen gekoppelt sind. Ihre geringen Fluktuationen ermöglichen keine eindeutigen palökologischen Aussagen. Die Phosphatgehalte lassen sich ebenfalls nur schwierig interpretieren.



**Abb. 32:** Ergebnisse der Paläoumweltparameter aus der Transferfunktion für den Kern PS1768-8. Stratigraphie siehe Abb. 30.

Sie zeigen zwar teilweise einen Bezug zu den Parafaktoren, jedoch sind sie in hohem Maße zur Temperatur antikorreliert und stellen so keinen statistisch unabhängigen Parameter da. Andere Bearbeiter berücksichtigen diese Daten aufgrund der hohen Autokorrelation zur Temperatur nicht in den Transferfunktionen (N. K. KARPUZ, mdl. Mittl.).

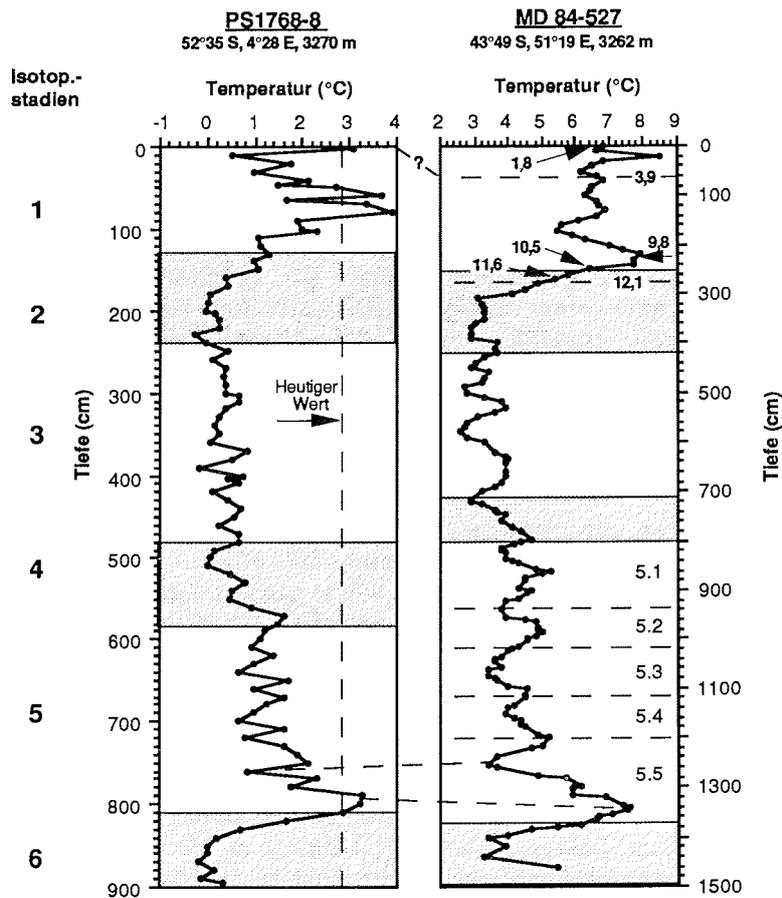
Heutige Sommertemperaturen an der Kernposition von  $2,9^{\circ}\text{C}$  weisen im Sedimentkern nur drei Zeitabschnitte auf: das Ende des vorletzten Klimaoptimums, der Anfang des letzten Klimaoptimums und der oberste Teil (in 2 cm Tiefe) des vom Kern erfaßten Abschnittes von Stadium 1. Sommertemperaturen zwischen  $3^{\circ}$  und  $4^{\circ}\text{C}$ , wie sie für die Klimaoptima errechnet wurden, kennzeichnen heute den Bereich der Polarfront bzw. der südlichen Polarfrontzone, etwa  $2^{\circ}$  bis  $3^{\circ}$  nördlich der Kernposition PS1768-8. Hier finden sich heute in den Oberflächensedimenten nur geringe Häufigkeiten von *Chaetoceros*-Sporen und Eisalgen, aber dominantes Vorkommen von *N.*

*kerguelensis*. Diese Situation entspricht in etwa auch den Kernzählraten dieser Arten (Abb. 30) in diesen warmen Zeitabschnitten.

Im Vergleich zu heutigen Verhältnissen könnte man glaziale Bedingungen mit Sommertemperaturen um 0°C, wie sie der berechnete Kern zeigt, mit den Schelfgebieten im Weddellmeer vergleichen. Diese Gebiete weisen hohe relative Häufigkeiten von *Chaetoceros*-Dauersporen und Eisalgen auf. Dies ist auch in den Glazialstadien im Kern zu sehen, allerdings mit geringerem Vorkommen der Eisalgen gegenüber heute. *N. kerguelensis* tritt in heutigen Schelfeisgebieten nur selten auf, in den Kaltzeiten stellt sie demgegenüber noch einen Anteil zwischen 25 und 40 % der Diatomeenvergesellschaftungen. Die Kernposition befindet sich im pelagischen Bereich und zeigt dementsprechende Vorkommen dieser offen-ozeanischen Art, deren Produktion in den Kaltzeiten vermutlich durch die niedrigen Temperaturen stark eingeschränkt war.

Zur Bewertung der errechneten Temperaturen erscheint ein Vergleich mit Rekonstruktionen aus der Literatur sinnvoll (Abb. 33). Hierzu wird der bereits für die Stratigraphie (Kap. 7.1.) verwendete Vergleichskern von PICHON et al. (1992b) aus der subantarktischen Zone bei 43°S, 51°E des Indischen Sektors herangezogen. Die Paläotemperaturkurve dieses Kerns enthält durch einen Gauß-Filter gemittelte Werte. Beim Vergleich der Kerne sind unterschiedliche Sedimentationsraten und verschiedene heutige Umweltbedingungen zu berücksichtigen. Der Vergleichskern stammt aus dem Indischen Sektor des Südpolarmeeres, der generell höhere Oberflächentemperaturen (1°-2°C) als Gebiete mit gleicher geographischer Breite aus dem Atlantischen Sektor aufweist (OLBERS et al. 1992). Der Top beider Kerne ist nicht vergleichbar, da in PS1768-8 die Sedimente der jüngsten 3000 bis 4000 Jahre fehlen (GERSONDE, mdl. Mittl.). Aufgrund benthischer Isotopendaten wurde die Termination I von PICHON et al. (1992b) im Gegensatz zur Standardisotopenkurve (MARTINSON et al. 1987) nicht bei 12 ka festgelegt. Sie entspricht der von BARD et al. (1990) ermittelten absoluten Altersmarke von 10,5 ka.

Beide Temperaturkurven zeigen im Vergleich ein etwa übereinstimmendes Muster: deutliche Temperaturanstiege in den Klimaoptima der Stadien 1 und 5.5, der Zeitraum zwischen diesen Temperaturhöchstständen weist ein einheitliches Signal mit generell kühlen Temperaturen auf (Abb. 33). Nach einer Kaltphase im Stadium 6 leitet ein steiler Kurvenanstieg an der Termination II zu einem Temperaturmaximum im vorletzten Klimaoptimum über. Kern PS1768-8 weist hier eine Temperatur von 3,3°C auf, der Vergleichskern 7,6°C. Diese Warmphase mit dem darauf folgenden Rückgang läßt sich gut in beiden Kernen parallelisieren. Im Zeitabschnitt zwischen diesem Klimaoptimum und dem letzten Glazial (Stadium 2) zeigen beide Temperaturkurven einen oszillierenden Verlauf. Die Fluktuationen bewegen sich zwischen 1°C und 1,5°C.



**Abb. 33:** Vergleich der Paläotemperaturen von PS1768-8 mit einem Vergleichskern aus dem Indischen Sektor des Antarktischen Ozeans (PICHON et al. 1992b). Die Temperaturkurve des Vergleichskerns enthält durch einen Gauß-Filter geglättete Werte. Für die Korrelation beider Kerne wurden die Stadiengrenzen aufgrund benthischer Isotopendaten nach PICHON et al. (1992b) übernommen. Absolute Zeitmarken (AMS  $^{14}\text{C}$ ) nach LABRACHERIE et al. (1989) und BARD et al. (1990).

Im Stadium 1 treten in beiden Kernen die höchsten Temperaturen auf:  $3,9^{\circ}\text{C}$  in PS1768-8 und ca.  $8^{\circ}\text{C}$  im Vergleichskern von PICHON et al. (1992b). Für ein derartiges Klimaoptimum im Antarktischen Ozean geben LABRACHERIE et al. (1989) und BARD et al. (1990) absolute Altersdaten zwischen 10 und 9 ka an. Im Anschluß daran ist das Stadium 1 durch mehrere aufeinanderfolgende Kalt- und Warmphasen charakterisiert (Abb. 33). Dieses Muster zeigt sich in anderen Kernen südlich der Polarfront im gesamten Holozän nach dem Klimaoptimum (GERSONDE & PÄTZOLD 1992, PICHON et al. 1992b). Der stärkste Temperaturabfall mit über  $2^{\circ}\text{C}$  erfolgt direkt nach dem Temperaturoptimum. PICHON et al. (1992b) beschreiben ähnliche Schwankungen

der Paläotemperaturen in diesem Zeitintervall, neben dem Vergleichskern in Abb. 33, aus dem Gebiet südlich der Polarfront im Indischen Sektor. Auch hier fällt der Temperaturwert nach dem Maximum um mehr als 2°C ab, auf den sich eine rasche, erneute Erwärmung um fast 2°C anschließt. Kalt- und Warmphasen werden in diesem Zeitabschnitt nach Paläotemperaturberechnungen aus Foraminiferengemeinschaften auch von LABRACHERIE et al. (1989) beschrieben.

Als Ergebnis des Vergleichs der Paläotemperaturen läßt sich festhalten, daß der Unterschied der Temperaturmaxima zwischen beiden Kernen in den Klimaoptima etwa 4°C beträgt. Vergleicht man die tiefsten Temperaturen beider Kerne in den drei Glazialstadien, ergibt sich eine Differenz um jeweils ca. 3°C. Die Temperaturamplituden vom Glazial zu den Warmzeiten weisen in beiden Rekonstruktionen einen Wert um etwa 4°C auf.

Das Muster der Paläotemperaturen von HAYS et al. (1976) fügt sich in das gleiche, oben beschriebene Bild: in den beiden Klimaoptima treten die Temperaturhöchstwerte auf, der Zeitabschnitt dazwischen zeigt ebenfalls einen oszillierenden Kurvenverlauf der berechneten Sommertemperatur. Diese, an Radiolarienvergesellschaftungen ermittelte Temperaturrekonstruktion an einem subantarktischen Kern des Indischen Sektors, weist im Gegensatz zu den oben beschriebenen Kernen einen Temperaturhub zwischen Glazial/Interglazial von 5°-6°C auf.

## 8. AUSBLICK UND SCHLUßFOLGERUNG

Wie der Vergleich mit Rekonstruktionen aus der Literatur zeigt, ergeben die Berechnungen der Paläotemperaturen in der vorliegenden Arbeit sinnvoll interpretierbare Daten. Die am Sedimentkern aus der antarktischen Zone gewonnenen Informationen lassen sich gut mit Kernen aus dem wärmeren, subantarktischen Bereich vergleichen. Dabei zeigt sich, daß diese weit auseinander liegenden Gebiete mit verschiedenen Oberflächenwassertemperaturen etwa übereinstimmende Temperaturamplituden zwischen Kalt- und Warmzeiten aufweisen.

Die quantitativen Paläoumweltdaten können in Modellrechnungen zur Rekonstruktion ozeanographischer Verhältnisse einfließen. Für zukünftige Modellierungen der Strömungsverhältnisse im Südatlantik und für paläozeanographische Rekonstruktionen an Zeitscheiben (z.B. Letztes Glaziales Maximum), liefert die in der vorliegenden Arbeit angewendete Transferfunktionsmethode an Diatomeenassoziationen wichtige quantitative Daten.

Bestehende Probleme bei der Anwendung dieser Methode auf Diatomeenvergesellschaftungen zeigen sich in erster Linie in der Verzerrung des Signals durch die Dominanz weniger Arten. Für den Aufbau eines Referenzdatensatzes ist es daher erforderlich, die schrittweise Reduzierung des Rohdatensatzes und die Wichtung der Daten innerhalb des Klassifizierungssystem klar zu definieren, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten (s.a. SANCETTA 1979a). Das Ziel zukünftiger Untersuchungen wird die flächenmäßige Erweiterung des Oberflächenprobennetzes sein, um die gesamten Umweltbedingungen des Südatlantiks im Referenzdatensatz zu erfassen. Hierzu liegt bereits Probenmaterial der POLARSTERN-Expedition ANT X/5 aus dem Scotiameer vor. Damit wäre ein umfassendes Oberflächenmodell vorhanden, das alle Bereiche unterschiedlicher Umweltbedingungen einschließt.

Für weitere Paläotemperaturrekonstruktionen wäre es vorteilhaft, den hier entwickelten Referenzdatensatz aus dem Atlantischen Sektor mit denen angrenzender Gebiete zusammenzufassen, um einen möglichst großen Teil des Antarktischen Ozeans abzudecken. Dazu ist ein einheitliches taxonomisches Vorgehen erforderlich, um einen konsistenten Datensatz zu erstellen.

Wie die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, weist die Gruppe der *Chaetoceros*-Dauersporen ein deutliches Signal in quartären Sedimentkernen auf, das jedoch noch nicht befriedigend interpretiert werden kann. Für zukünftige Untersuchungen wird es notwendig sein, diese Gruppe zu trennen und die einzelnen Arten separat zu erfassen, um ihr Signal in den Glazialzeiten in Verbindung mit der Meereisverbreitung verstehen zu können.

## 9. LITERATUR

- ABBOTT, W.H. (1974): Temporal and spatial distribution of Pleistocene diatoms from the Southeast Indian Ocean. - *Nova Hedwigia*, **25** (1,2), 291 - 348.
- ABELMANN, A. & GERSONDE, R. (1988): *Cycladophora davisiana* stratigraphy in Plio-Pleistocene cores from the Antarctic Ocean (Atlantic sector). - *Micropaleontology*, **34**, No. 3, 268 - 276.
- ABELMANN, A. & GERSONDE, R. (1991): Biosiliceous particle flux in the Southern Ocean. - *Mar. Chem.*, **35**, 503 - 536.
- ACKLEY, S.F. (1981): A review of sea-ice weather relationships in the Southern Hemisphere. - In: *Sea Level, ice and climate change, Proceed. of the Canberra Symp.*, 1979, IAHS Publ. No. **131**, 127 - 159.
- AKIBA, F. & YANAGISAWA, Y. (1985): Taxonomy, morphostructure and phylogeny of the Neogene diatom zonal marker species in the middle-to-high latitudes of the North Pacific. - In: H. KAMAGI, D.E. KARIG, W.C. COULBOURN, et al. (eds.), *Initial Rep. Deep Sea Drilling Project*, **87**, 483 - 554.
- ALLANSON, B.R., HART, R.C. & LUTJEHARMS, J.R.E. (1981): Observations on the nutrients, chlorophyll and primary production of the Southern Ocean south of Africa. - *S. Afr. J. Antarct. Res.*, **10/11**, 3 - 14.
- AMOS, A.F. (1987): Physical oceanography of the western Bransfield Strait. - *Antarct. J.U.S.*, **22**, 137 - 140.
- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W., SCHUCHARD-FICHER, C. & WEIBER, R. (1989): *Multivariate Analysemethoden*. - Springer-Verl., Berlin, Heidelberg, 5. Aufl., 418 S.
- BARD, E., LABEYRIE, L.D., PICHON, J.-J., LABRACHERIE, M., ARNOLD, M., DUPRAT, J., MOYES, J. & DUPLESSY, J.-C. (1990): The last deglaciation in the Southern and Northern Hemispheres: A comparison based on oxygen isotope, sea surface temperature estimates, and accelerator  $^{14}\text{C}$  dating from deep-sea sediments. - In: U. BLEIL & J. THIEDE (eds.): *Geological history of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic*. NATO ASI Series C, **308**, Kluwer Academic Publ., 405 - 415.
- BAREILLE, G., LABRACHERIE, M., LABEYRIE, L., PICHON, J.-J. & TURON, J.-L. (1991): Biogenic silica accumulation rate during the Holocene in the southeastern Indian Ocean. - *Mar. Chem.*, **35**, 537 - 551.
- BARNETT, P.R.O., WATSON, J. & CONNELLY, D. (1984): A multiple corer for taking virtually undisturbed samples from shelf, bathyal and abyssal sediments. - *Oceanol. Acta*, **7**, No. 4, 399 - 408.
- BARTSCH, A. (1989): Die Eisalgenflora des Weddellmeeres (Antarktis): Artenzusammensetzung und Biomasse sowie Ökophysiologie ausgewählter Arten. - *Ber. Polarforsch.*, **63**, 110 S.
- BATTARBEE, R.W. (1973): A new method for the estimation of absolute microfossil numbers, with reference especially to diatoms. - *Limnol. Oceanogr.*, **18**, No. 4, 647 - 653.

- BERGER, W.H. (1976): Biogenous deep sea sediments: production, preservation and interpretation. - In: J.P. RILEY & R. CHESTER (eds.): Chemical oceanography, Vol. 5, Academic Press, London, New York, San Francisco, 265 - 388.
- BILLET, D.S.M., LAMPITT, R.S., RICE, A.L. & MANTOURA, R.F.C. (1983): Seasonal sedimentation of phytoplankton to the deep-sea benthos. - *Nature*, **302**, 520 - 522.
- BISCAYE, P.E. & EITREIM, S.L. (1977): Suspended particulate loads and transports in the nepheloid layer of the abyssal Atlantic Ocean. - *Mar. Geol.*, **23**, 155 - 172.
- BODÉN, P. (1991): Reproducibility in the random settling method for quantitative diatom analysis. - *Micropaleontology*, **37**, No. 3, 313 - 319.
- BOHRMANN, G. (1988): Zur Sedimentationsgeschichte von biogenem Opal im nördlichen Nordatlantik und dem Europäischen Nordmeer (DSDP/ODP-Bohrungen 408, 642, 643, 644, 646 und 647). - *Ber. SFB 313*, **9**, Univers. Kiel, 221 S.
- BOOTH, B.C., LEWIN, J. & NORRIS, R.E. (1980): Siliceous Nanoplankton I. Newly discovered Cysts from the Gulf of Alaska. - *Mar. Biol.*, **58**, 205 - 209.
- BOOTH, B.C. & MARCHANT, H.J. (1987): *Parmales*, a new order of marine Chrysophytes, with descriptions of three new genera and seven new species. - *J. Phycol.*, **23**, 245 - 260.
- BURCKLE, L.H. (1972): Diatom evidence bearing on the Holocene in the South Atlantic. - *Quat. Res.*, **2**, 323 - 326.
- BURCKLE, L.H. (1984a): Diatom distribution and paleoceanographic reconstruction in the Southern Ocean - Present and Last Glacial Maximum. - *Mar. Micropaleontol.*, **9**, 241 - 261.
- BURCKLE, L.H. (1984b): Ecology and paleoecology of the marine diatom *Eucampia antarctica* (CASTR.) MANGIN. - *Mar. Micropaleontol.*, **9**, 77 - 86.
- BURCKLE, L.H., CLARKE, D.B. & SHACKLETON, N.J. (1978): Isochronous last-abundant-appearance datum (LAAD) of the diatom *Hemidiscus karstenii* in the sub-Antarctic. - *Geology*, **6**, 243 - 426.
- BURCKLE, L.H. & COOKE, D.W. (1983): Late Pleistocene *Eucampia antarctica* abundance stratigraphy in the Atlantic Sector of the Southern Ocean. - *Micropaleontology*, **29**, No. 1, 6 - 10.
- BURCKLE, L.H., JACOBS, S.S. & MC LAUGHLIN, R.B. (1987): Late austral spring diatom distribution between New Zealand and the Ross Ice Shelf, Antarctica: Hydrographic and sediment correlations. - *Micropaleontology*, **33**, No. 1, 74 - 81.
- CALVERT, S.E. (1968): Silica Balance in the Ocean and Diagenesis. - *Nature*, **219**, 919 - 920.
- CARMACK, E.C. & FOSTER, T.D. (1977): Water masses and circulation in the Weddell Sea. - In: M.J. DUNBAR (ed.): Polar Oceans. - Proc. of the Polar Oceans Conf., Montreal, 1974, 151 - 165.
- CIESIELSKI, P.F. (1975): Biostratigraphy and paleoecology of Neogene and Oligocene silicoflagellates from cores recovered during Antarctic Leg 28, Deep Sea Drilling Project. - Initial Rep. Deep Sea Drilling Project, **28**, 625 - 691.
- CIESIELSKI, P.F. & WEAVER, F.M. (1983): Neogene and Quaternary paleoenvironmental history of Deep Sea Drilling Project Leg 71 sediments, Southwest Atlantic Ocean. - Initial Rep. Deep Sea Drilling Project, **71** (1), 461 - 477.

- COMISO, J.C. & GORDON, A.L. (1987): Recurring Polynyas over the Cosmonaut Sea and the Maud Rise. - J. Geophys. Res., **92**, No. C3, 2819 - 2833.
- COOKE-POFERL, K., BURCKLE, L.H. & RILEY, S. (1975): Diatom evidence bearing on Late Pleistocene climatic changes in the Equatorial Pacific. - Geol. Soc. Am. Abstr. Programs, **7**, 1038 - 1039.
- CORDES, D. (1990): Sedimentologie und Paläomagnetik an Sedimenten der Maudkuppe (Nördliches Weddellmeer). - Ber. Polarforsch., **71**, 158 S.
- DEACON, G.E.R. (1979): The Weddell gyre. - Deep Sea Res., **26A**, 981 - 995.
- DEFELICE, D.R. & WISE, S.W.JR. (1981): Surface lithofacies, biofacies, and diatom diversity patterns as models for delineation of climatic change in the Southeast Atlantic Ocean. - Mar. Micropaleontol., **6**, 29 - 70.
- DEMASTER, D.J. (1981): The supply and accumulation of silica in the marine environment. - Geochim. Cosmochim. Acta, **45**, 1715 - 1732.
- DIETRICH, G., KALLE, K., KRAUSS, W. & SIEDLER, S. (1975): Allgemeine Meereskunde. - Verl. Borntraeger, Berlin, 593 S.
- DROOGER, M. M. (1978): Statistics. - In: W.J. ZACHARIASSE et al. (eds.): Micropaleontological counting methods and techniques - an exercise on an eight metres section of the lower Pliocene of Capo Rossello, Sicily. - Utrecht Micropal. Bull., **17**, 19 - 46.
- EICKEN, H. (1992): The role of sea ice in structuring Antarctic ecosystems. - Polar Biol., **12**, 3 - 13.
- EL-SAYED, S. Z. & TAGUCHI, S. (1981): Primary production and standing crop of phytoplankton along the ice-edge in the Weddell Sea. - Deep Sea Res., **28A**, No. 9, 1017 - 1032.
- FENNER, J., SCHRADER, H.-J., & WIENIGK, H. (1976): Diatom Phytoplankton studies in the Southern Pacific Ocean, composition and correlation to the Antarctic Convergence and its paleoecological significance. - In: C.D. HOLLISTER et al. (eds.): Initial Rep. Deep Sea Drilling Project, **35**, 757 - 813.
- FIALA, M. & ORIOL, L. (1990): Light-Temperature Interactions on the Growth of Antarctic Diatoms. - Polar Biol., **10**, 629 - 636.
- FISCHER, G., FÜTTERER, D., GERSONDE, R., HONJO, S., OSTERMANN, D. & WEFER, G. (1988): Seasonal variability of particle flux in the Weddell Sea and its relation to ice cover. - Nature, **335**, 426 - 428.
- FOWLER, S.W. & SMALL, L.F. (1972): Sinking rates of Euphausiid fecal pellets. - Limnol. Oceanogr., **17**, 293 - 296.
- FRENGUELLI, J. (1949): Diatomeas fósiles de los yacimientos chilenos de Tiltil y Mejillones. - Darwinia, **9**, No. 1, 97 - 157.
- FRENGUELLI, J. & ORLANDO, H.A. (1958): Diatomeas y Silicoflagelados del Sector Antartico Sudamericano. - Instit. Antart. Argentino, Buenos Aires, **5**, 191 S.
- FRYXELL, G.A. (1991): Comparison of winter and summer growth stages of the diatom *Eucampia antarctica* from the Kerguelen Plateau and south of the Antarctic Convergence Zone. - In: J. BARREN & B. LARSEN (eds.): Proc. Ocean Drilling Prog., **119**, 675 - 685.

- FRYXELL, G.A. & HASLE, G.R. (1979): The Genus *Thalassiosira*: *T. trifulta* sp. nova and other species with tricolunar supports on strutted processes. - Nova Hedwigia, Beih., **64**, 13 - 40.
- FRYXELL, G.A., SIMS, P.A. & WATKINS, T.P. (1986a): *Azpeitia* (Bacillariophyceae): Related Genera and Promorphology. - Systematic Botany Monographs, **13**, 1 - 74.
- FRYXELL, G.A., HASLE G.R. & CARTY, S.V. (1986b): *Thalassiosira tumida* (Janisch) Hasle: Observations from Field and Clonal Cultures. - In: M. RICARD (ed.): Proceedings 8th International Diatom Symposium, Paris 1984, Koeltz, Königstein, 11 - 21.
- FRYXELL, G.A. & ASHWORTH, T.K. (1988): The diatom genus *Coscinodiscus* EHRENBERG: Characters having taxonomic value. - Botanica Mar., **31**, 359 - 374.
- FÜTTERER, D.K. & MELLES, M. (1990): Sediment patterns in the Southern Weddell Sea: Filchner Shelf and Filchner Depression. - In: U. BLEIL & J. THIEDE (eds.): Geological history of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic. NATO ASI Series C, **308**, Kluwer Academic Publ., 381 - 401.
- GEBCO (1983): General bathymetric chart of the Oceans (GEBCO), 5.18, 5.16, 5.12, Pol. Ster. Proj. - Can. Hydr. Service, Ottawa, Canada.
- GEMEINHARDT, K. (1930): Silicoflagellatae. - In: DR. L. RABENHORST'S Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz, Bd. **10**, Flagellatae, 2. Auflage, Leipzig, 1 - 87.
- GERSONDE, R. (1980): Paläoökologische und biostratigraphische Auswertung von Diatomeenassoziationen aus dem Messinium des Caltanissetta-Beckens (Sizilien) und einiger Vergleichsprofile in SO-Spanien, NW-Algerien und auf Kreta. - Dissertation, Univ. Kiel, 393 S.
- GERSONDE, R. (1986): Siliceous microorganisms in sea ice and their record in sediments of the southern Weddell Sea (Antarctica). - In: M. RICARD (ed.): Proceedings 8th International Diatom Symposium, Paris 1984, Koeltz, Königstein, 549 - 566.
- GERSONDE, R. (1989): Partikelfluß kieseliger Mikroorganismen im Antarktischen Ozean. - In: W.H. BERGER & G. WEFER (eds.): Partikelfluß und Kohlenstoffkreislauf im Ozean - Bericht und Kurzfassungen über den Workshop vom 3.-4. Juli 1989 in Bremen. - Ber. Fachber. Geowissensch., Univ. Bremen, **6**, 28 - 33.
- GERSONDE, R. (1990): Taxonomy and morphostructure of Neogene diatoms from the Southern Ocean, ODP Leg 113. - In: P.F. BARKER, J.P. KENNETT, et al. (eds.): Proc. ODP, Sci. Results, **113**, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 791 - 802.
- GERSONDE, R. & WEFER, G. (1987): Sedimentation of Biogenic Siliceous Particles in Antarctic Waters from the Atlantic Sector. - Mar. Micropaleontol., **11**, 311 - 332.
- GERSONDE, R. & BURCKLE, L.H. (1990): Neogene diatom biostratigraphy of ODP Leg 113, Weddell Sea (Antarctic Ocean). - In: P.F. BARKER, J.P. KENNETT, et al. (eds.): Proc. ODP, Sci. Results, **113**, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 761 - 789.
- GERSONDE, R., ABELMANN, A., BURCKLE, L.H., HAMILTON, N., LAZARUS, D., McCARTNEY, K., O'BRIEN, P., SPIEB, V. & WISE, JR., S.W. (1990): Biostratigraphic synthesis of Neogene siliceous microfossils from the Antarctic Ocean, ODP Leg 113 (Weddell Sea). - In: P.F. BARKER, J.P. KENNETT, et al. (eds.): Proc. ODP, Sci. Results, **113**, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 915 - 936..

- GERSONDE, R. & PÄTZOLD, J. (1992): Bericht über Teilprojekt B1: Paläotemperaturverteilung des Oberflächenwassers. - In: SFB 261: Der Südatlantik im Spätquartär: Rekonstruktion von Stoffhaushalt und Stromsystemen. Arbeits- und Ergebnisbericht 1989-1992, Univers. Bremen, 209 - 270.
- GORDON, A.L. & NOWLIN, W.D.JR. (1978): The basin waters of the Bransfield Strait. - J. Phys. Oceanogr., **8**, 258 - 264.
- GORDON, A.L., MARTINSON, D.G. & TAYLOR, H.W. (1981): The wind-driven circulation in the Weddell-Enderby Basin. - Deep Sea Res., **28A**, 151 - 163.
- GORDON, A.L. & HUBER, B.A. (1984): Thermohaline stratification below the Southern Ocean sea ice. - J. Geophys. Res., **89**, No. C1, 641 - 648.
- GORDON, A.L. & MOLINELLI, E.J. (1986): Southern Ocean Atlas. - Published for the International Decade of Ocean Exploration, National Science Foundation, Washington, D.C., by Amerind Publ. Co. Pvt. Ltd., New Delhi.
- GORDON, A.L. & COMISO, J.C. (1988): Polynjas im Südpolarmeer. - Spektrum Wiss., **8**, 92 - 99.
- GRAN, H.H. (1904): Die Diatomeen der arktischen Meere. Diatomeen des Planktons. - Fauna Arctica, **3**, 511 - 54.
- GRAN, H.H. (1905): Diatomeen. - Nordisches Plankton, Botanischer Teil, **XIX**, 1 - 146.
- GROBE, H., GERSONDE, R., HUBBERTEN, H.-W., MICHEL, A. & SCHÄFER H. (1990): Detailbeprobung eines Eisbergumfeldes. - In: R. GERSONDE & G. HEMPEL (eds.): Die Expeditionen Antarktis-VIII/3 und VIII/4 mit FS "Polarstern" 1989. Ber. Polarforsch., **74**, 45 - 49.
- HALLEGRAEFF, G.M. (1986): Taxonomy and morphology of the marine plankton diatoms *Thalassionema* and *Thalassiothrix*. - Diatom Res., **1**, (1), 57 - 80.
- HARGRAVES, P.E. (1968): Species composition and distribution of net plankton diatoms in the Pacific Sector of the Antarctic Ocean. - Ph.D. Thesis, Columbia Univers., 170 S.
- HARGRAVES, P.E. (1986): The relationship of some fossil diatom genera to resting spores. - In: M. RICARD (ed.): Proceedings 8th International Diatom Symposium, Paris 1984, Koeltz, Königstein, 67 - 80.
- HARGRAVES, P.E. & FRENCH, F. (1975): Observations on the Survival of Diatom Resting Spores. - Nova Hedwigia Beih., **53**, 229 - 239.
- HARGRAVES, P.E. & FRENCH, F. (1983): Diatom resting spores: significance and strategies. - In: G.A. FRYXELL (ed.): Survival strategies of the algae. Cambridge Univers. Press, 49 - 68.
- HASLE, G.R. (1960): Phytoplankton and Ciliate species from the Tropical Pacific. - Skr. Norske Vidensk.-Akad. Oslo, Mat.-Nat. Kl., **2**, 1 - 50.
- HASLE, G.R. (1964): Nitzschia and Fragilariopsis species studied in the light and electron microscopes. I. Some marine species of the groups Nitzschiella and Lanceolatae. - Skr. Norske Vidensk.-Akad. Oslo, Mat.-Nat. Kl., **16**, 1 - 48.
- HASLE, G.R. (1965a): Nitzschia and Fragilariopsis species studied in the light and electron microscopes. II. The Group Pseudonitzschia. - Skr. Norske Vidensk.-Akad. Oslo, Mat.-Nat. Kl., **18**, 1 - 45.

- HASLE, G.R. (1965b): *Nitzschia* and *Fragilariopsis* species studied in the light and electron microscopes. III. The Genus *Fragilariopsis*. - Skr. Norske Vidensk.-Akad. Oslo, Mat.-Nat. Kl., **21**, 1 - 49.
- HASLE, G.R. (1972): *Fragilariopsis* HUSTEDT as a Section of the Genus *Nitzschia* HASSALL. - Nova Hedwigia, Beih., **39**, 111 - 119.
- HASLE, G.R. (1973): Some marine plankton genera of the diatom family *Thalassiosiraceae*. - Nova Hedwigia, Beih., **45**, 1 - 49.
- HASLE, G.R. (1976): The biogeography of some marine planktonic diatoms. - Deep Sea Res., **23**, 319 - 338.
- HASLE, G.R. & MENDIOLA, DE R.E. (1967): The fine structure of some *Thalassionema* and *Thalassiothrix* Species. - Phycologia, **6**, (2/3), 107 - 125.
- HASLE, G.R. & SIMS, P.A. (1986): The diatom genera *Stellarima* and *Symbolophora* including comments on the genus *Actinoptychus*. - Brit. Phycol. J., **21**, 97 - 114.
- HASLE, G.R. & SEMINA, H.J. (1987): The marine planktonic diatoms *Thalassiothrix longissima* and *Thalassiothrix antarctica* with comments on *Thalassionema* spp. and *Synedra reinboldii*. - Diatom Res., **2**, (2), 175 - 192.
- HASLE, G.R., SIMS, P.A. & SYVERTSEN, E.E. (1988): Two recent *Stellarima* Species: *S. microtrias* and *S. stellaris* (Bacillariophyceae). - Botanica Mar., **31**, 195 - 206.
- HAYS, J.D., IMBRIE, J. & SHACKLETON, N.J. (1976): Variations in the Earth's orbit: Pacemaker of the Ice Ages. - Science, **194**, 1121 - 1132.
- HEIDEN, H. & KOLBE, R.W. (1928): Die marinen Diatomeen der deutschen Südpolar-Expedition 1901 - 1903. - In: E. DRYGALSKI (ed.): Deutsche Südpolar-Expedition 1901 - 1903, Bd. 8, Botanik, Berlin, Leipzig, 450 - 715.
- HELLMER, H.H., BERSCH, M., AUGSTEIN, E. & GRABEMANN, I. (1985): The Southern Ocean: A survey of oceanographic and marine meteorological research work. - Ber. Polarforsch., **26**, 115 S.
- HENDEY, N.J. (1937): The plankton diatoms of Southern Seas. - Discovery Rep., **16**, 151 - 364.
- HOBAN, M.A., FRYXELL, G.A. & BUCK, K.R. (1980): Biddulphioid diatoms: Resting spores in Antarctic *Eucampia* and *Odontella*. - J. Phycol., **16**, 591 - 602.
- HUSTEDT, F. (1930-1966): Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. - In: L. RABENHORST'S Kryptogamen-Flora, Bd. 7, Die Kieselalgen, 1. Teil: 920 S. (1930), 2. Teil: 845 S. (1959), 3. Teil: 816 S. (1961-1966).
- HUSTEDT, F. (1958): Diatomeen aus der Antarktis und dem Südatlantik. - Dtsch. Antarkt. Exped. 1938/39, **2**, 103 - 191.
- HUTSON, W.H. (1977): Transfer functions under No-Analog-Conditions: Experiments with Indian Ocean planktonic foraminifera. - Quat. Res., **8**, 355 - 367.
- IMBRIE, J. & KIPP, N.G. (1971): A new micropaleontological method for Quantitative Paleoclimatology: Application to a late Pleistocene Caribbean Core. - In: K.K. TUREKIAN (ed.): The Late Cenozoic Glacial Ages. Yale Univ. Press, 71 - 181.
- JACQUES, G. (1983): Some Ecophysiological Aspects of the Antarctic Phytoplankton. - Polar Biol., **2**, 27 - 33.

- JANSEN, J.H.F. & VAN IPEREN, J.M. (1991): A 220.000-Year climatic record for the East Equatorial Atlantic Ocean and Equatorial Africa: Evidence from diatoms and opal phytoliths in the Zaire (Congo) Deep-Sea Fan. - *Paleoceanography*, **6**, No. 5, 573 - 591.
- JÖRESKOG, K.G., KLOVAN, J.E. & REYMENT, R.A. (1976): Geological Factor Analysis. - Elsevier Scientific Publ. Comp., Amsterdam, Oxford, New York, 178 S.
- JOHANSEN, J.R. & FRYXELL, G.A. (1985): The genus *Thalassiosira* (Bacillariophyceae): studies on species occurring south of the Antarctic Convergence Zone. - *Phycologia*, **24**, (2), 155 - 179.
- JOHNSON, T.O. & SMITH, W.O. (1985): Sinking rates of natural phytoplankton populations of the western Weddell Sea. - *Antarct. J.U.S.*, **20**, 139 - 140.
- JONES, G.A. & JOHNSON, D.A. (1984): Displaced Antarctic diatoms in Vema Channel sediments: Late Pleistocene/Holocene fluctuations in AABW flow. - *Mar. Geol.*, **58**, 165 - 186.
- JORDAN, R.W., LIGOWSKI, R., NÖTHIG, E.-M. & PRIDDLE, J. (1991): The diatom genus *Proboscia* in Antarctic waters. - *Diatom Res.*, **6**, (1), 63 - 78.
- KARPUZ, K.N. & SCHRADER, H. (1990): Surface sediment diatom distribution and Holocene paleotemperature variations in the Greenland, Iceland and Norwegian Sea. - *Paleoceanography*, **5**, No.4, 557 - 580.
- KARPUZ, K.N. & JANSEN, E. (1992): A high-resolution diatom record of the last deglaciation from the SE Norwegian Sea: Documentation of rapid climatic changes. - *Paleoceanography*, **7**, No. 4, 499 - 520.
- KARSTEN, G. (1905): Das Phytoplankton des Antarktischen Meeres. - In: *Wissensch. Ergebn. d. Deutschen Tiefsee-Exped. auf dem Dampfer Valdivia, 1898-1899*, Fischer Verlag, Jena, 1 - 136.
- KIPP, N.G. (1976): New transfer function for estimating past sea-surface-conditions from sea-bed distribution of planktonic foraminiferal assemblages in North Atlantic. - In: R.M. CLINE & J.D. HAYS (eds.): *Investigation of late Quaternary paleoceanography and paleoclimatology*, Geol. Soc. of Amer., Mem., **145**, 3 - 41.
- KLOVAN, J.E. & IMBRIE, J. (1971): An Algorithm and FORTRAN-IV Program for Large-Scale Q-Mode Factor Analysis and Calculation of Factor Scores. - *Mathem. Geol.*, **3**, No. 1, 61 - 77.
- KOTTMEIER, CHR. & FAHRBACH, E. (1989): Wechselwirkung zwischen Wasser, Eis und Luft in der antarktischen Küstenzone. - *Promet*, **19**, (1,2), 15 - 22.
- KOZLOVA, O.G. (1964): Diatoms of the Indian and Pacific Sectors of the Antarctic. - Published for the National Science Foundation, Washington D.C. by the Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, (1966), 191 S.
- KUHN, G. (1986): Erprobung des AWI-Kolbenlotes (ø 84 mm) und Vergleich mit anderen Kernverfahren. - In: R. GERSONDE (ed.): *Die Expedition Arktis III mit FS "Polarstern" 1985*. Ber. Polarforsch., **28**, 70 - 74.
- KUHN, G. (1990): Sedimentologische Arbeiten im Weddellmeer. - In: H. MILLER & H. OERTER (eds.): *Die Expedition ANTARKTIS-V mit FS "Polarstern" 1986/87*. Bericht von den Fahrtabschnitten ANT-V/4-5. Ber. Polarforsch., **57**, 18 - 22.

- LABEYRIE, L.D., PICHON, J.J., LABRACHERIE, M., IPPOLITO, P., DUPRAT, J. & DUPLESSY, J.C. (1986): Melting history of Antarctica during the past 60.000 years. - *Nature*, **322**, 701 - 706.
- LABEYRIE, L.D., DUPLESSY, J.C. & BLANC, P.L. (1987): Variations in mode of formation and temperature of oceanic deep waters over the past 125.000 years. - *Nature*, **327**, 477 - 482.
- LABRACHERIE, M., LABEYRIE, L.D., DUPRAT, J., BARD, E., ARNOLD, M., PICHON, J.-J. & DUPLESSY, J.-C. (1989): The last deglaciation in the Southern Ocean. - *Paleoceanography*, **4**, No. 6, 629 - 638.
- LAWS, R.A. (1983): Preparing strewn slides for quantitative microscopical analysis: A test using calibrated microspheres. - *Micropaleontology*, **29**, No. 1, 60 - 65.
- LEVENTER, A. (1991): Sediment trap diatom assemblages from the northern Antarctic Peninsula region. - *Deep Sea Res.*, **38**, No. 8/9, 1127 - 1143.
- LEVENTER, A. (1992): Modern distribution of diatoms in sediments from the George V Coast, Antarctica. - *Mar. Micropaleontol.*, **19**, 315 - 332.
- LEVENTER, A. & DUNBAR, R.B. (1988): Recent Diatom record of McMurdo Sound, Antarctica: Implications for history of sea ice extent. - *Paleoceanography*, **3**, No. 3, 259 - 274.
- LIEN, R., SOLHEIM, A., ELVERHØI, A. & ROKOENGEN, K. (1989): Iceberg scouring and sea bed morphology on the eastern Weddell Sea shelf, Antarctica. - *Polar Res.*, **7**, 43-57.
- LISITZIN, A.P. (1971): Distribution of siliceous microfossils in suspension and in bottom sediments. - In: B.M. FUNNEL & W.R. RIEDEL (eds.): *The Micropalaeontology of Oceans*. Cambridge Univer. Press, London, 173 - 195.
- LUTJEHARMS, J.R.E. (1985): Location of frontal systems between Africa and Antarctica: some preliminary results. - *Deep Sea Res.*, **32**, No. 12, 1499 - 1509.
- LUTJEHARMS, J.R.E. & VALENTINE, H.R. (1984): Southern Ocean thermal fronts south of Africa. - *Deep Sea Res.*, **31**, No. 12, 1461 - 1475.
- LUTJEHARMS, J.R.E., WALTERS, N.M. & ALLANSON, B.R. (1985): Oceanic frontal systems and biological enhancement. - In: W.R. SIEGFRIED, P.R. CONDY & R.M. LAWS (eds.): *Antarctic nutrient cycles and food webs*, Springer-Verlag, 11 - 21.
- MACKENSEN, A., VAN ENST, J.W.A., LENSCH, N. & BLOME, D. (1988): Sediment-probenahme. - In: D.K. FÜTTERER (ed.): *Die Expedition Antarktis-VI mit FS "Polarstern" 1987/1988*. Ber. Polarforsch., **58**, 53 - 54.
- MAKAROVA, I.V. & NIKOLAEV, V.A. (1983): Notes on the genus *Schimperiella* (Bacillariophyta). - *Botanicheskii Zhurnal SSSR*, **69**, 87 - 90 (in Russian).
- MALMGREN, B.A. & HAQ, B.U. (1982): Assessment of quantitative techniques in paleobiogeography. - *Mar. Micropaleontol.*, **7**, 213 - 236.
- MANGUIN, E. (1954): Diatomées marines provenant de l'île Heard (Australian National Antarctic Research Expedition). - *Revue Algologique*, **1**, 13 - 24.
- MANGUIN, E. (1957): Premier inventaire des Diatomées de la Terre Adélie Antarctique Espèces nouvelles. - *Revue Algologique*, **3**, 111 - 134.
- MARCHANT, H.J. & MC.ELDOWNEY, A. (1986): Nanoplanktonic siliceous cysts from Antarctica are algae. - *Mar. Biol.*, **92**, 53 - 57.

- MARTINSON, D.G., PISIAS, N.G., HAYS, J.D., IMBRIE, J., MOORE, JR., T.C. & SHACKLETON, N.J. (1987): Age Dating and the Orbital Theory of the Ice Ages: Development of a High-Resolution 0 to 300,000-Year Chronostratigraphy. - *Quat. Res.*, **27**, 1 - 29.
- MAYNARD, N.G. (1976): Relationship between diatoms in surface sediments of the Atlantic Ocean and the biological and physical oceanography of overlying waters. - *Paleobiology*, **2**, 99 - 121.
- MEDLIN, L.K. & ROUND, F.E. (1986): Taxonomic studies of marine Gomphonemoid diatoms. - *Diatom Res.*, **1**,(2), 205 - 225.
- MEDLIN, L.K. & PRIDDLE, J. (1990): Polar Marine Diatoms. - *Brit. Antarct. Survey, Nat. Environm. Res. Council*, Cambridge, 214 S.
- MELLES, M. (1991): Paläoglazilogie und Paläozeanographie im Spätquartär am Kontinentalrand des südlichen Weddellmeeres, Antarktis. - *Ber. Polarforsch.*, **81**, 190 S.
- MEUNIER, A. (1910): Microplancton des Mers de Barents et de Kara. - *Duc d'Orléans, Campagne Artique de 1907*, 355 S.
- MITCHELL, J.G. & SILVER, M.W. (1982): Modern archaeomonads indicate sea-ice environments. - *Nature*, **296**, 437 - 439.
- MOLFINO, B., KIPP, N.G. & MORLEY, J.J. (1982): Comparison of Foraminiferal, Coccolithophorid, and Radiolarian Paleotemperature Equations: Assemblage Coherency and Estimate Concordancy. - *Quat. Res.*, **17**, 279 - 313.
- MOORE, T.C., (1973): Method of randomly distributing grains for microscopic examination. - *J. of Sed. Petr.*, **43**, No. 3, 904 - 906.
- MORLEY, J.J. (1979): A transfer function for estimating paleoceanographic conditions based on deep-sea surface sediment distribution of radiolarian assemblages in the South Atlantic. - *Quat. Res.*, **12**, 381 - 395.
- MORTLOCK, R.A., CHARLES, C.D., FROELICH, P.N., ZIBELLO, M.A., SALTZMAN, J., HAYS, J.D. & BURCKLE, L.H. (1991): Evidence for lower productivity in the Antarctic Ocean during the last glaciation. - *Nature*, **351**, 220 - 222.
- MÜLLER, P.J. (1992): Bericht über Teilprojekt A4: Produktivitätsänderungen im Spätquartär. - In: SFB 261: Der Südatlantik im Spätquartär: Rekonstruktion von Stoffhaushalt und Stromsystemen. Arbeits- und Ergebnisbericht 1989-1992, Univers. Bremen, 159 - 208.
- NELSON, D.M. & GORDON, L.I. (1982): Production and pelagic dissolution of biogenic silica in the Southern Ocean. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, **46**, 491 - 501.
- NÖTHIG, E. M. (1988): Untersuchungen zur Ökologie des Phytoplanktons im südöstlichen Weddellmeer (Antarktis) im Januar/Februar 1985. - *Ber. Polarforsch.*, **53**, 118 S.
- OLBERS, D. (1989): Das Südpolarmeer: Zünglein an der Klima-Waage. - *AGF Forschungsthemen*, **2**, 20 - 21.
- OLBERS, D., GOURETSKI, V., SEIB, G. & SCHRÖTER, J. (1992): Hydrographic Atlas of the Southern Ocean. - Alfred Wegener Institute, Bremerhaven, 82 S.
- ORHEIM, O. (1987): Icebergs in the Southern Ocean (Abstract). - *Ann. glaciol.*, **9**, 241 - 242.

- PERAGALLO, M. (1921): Diatomées d'eau douce et diatomées d'eau salée, Deuxième expédition antarctique française (1908-1910). - Sciences Naturelles: Documents Scientifiques, Paris, 107 S.
- PETERSON, R.G. & WHITWORTH III, T. (1989): The subantarctic and polar fronts in relation to deep water masses through the Southwestern Atlantic. - J. Geophys. Res., **94**, No. C8, 10.817 - 10.838.
- PETERSON, R.G., & STRAMMA, L. (1991): Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. - Prog. Oceanogr., **26**, 1 - 73.
- PFLAUMANN, U. (1986): Sea-surface temperatures during the last 750,000 years in the eastern equatorial Atlantic: Planktonic foraminiferal record of "Meteor"-cores 13519, 13521, and 16415. - "Meteor" Forsch.-Ergebn., Reihe C, **40**, 137 - 161.
- PICHON, J.J. (1985): Les Diatomées traceurs de l'évolution climatique et hydrologique de l'océan austral au cours du dernier cycle climatique. - Dissertation Univ. Bordeaux, 279 S.
- PICHON, J.J., LABRACHERIE, M., LABEYRIE, L.D. & DUPRAT, J. (1987): Transfer functions between Diatom assemblages and surface hydrology in the Southern Ocean. - Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol., **61**, 79 - 95.
- PICHON, J.J., BAREILLE, G., LABRACHERIE, M., LABEYRIE, L.D., BAUDRIMONT, A. & TURON, J.L. (1992a): Quantification of the Biogenic Silica Dissolution in Southern Ocean Sediments. - Quat. Res., **37**, 361 - 378.
- PICHON, J.J., LABEYRIE, L.D., BAREILLE, G., LABRACHERIE, M., DUPRAT, J. & JOUZEL, J. (1992b): Surface water temperature changes in the high latitudes of the southern hemisphere over the last glacial-interglacial cycle. - Paleoceanography, **7**, No.3, 289 - 318.
- PITCHER, G.C. (1986): Sedimentary flux and the formation of resting spores of selected *Chaetoceros* species at two sites in the Southern Benguela System. - South Afr. J. Mar. Sci., **4**, 231 - 244.
- POKRAS, E.M. & MOLFINO, B. (1986): Oceanographic control of diatom abundances and species distributions in surface sediments of the Tropical and Southeast Atlantic. - Mar. Micropaleontol., **10**, 165 - 188.
- PRIDDLE, J. & FRYXELL, G. (1985): Handbook of the Common Plankton Diatoms of the Southern Ocean: Centrales except the Genus *Thalassiosira*. - Brit. Antarct. Survey, Univ. Press, Cambridge, 159 S.
- REID, F.M.H. & ROUND, F.E. (1987): The Antarctic diatom *Synedra reinboldii*: Taxonomy, ecology and transference to a new genus, *Trichotoxon*. - Diatom Res., **2**, (2), 219 - 227.
- RIEBESELL, U., SCHLOSS, I. & SMETACEK, V. (1991): Aggregation of algae released from melting sea ice: implications for seeding and sedimentation. - Polar Biol., **11**, 239 - 248.
- ROBIN, G.DE Q., DOAKE, C.S.M., KOHNEN, H., CRABTREE, R.D., JORDAN, S.R. & MÖLLER, D. (1983): Regime of the Filchner-Ronne ice shelves, Antarctica. - Nature, **302**, 582 - 586.
- ROPELEWSKI, C.F. (1983): Spatial and temporal variations in Antarctic Sea-Ice (1973-82). - J. Climate Appl. Meteorol., **22**, 470 - 473.

- ROUND, F.E., CRAWFORD, R.M. & MANN, D.G. (1990): The Diatoms. - Cambridge Univers. Press, Cambridge, 747 S.
- SACHS, H.M., WEBB III, T. & CLARK, D.R. (1977): Paleoecological Transfer Functions. - Ann. Rev. Earth Planet. Sci., **5**, 159 - 178.
- SANCETTA, C. (1979a): Use of semiquantitative microfossil data for paleoceanography. - Geology, **7**, 88 - 92.
- SANCETTA, C. (1979b): Oceanography of the North Pacific during the last 18.000 years: Evidence from fossil diatoms. - Mar. Micropaleontol., **4**, 103 - 123.
- SANCETTA, C. (1981): Diatoms as Hydrographic Tracers: Example from Bering Sea Sediments. - Science, **211**, 279 - 281.
- SANCETTA, C. (1989): Processes controlling the accumulation of diatoms in sediments: a model derived from British Columbian Fjords. - Paleocceanography, **4**, No. 3, 235 - 251.
- SANCETTA, C., HEUSSER, L. & HALL, M.A. (1992): Late Pliocene climate in the Southeast Atlantic: Preliminary results from a multi-disciplinary study of DSDP Site 532. - Mar. Micropaleontol., **20**, No. 1, 59 - 75.
- SCHAREK, R. (1991): Die Entwicklung des Phytoplanktons im östlichen Weddellmeer (Antarktis) beim Übergang vom Spätwinter zum Frühjahr. - Ber. Polarforsch., **94**, 195 S.
- SCHLÜTER, M. (1990): Zur Frühdiagenese von organischem Kohlenstoff und Opal in Sedimenten des südlichen und östlichen Weddellmeeres. Geochemische Analyse und Modellierung. - Ber. Polarforsch., **73**, 156 S.
- SCHRADER, H.J. (1971): Fecal Pellets: Role in Sedimentation of Pelagic Diatoms. - Science, **174**, 55 - 57.
- SCHRADER, H.J. (1972): Anlösung und Konservation von Diatomeenschalen beim Absinken am Beispiel des Landsort-Tiefs in der Ostsee. - Nova Hedwigia, Beih., **39**, 191 - 216.
- SCHRADER, H.J. & GERSONDE, R. (1978): Diatoms and Silicoflagellates. In: W.J. ZACHARIASSE et al. (eds.): Micropaleontological counting methods and techniques - an exercise on an eight metres section of the lower Pliocene of Capo Rossello, Sicily. - Utrecht Micropal. Bull., **17**, 129-176.
- SCHRADER, H.J. & SCHÜTTE, G. (1981): Marine Diatoms. - In: C. EMILIANI (ed.): The Sea, Vol. 7, The Oceanic Lithosphere, 1179 - 1232.
- SCHRADER, H.J. & KARPUZ, N.K. (1990): Norwegian - Iceland seas: Transfer functions between marine planktic diatoms and surface water temperature. - In: U. BLEIL & J. THIEDE (eds.): Geological history of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic. NATO ASI Series C, **308**, Kluwer Academic Publ., 337 - 361.
- SCHRÖDER, M. (1983): Beschreibung einer Salzgehaltsfront in der östlichen Bransfield-Straße, dem Ursprungsgebiet der Weddell-Scotia-Konfluenz. - Dtsch. Hydrogr. Z., **36**, 217 - 235.
- SCHÜTTE, G. & SCHRADER, H.J. (1979): Diatom taphocoenoses in the coastal upwelling area off western South America. - Nova Hedwigia, Beih., **64**, 359 - 378.
- SCHÜTTE, G. & SCHRADER, H.J. (1981): Diatom taphocoenoses in the coastal upwelling area off South West Africa. - Mar. Micropaleontol., **6**, 131 - 155.

- SEA ICE CLIMATIC ATLAS (1985): Vol. 1, Antarctic - Prepared by Naval Oceanography Comand Detachment, Asheville, NSTL, MS 39527-5000, 131 S.
- SHANKS, A.L. & TRENT, J.D. (1980): Marine snow: sinking rates and potential role in vertical flux. - *Deep Sea Res.*, **27A**, 137 - 143.
- SHEMESH, A., BURCKLE, L.H. & FROELICH, P.N. (1989): Dissolution and Preservation of Antarctic Diatoms and the Effect on Sediment Thanatocoenoses. - *Quat. Res.*, **31**, 288 - 308.
- SILVER, M.W., MITCHELL, J.G. & RINGO, D.L. (1980): Siliceous Nanoplankton II. Newly discovered Cysts and abundant Choanoflagellates from the Weddell Sea, Antarctica. - *Mar. Biol.*, **58**, 211 - 217.
- SIMONSEN, R. (1972): Über die Diatomeengattung *Hemidiscus* WALLICH und andere Angehörige der sogenannten "Hemidiscaceae". - *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.*, **13**, 265 - 273.
- SIMONSEN, R. (1974): The Diatom Plankton of the Indian Ocean Expedition of R/V "Meteor" 1964-1965. - "Meteor" Forsch.-Ergebn., Reihe D, **19**, 1 - 107.
- SIMONSEN, R. (1982): Note on the diatom genus *Charcotia* M. PERAGALLO. - *Bacillaria*, **5**, 101 - 116.
- SIMONSEN, R. (1987): Atlas and Catalogue of the Diatom Types of Friedrich Hustedt. - J. Cramer (Gebr. Bornträger), Berlin, Stuttgart, Vol. 1 - 3.
- SMAYDA, T.J. (1969): Some measurements of the sinking rate of fecal pellets. - *Limnol. Oceanogr.*, **14**, 621 - 625.
- SMAYDA, T.J. (1971): Normal and accelerated sinking of phytoplankton in the sea. - *Mar. Geol.*, **11**, 105 - 122.
- SMETACEK, V.S. (1985): Role of sinking in diatom life-history cycles: ecological, evolutionary and geological significance. - *Mar. Biol.*, **84**, 239 - 251.
- SMETACEK, V., SCHAREK, R. & NÖTHIG, E.M. (1990): Seasonal and Regional Variation in the Pelagial and its Relationship to the Life History Cycle of Krill. - In: K.R. KERRY & G. HEMPEL (eds.): Antarctic Ecosystems. Ecological Change and Conservation. Springer-Verl., Berlin, Heidelberg, 103 - 114.
- SOURNIA, A., GRALL, J.R. & JACQUES, G. (1979): Diatomées et Dinoflagellés planctoniques d'une coupe méridienne dans le sud de l'océan Indien (campagne "Antiproduct" du Marion-Dufresne, mars 1977). - *Botanica Mar.*, **22**, 183 - 198.
- SPINDLER, M. & DIECKMANN, G.S. (1991): Das Meereis als Lebensraum. - *Spektrum Wiss.*, **2**, 48 - 57.
- SUNDSTRÖM, B.G. (1986): The marine Diatom Genus *Rhizosolenia*. A new approach to the taxonomy. - *Diss. Univers. Lund*, 196 S.
- SYVERTSEN, E.E. (1985): Resting Spore Formation in the Antarctic Diatoms *Coscinodiscus furcatus* Karsten and *Thalassiosira australis* Peragallo. - *Polar Biol.*, **4**, 113 - 119.
- SYVERTSEN, E.E. & HASLE, G.R. (1983): The diatom genus *Eucampia*: Morphology and taxonomy. - *Bacillaria*, **6**, 169 - 210.
- TCHERNIA, P. & JEANNIN, P.F. (1984): Circulation in Antarctic waters as revealed by iceberg tracks 1972-1983. - *Polar Rec.*, **22**, (138), 263 - 269.

- THIEL, H., PFANNKUCHE, O., SCHRIEVER, G., LOCHTE, K., GOODAY, A.J., HEMLEBEN, CH., MANTOURA, R.F.G., TURLEY, C.M., PATCHING, J.W. & RIEMANN, F. (1988/1989): Phytodetritus on the Deep-Sea Floor in a Central Oceanic Region of the Northeast Atlantic. - *Biol. Oceanogr.*, **6**, 203-239.
- TRÉGUER, P., KAMATANI, A., GUENELEY, S. & QUÉGUINER, B. (1989): Kinetics of dissolution of antarctic diatom frustules and the biogeochemical cycle of silicon in the Southern Ocean. - *Polar Biol.*, **9**, 397 - 403.
- TRÉGUER, P. & VAN BENNEKOM, A.J. (1991): The annual production of biogenic silica in the Antarctic Ocean. - *Mar. Chem.*, **35**, 477 - 487.
- TRÉGUER, P. & JACQUES, G. (1992): Dynamics of nutrients and phytoplankton, and fluxes of carbon, nitrogen and silicon in the Antarctic Ocean. - *Polar Biol.*, **12**, 149 - 162.
- TREPPKE, U. (1988): Biostratigraphische und palökologische Untersuchungen von Diatomeenassoziationen an plio- bis holozänen Sedimenten vom Atlantisch-Indischen Rücken, nördliches Weddellmeer. - Unveröffentl. Dipl.-Arb., Eberhard-Karl-Univ. Tübingen, 155 S.
- TRUESDALE, R.S. & KELLOGG, T.B. (1979): Ross Sea Diatoms: Modern assemblage distributions and their relationship to ecologic, oceanographic, and sedimentary conditions. - *Mar. Micropaleontol.*, **4**, 13 - 31.
- TSUNOGAI, S., NORIKI, S., HARADA, K., KUROSAKI, T., WATANABE, Y. & MAEDAA, M. (1986): Large but variable particulate flux in the Antarctic Ocean and its significance for the chemistry of Antarctic water. - *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **42**, 83 - 90.
- TURNER, J.T. (1977): Sinking rates of fecal pellets from the marine copepod *Pontella meadii*. - *Mar. Biol.*, **40**, 249 - 259.
- VAN BENNEKOM, A.J., BERGER, G.W., VAN DER GAAST, S.J. & DE VRIES, R.T.P. (1988): Primary productivity and the silica cycle in the Southern Ocean (Atlantic Sector). - *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol.*, **67**, 19 - 30.
- VAN DER PLAS, L. & TOBI, A.C. (1965): A chart for judging the reliability of point counting results. - *American J. of Science*, **263**, 87 - 90.
- VAN DER SPOEL, S., HALLEGRAEFF, G.M. & VAN SOEST, R.W.M. (1973): Notes on variation of diatoms and silicoflagellates in the South Atlantic Ocean. - *Neth. J. Sea Res.*, **6** (4), 518 - 541.
- VAN HEURCK, H. (1909): Diatomées. - Resultats du Voyage du S.Y. "Belgica" en 1897-1899. Rapports scientifiques, Botaniques, 126 S.
- VAN LANDINGHAM, S.L. (1967 - 1979): Catalogue of the fossil and recent genera and species of Diatoms and their synonyms. - J. CRAMER (ed.), Gantner Verl., Vaduz, Teil I - VIII.
- VON STOSCH, H.A., THEIL, G. & KOWALLIK, K.V. (1973): Entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen an zentrischen Diatomeen. - *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, **25**, 384 - 445.
- WADHAMS, P. (1988): Winter Observations of Iceberg Frequencies and Sizes in the South Atlantic Ocean. - *J. Geophys. Res.*, **93**, C4, 3583 - 3590.

- WEAVER, P.P.E. & SCHULTHEISS, P.J. (1990): Current methods for obtaining, logging and splitting marine sediment cores. - In: E.A. HAILWOOD & R.B. KIDD (eds.): Marine geological surveying and sampling. Kluwer Academic Publ., 85 - 100.
- WEBER, M. (1992): Spätquartäre Sedimentation am Kontinentalrand des südöstlichen Weddellmeeres, Antarktis. - Ber. Polarforsch., **109**, 165 S.
- WEFER, G. (1991): Stofftransport zum Meeresboden: Eine Übersicht. - Naturwissenschaften, **78**, 1 - 6.
- WEFER, G., FISCHER, G., FÜTTERER, D.K., GERSONDE, R., HONJO, S. & OSTERMANN, D. (1990): Particle sedimentation and productivity in Antarctic waters of the Atlantic Sector. - In: U. BLEIL & J. THIEDE (eds.): Geological history of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic. NATO ASI Series C, **308**, Kluwer Academic Publ., 363 - 379.
- WEISSENBERGER, J. (1992): Die Lebensbedingungen in den Solekanälchen des antarktischen Meereises. - Ber. Polarforsch., **111**, 159 S.
- WHITING, M.C. & SCHRADER, H.J. (1985): *Actinocyclus ingens* RATTRAY: Reinvestigation of a polymorphic species. - Micropaleontology, **31**, No. 1, 68 - 75.
- WHITWORTH III, T. (1988): The Antarctic Circumpolar Current. - Oceanus, **31**, 53 - 58.
- WHITWORTH III, T. & NOWLIN, JR., W.D. (1987): Water Masses and Currents of the Southern Ocean at the Greenwich Meridian. - J. Geophys. Res., **92**, C6, 6462 - 6476.
- WILLIAMS, K.M. (1986): Recent Arctic marine diatom assemblages from bottom sediments in Baffin Bay and Davis Strait. - Mar. Micropaleontol., **10**, 327 - 341.

## 10. ANHANG

### 10.1. Taxonomie

Die taxonomische Bestimmung wurde nach folgender Literatur durchgeführt:

ABBOTT (1974), FENNER et al. (1976), FRENGUELLI & ORLANDO (1958), HALLEGRAEFF (1986), HARGRAVES (1968), HASLE (1960), HASLE (1965a), HASLE (1965b), HASLE (1972), HEIDEN & KOLBE (1928), HENDEY (1937), HUSTEDT (1930-1966), HUSTEDT (1958), JOHANSEN & FRYXELL (1985), KARSTEN (1905), MANGUIN (1954, 1957), MEDLIN & PRIDDLE (1990), PERAGALLO (1921), PRIDDLE & FRYXELL (1985), SIMONSEN (1974), SIMONSEN (1987), SUNDSTRÖM (1986), VAN HEURCK (1909).

Im folgenden sind die identifizierten Arten und Varietäten in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt. Detaillierte Synonymlisten sind bei VAN LANDINGHAM (1967-1979) und HUSTEDT (1930-1966) zu finden. Ausführliche Informationen über Änderungen innerhalb des taxonomischen Systems geben ROUND et al. (1990).

Gattung *Actinocyclus* EHRENBERG (1837)

*Actinocyclus actinochilus* (EHRENBERG) SIMONSEN

Taf. 1, Fig. 1, 3

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 122 - 126, Taf. 7, Fig. 57 - 80 als *Charcotia actinochilus*, SIMONSEN (1982).

*Actinocyclus curvatulus* JANISCH

Beschreibung: HUSTEDT (1930), 538 - 539, Fig. 307, HUSTEDT (1958), 129, Taf. 8, Fig. 82 - 83.

*Actinocyclus ingens* RATTRAY

Anmerkung: Diese fossile Form ist namensgebend für die *A. ingens*-Zone (1,8 - 0,6 Mio. J.) in der Diatomeenzonierung des Neogens nach GERSONDE & BURCKLE (1990). Das stratigraphische Auftreten dieser Art reicht vom LAD (Last Appearance Datum) bei 0,6 Mio. bis 15,2 Mio. Jahren vor heute (frühes mittl. Miozän). Sie wurde nur selten im untersuchten Probenmaterial gefunden.

Beschreibung: WHITING & SCHRADER (1985), GERSONDE (1990), 791 - 792, Taf. 1, Fig. 1, 3 - 5, Taf. 3, Fig. 8 - 9, Taf. 4, Fig. 1.

Gattung **Amphiprora** EHRENBERG (1843)

*Amphiprora kjellmannii* CLEVE

Beschreibung: MEUNIER (1910), 291, Taf. 32, Fig. 4, 6 - 7, HUSTEDT (1958), 149 und FRENGUELLI & ORLANDO (1958), 95, Taf. 3, Fig. 8 als *A. kjellmannii* var. *subtilissima*.

*Amphiprora oestrupii* VAN HEURCK

Beschreibung: VAN HEURCK (1909), 15, Taf. 1, Fig. 22, HENDEY (1937), 349.

Gattung **Amphora** EHRENBERG (1840)

Anmerkung: Individuen dieser Gattung wurden im untersuchten Probenmaterial nur selten gefunden, Artbestimmungen wurden nicht vorgenommen.

Gattung **Asteromphalus** EHRENBERG (1845)

*Asteromphalus hookeri* EHRENBERG

Taf. 1, Fig. 4

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 127 - 128, Taf. 8, Fig. 88 - 90, FENNER et al. (1976), 768, Taf. 4, Fig. 24.

*Asteromphalus hyalinus* KARSTEN

Taf. 1, Fig. 5

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 129, Taf. 8, Fig. 84 - 87, FENNER et al. (1976), 769, Taf. 4, Fig. 17 - 19.

*Asteromphalus parvulus* KARSTEN

Taf. 1, Fig. 2

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 129, Taf. 8, Fig. 91, FENNER et al. (1976), 769, Taf. 4, Fig. 20 - 21.

Gattung **Azpeitia** (PERAGALLO) 1912

*Azpeitia neocrenulata* (VAN LANDINGHAM) FRYXELL & WATKINS

Beschreibung: FRYXELL et al. (1986a), 18 - 19, Taf. 16, Fig. 1 - 3, Taf. 30, Fig. 2.

*Azpeitia nodulifer* (SCHMIDT) FRYXELL & SIMS

Beschreibung: FRYXELL et al. (1986a), 19 - 20, Taf. 17, Fig. 1 - 3, Taf. 18, Fig. 1 - 2, 4 - 5, Taf. 30, Fig. 3 - 4.

*Azpeitia tabularis* (GRUNOW) FRYXELL & SIMS

Taf. 2, Fig. 1, 4

Beschreibung: HUSTEDT (1930), 427 - 428, Fig. 230a, HUSTEDT (1958), 119-120, Taf. 6, Fig. 48 - 56 und FENNER et al. (1976), 774, Taf. 7, Fig. 10 - 13

als *Coscinodiscus tabularis* GRUNOW, FRYXELL et al. (1986a), 16 - 18, Taf. 14 - 15.

*Azpeitia tabularis* var. *egregius* (RATTRAY) HUSTEDT

Taf. 2, Fig. 3

Beschreibung: HUSTEDT (1930), 428, Fig. 230b und FENNER et al. (1976), 774, Taf. 7, Fig. 8 - 9 als *Coscinodiscus tabularis* var. *egregius* (RATTRAY) HUSTEDT.

Gattung **Chaetoceros** EHRENBERG (1844)

Taf. 7, Fig. 6 - 12

Anmerkung: Es wurden neben wenigen anderen, vegetativen Zellen hauptsächlich Dauersporen dieser Gattung gezählt, die aufgrund ihrer wenigen Unterscheidungskriterien keiner sicheren Art zuzuordnen sind. Einen Versuch der Klassifikation von Dauersporen gibt GERSONDE (1980), 295 - 305 an.

*Chaetoceros bulbosum* (EHRENBERG) HEIDEN

Beschreibung: HEIDEN & KOLBE (1928), 526, Fig., 171, 172, 174, 176, 180, PRIDDLE & FRYXELL (1985), 24 - 25.

*Chaetoceros dicaeta* EHRENBERG

Beschreibung: HEIDEN & KOLBE (1928), 524, Fig. 173, HUSTEDT (1930), 648 - 651, Fig. 367, HARGRAVES (1968), 30 - 31, Fig. 37 - 39.

Gattung **Cocconeis** EHRENBERG (1838)

Anmerkung: Benthische Formen wie *Cocconeis* wurden nur selten gefunden, Artbestimmungen wurden nicht vorgenommen.

Gattung **Corethron** CASTRACANE (1886)

*Corethron criophilum* CASTRACANE

Beschreibung: HENDEY (1937), 325, 329, Taf. 7 und 8, HUSTEDT (1930), 544 - 549 als *C. hystrix* und *C. pelagicum*, HUSTEDT (1958), 130 - 131.

Gattung **Coscinodiscus** EHRENBERG (1838)

*Coscinodiscus asteromphalus* EHRENBERG

Beschreibung: HUSTEDT (1930), 452 - 454, Fig. 250, HARGRAVES (1968), 39 - 40, Fig. 61, FRYXELL & ASHWORTH (1988).

*Coscinodiscus oculoides* KARSTEN

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 116 - 117, Taf. 5, Fig. 32 - 33, FRYXELL & ASHWORTH (1988).

*Coscinodiscus oculus-iridis* EHRENBERG

Beschreibung: HUSTEDT (1930), 454 - 456, Fig. 252.

*Coscinodiscus marginatus* EHRENBERG

Beschreibung: HUSTEDT (1930), 416 - 418, Fig. 223.

Gattung **Denticulopsis** SIMONSEN (1979)

*Denticulopsis hustedtii* (SIMONSEN & KANAYA)

Anmerkung: Diese fossile Form ist leitend für das mittlere Miozän (*D. hustedtii*/*N. grossepunctata*-Zone). Das stratigraphische Auftreten dieser Art wird von 14,2 bis ca. 4,5 Mio. Jahren angegeben (GERSONDE & BURCKLE 1990). *D. hustedtii* wurde nur in wenigen Proben gefunden und kennzeichnet aufgearbeitetes Oberflächensediment. Im untersuchten Kern kam diese Art nicht vor.

Beschreibung: AKIBA & YANAGISAWA (1985), 488, Taf. 17, Fig. 4 - 5, 7 - 23, Taf. 18, Fig. 1 - 10, Taf. 19, Fig. 1 - 5.

Gattung **Diploneis** EHRENBERG (1844) ex P.T.CLEVE (1894)

Anmerkung: Benthische Formen wie *Diploneis* wurden nur selten gefunden, Artbestimmungen wurden nicht vorgenommen.

Gattung **Eucampia** EHRENBERG (1839)

*Eucampia antarctica* CASTRACANE

Taf. 4, Fig. 5 - 8

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 136 - 137, Taf. 5, Fig. 40 - 43 als *E. balaustium*, SYVERTSEN & HASLE (1983), 181 - 186, Fig. 4, Taf. 10 - 14 als *E. balaustium*, FRYXELL (1991), 675 - 685.

Gattung **Fragilaria** LYNGBYE (1819)

Anmerkung: Individuen dieser Gattung wurden im untersuchten Probenmaterial nur selten gefunden, Artbestimmungen wurden nicht vorgenommen.

Gattung **Hemidiscus** WALLICH (1860)

*Hemidiscus cuneiformis* WALLICH

Taf. 4, Fig. 3

Beschreibung: SIMONSEN (1972), 267 - 272, Fig. 7 - 11, FRYXELL et al. (1986a), 25, Taf. 26, Fig. 1 - 3.

Gattung **Navicula** BORY (1822)

*Navicula directa* (W. SMITH) RALFS in PRITCHARD

Beschreibung: HARGRAVES (1968), 70 - 71, Fig. 126, FENNER et al. (1976), 774, Taf. 14, Fig. 7.

*Navicula jejunooides* VAN HEURCK

Beschreibung: VAN HEURCK (1909), 11, Taf. 1, Fig. 12, HEIDEN & KOLBE (1928), 605, HARGRAVES (1968), 72 - 73, Fig. 130 - 131.

Gattung **Nitzschia** HASSALL (1845)

Anmerkung: ROUND et al. (1990) schlagen aufgrund einiger morphologischer Schalenmerkmale vor, den alten Gattungsnamen *Fragilariopsis* HUSTEDT erneut einzuführen. Die Arten der Gattung *Fragilariopsis* wurden von HASLE (1972) zur Gattung *Nitzschia* HASSALL überführt. Da dieser Name in der Literatur etabliert ist, wird in der vorliegenden Arbeit der Gattungsname *Nitzschia* weiter verwendet.

*Nitzschia angulata* (O'MEARA) HASLE

Taf. 5, Fig. 1 - 3

Beschreibung: HASLE (1965b), 24 - 26, Taf. 1, Fig. 6, Taf. 4, Fig. 19, Taf. 6, Fig. 5, Taf. 8, Fig. 11, Taf. 9, Fig. 1 - 6, Taf. 10, Fig. 2 - 6 als *Fragilariopsis rhombica*.

*Nitzschia bicapitata* CLEVE

Taf. 6, Fig. 9, 10

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 169, Taf. 13, Fig. 176 - 190, HASLE (1960), 21, Taf. 6, Fig. 53 - 57, HASLE (1964), 37, Taf. 5, Fig. 7, Taf. 14, Fig. 8 - 12, Taf. 15, Fig. 3 - 6, SIMONSEN, (1974), 50, Taf. 35, Fig. 3 - 15.

*Nitzschia curta* (VAN HEURCK) HASLE

Taf. 5, Fig. 11 - 13

Beschreibung: HASLE (1965b), 32 - 33, Taf. 6, Fig. 6, Taf. 12, Fig. 2 - 5, Taf. 13, Fig. 1 - 6, Taf. 16, Fig. 6, Taf. 17, Fig. 5.

*Nitzschia cylindrus* (GRUNOW) HASLE

Taf. 5, Fig. 22 - 24

Beschreibung: HASLE (1965b), 34 - 37, Taf. 12, Fig. 6 - 12, Taf. 14, Fig. 1 - 10, Taf. 17, Fig. 2 - 4.

*Nitzschia interruptestriata* SIMONSEN

Beschreibung: SIMONSEN (1974), 52, Taf. 36, Fig. 9 - 11, Taf. 37, Fig. 1 - 7, Taf. 38, Fig. 1 - 7.

*Nitzschia kerguelensis* (O'MEARA) HASLE

Taf. 5, Fig. 4 - 7

Beschreibung: HASLE (1965b), 14 - 18, Taf. 3, Fig. 4 - 5, Taf. 4, Fig. 11 - 18, Taf. 5, Fig. 1 - 11, Taf. 6, Fig. 2 - 4, Taf. 7, Fig. 9, Taf. 8, Fig. 10, Taf. 16, Fig. 3 - 5.

*Nitzschia kolaczekii* GRUNOW

Beschreibung: HASLE (1960), 24, Taf. 5, Fig. 50, FENNER et al. (1976), 776, Taf. 3, Fig. 16.

*Nitzschia lecointei* VAN HEURCK

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 172 - 173, Taf. 13, Fig. 167 - 168, HASLE (1964), 23 - 27, Taf. 1, Fig. 1, Taf. 4, Fig. 5, Taf. 5, Fig. 2, Taf. 11, Fig. 14 - 15, Taf. 12, Fig. 9 - 13.

*Nitzschia linearis* (CASTRACANE) HASLE

Beschreibung: HASLE (1965b), 37 - 39, Taf. 12, Fig. 17, Taf. 15, Fig. 9 - 11.

*Nitzschia marina* GRUNOW

Beschreibung: SIMONSEN (1974), 53 - 54, Taf. 40, Fig. 4.

*Nitzschia obliquecostata* (VAN HEURCK) HASLE

Taf. 5, Fig. 15 - 17

Beschreibung: HASLE (1965b), 18 - 20, Taf. 7, Fig. 2 - 7.

*Nitzschia peragallii* HASLE

Beschreibung: HASLE (1965b), 41 - 42, Taf. 9, Fig. 11 - 12, Taf. 15, Fig. 1 - 5.

*Nitzschia pseudonana* HASLE

Taf. 5, Fig. 14

Beschreibung: HASLE (1965b), 22 - 24, Taf. 1, Fig. 7 - 14, Taf. 4, Fig. 20 - 21, Taf. 8, Fig. 1 - 9, Taf. 17, Fig. 6.

*Nitzschia ritscheri* (HUSTEDT) HASLE

Taf. 5, Fig. 18, 19

Beschreibung: HASLE (1965b), 20 - 21, Taf. 1, Fig. 20, Taf. 3, Fig. 3, Taf. 4, Fig. 1 - 10, Taf. 5, Fig. 12 - 13, Taf. 6, Fig. 1, Taf. 7, Fig. 8.

*Nitzschia separanda* (HUSTEDT) HASLE

Taf. 5, Fig. 8 - 10

Beschreibung: HASLE (1965b), Taf. 9, Fig. 7 - 10, Taf. 10, Fig. 1.

*Nitzschia seriata* CLEVE

Beschreibung: HASLE (1965a), 8 - 10, Taf. 1, Fig. 1, Taf. 3, Fig. 1 - 7, 10, Taf. 4, Fig. 1 - 2, Taf. 6, Fig. 2, FENNER et al. (1976), 777, Taf. 3, Fig. 19 - 20.

*Nitzschia sicula* var. *bicuneata* (GRUN.) HASLE

Beschreibung: HASLE (1960), 26 - 27, Fig. 16c-d, HASLE (1964), 38, Taf. 5, Fig. 8, Taf. 13, Fig. 14, Taf. 16, Fig. 1, Textfig. 11 - 12, FENNER et al. (1976), 778, Taf. 3, Fig. 15.

*Nitzschia sicula* var. *rostrata* HUSTEDT

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 180, Taf. 11, Fig. 128 - 132, HASLE (1964), 39 - 41, Taf. 14, Fig. 22, Taf. 16, Fig. 2, 4, Textfig. 13, FENNER et al. (1976), Taf. 3, Fig. 13 - 14.

*Nitzschia stellata* MANGUIN

Beschreibung: MANGUIN (1957), 132 - 134, Taf. 7, Fig. 47.

*Nitzschia sublinearis* (HEIDEN & KOLBE) HASLE

Taf. 5, Fig. 25, 26

Beschreibung: HASLE (1965b), 27 - 30, Taf. 7, Fig. 1, Taf. 11, Fig. 1 - 10, Taf. 12, Fig. 1, Taf. 17, Fig. 1.

*Nitzschia taeniiformis* SIMONSEN

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 180 - 181, Taf. 13, Fig. 195 als *Nitzschia taenia*.

*Nitzschia turgiduloides* HASLE

Taf. 6, Fig. 16

Beschreibung: HASLE (1965a), 28 - 29, Taf. 12, Fig. 9 - 14, Taf. 13, Fig. 3 - 6.

*Nitzschia vanheurckii* (M. PER.) HASLE

Taf. 5, Fig. 20, 21

Beschreibung: HASLE (1965b), 30 - 31, Taf. 12, Fig. 13 - 16, Taf. 13, Fig. 7 - 8, Taf. 15, Fig. 8.

Gattung **Odontella** AGARDH (1832)

*Odontella weissflogii* (JANISCH) GRUNOW

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 137 als *Biddulphia weißflogii*, HOBAN et al. (1980), 594 - 598, Fig. 15 - 26.

Gattung **Pleurosigma** W. SMITH (1852)

*Pleurosigma antarctica* HEIDEN & KOLBE

Beschreibung: HEIDEN & KOLBE (1928), 648, Taf. 4, Fig. 94.

*Pleurosigma directum* GRUNOW

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 148 - 149, HARGRAVES (1968), 82 - 83, Fig. 154 - 155, FENNER et al. (1976), 778, Taf. 14, Fig. 6, SOURNIA et al. (1979), 190, Fig. 31 - 32, SIMONSEN (1974), 45, Taf. 29, Fig. 2.

Gattung **Porosira** JØRGENSEN (1905)

*Porosira glacialis* (GRUNOW) JØRGENSEN

Taf. 3, Fig. 1, 2

Beschreibung: HUSTEDT (1930), 315 - 316, Fig. 152 - 153, HASLE (1973), 7 - 10, Taf. 1, Fig. 2, 4 - 5, Taf. 3, Fig. 13 - 18, Taf. 4, Fig. 19 - 25, Taf. 5, Fig. 26 - 29.

*Porosira pseudodenticulata* (HUSTEDT) JOUSÉ

Taf. 1, Fig. 6

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 117, Taf. 4, Fig. 20 - 21 als *Coscinodiscus pseudodenticulatus*, HASLE (1973), 10 - 15, Taf. 5, Fig. 30 - 31, Taf. 6, Fig. 32 - 37, Taf. 7, Fig. 38 - 43.

Gattung **Proboscia** SUNDSTRÖM (1986)

*Proboscia alata* (BRIGHTWELL) SUNDSTRÖM

Beschreibung: HUSTEDT (1930), 600 - 601, Fig. 344 als *Rhizosolenia alata*, SUNDSTRÖM (1986), 99 - 102, Taf. 36, Fig. 258 - 266, JORDAN et al. (1991), 65 - 66, Fig. 1 - 9, 32 - 34.

Gattung **Pseudoeunotia** GRUNOW in VAN HEURCK (1880)

*Pseudoeunotia doliolus* (WALLICH) GRUNOW

Taf. 6, Fig. 11, 12

Beschreibung: HUSTEDT (1959), 259 - 260, Fig. 737, FENNER et al. (1976), 778, Taf. 14, Fig. 12.

Gattung **Pseudogomphonema** MEDLIN (1986)

*Pseudogomphonema kamtschaticum* GRUNOW var. ?

Beschreibung: MEDLIN & ROUND (1986), 218, Fig. 29, 71 - 72.

Anmerkung: Diese Varietät wurde von MEDLIN & ROUND (1986) aufgrund des wenigen Probenmaterials nicht detailliert beschrieben und benannt. Diese Erstbeschreibung stammt aus einer Probe nahe Bouvet Island.

Gattung **Rhizosolenia** EHRENBERG (1841)

Anmerkung: Diese Gattung wurde von SUNDSTRÖM (1986) neu bearbeitet. In der Literatur bestehen einige Fehlidentifikationen und Verwechslungen, beispielsweise weisen *Rhizosolenia hebetata f. semispina* und *Rhiz. antennata f. semispina* die gleichen Bestimmungsmerkmale auf und sind demnach nicht zu unterscheiden (SUNDSTRÖM 1986, M. FERRARIO 1992, mdl. Mittl. ). Die verschiedenen Verbreitungsgebiete beider Arten (*R. heb. f. semip.* in der Arktis, *R. anten. f. semip.* in der Antarktis) sind offenbar das einzige Kriterium zur Trennung in zwei unterschiedliche Arten. In der Antarktis wurde *Rhiz. antennata f. semispina* häufig mit *Rhiz. styliformis* verwechselt, die sich jedoch eindeutig durch die Form des Otariums von *Rhiz. antennata f. semispina* unterscheidet. Die folgende Klassifikation basiert im wesentlichen auf der Arbeit von SUNDSTRÖM (1986).

*Rhizosolenia antennata* (EHRENBERG) BROWN *f. antennata*

Taf. 7, Fig. 2

Beschreibung: SUNDSTRÖM (1986), 42 - 43, Taf. 17, Fig. 115, 119 - 120.

*Rhizosolenia antennata f. semispina* SUNDSTRÖM

Taf. 7, Fig. 1

Beschreibung: SUNDSTRÖM (1986), 44 - 46, Taf. 4, Fig. 20, Taf. 17, Fig. 114, 116.

*Rhizosolenia bergonii* H. PERAGALLO

Taf. 7, Fig. 4

Beschreibung: HUSTEDT (1930), 575 - 577, Fig. 327, SUNDSTRÖM (1986), 72 - 75, Taf. 6, Fig. 32 - 33, Taf. 25, Fig. 177 - 182.

*Rhizosolenia hebetata f. semispina* (HENSEN) GRAN

Taf. 7, Fig. 3

Anmerkung: Diese Form wurde nach der Originalbeschreibung von GRAN (1904, 1905) und nach HUSTEDT (1930), S. 592 bestimmt. Sie unterscheidet sich demnach von *Rhiz. antennata f. semispina* durch ein schmaleres Gehäuse und das Fehlen der Otarien. Wie oben bereits diskutiert, wird vermutet, daß es sich um zwei identische Formen handelt, die jedoch aufgrund ihrer unterschiedlichen Verbreitung nicht als eine Art angesehen werden. Jedoch besitzt *Rhiz. hebetata f. semispina* in

der Beschreibung von SUNDSTRÖM (1986) deutliche Otarien und entspricht damit nicht der Abbildung von GRAN (1904, 1905) und HUSTEDT (1930).

Beschreibung: GRAN (1904), S. 524, Taf. 17, Fig. 11, GRAN (1905), Fig. 67b, HUSTEDT (1930), 592, Fig. 338, SUNDSTRÖM (1986), 48 - 52, Taf. 4, Fig. 19, Taf. 17, Fig. 117 - 118.

*Rhizosolenia styliformis* BRIGHTWELL

Beschreibung: HUSTEDT (1930), 584 - 586, Fig. 333, SUNDSTRÖM (1986), 15 - 19, Taf. 1, Fig. 5, Taf. 9, Fig. 47 - 56.

Gattung **Roperia** GRUNOW in VAN HEURCK (1881)

*Roperia tessellata* (ROPER) GRUNOW

Taf. 2, Fig. 7

Beschreibung: HUSTEDT (1930), 523 - 524, Fig. 297, SIMONSEN (1974), 22, FENNER et al. (1976), 779, Taf. 12, Fig. 1 - 14, FRYXELL et al. (1986a), 24 - 25, Taf. 25, Fig. 1 - 3.

Gattung **Rouxia** BRUN & HÉRIBAUD (1893)

Anmerkung: Arten dieser Gattung wurden nur selten gefunden und Artbestimmungen deshalb nicht vorgenommen.

Gattung **Stellarima** HASLE & SIMS (1986)

*Stellarima microtrias* (EHRENBERG) HASLE & SIMS

Taf. 2, Fig. 2, 5

Anmerkung: Diese Art wurde aus der Antarktis in der Literatur unter verschiedenen Namen beschrieben: *Coscinodiscus furcatus* KARSTEN und *Coscinod. stellaris* var. *symbolophorus* (GRUNOW) JØRGENSEN (HUSTEDT (1958). Nach SYVERTSEN (1985) und HASLE et al. (1988) entsprechen dabei *Coscinod. furcatus* der vegetativen Zelle und letztere Form der Dauerspore von *Stellarima microtrias*.

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 113 - 114, Taf. 3, Fig. 18 - 19, Taf. 5, Fig. 39 als *Coscinod. furcatus*, 118 - 119, Taf. 5, Fig. 36 - 38 als *Coscinod. stellaris* var. *symbolophorus*. SYVERTSEN (1985) als *Coscinod. furcatus*. HASLE et al. (1988), 196 - 198, Fig. 1 - 25.

Gattung **Thalassionema** GRUNOW in VAN HEURCK (1881)

*Thalassionema bacillaris* (HEIDEN) KOLBE

Beschreibung: HASLE & DE MENDIOLA (1967), 109 - 110, Fig. 1 - 4, 6 - 8, 18 - 19, 22 - 26, HALLEGRAEFF (1986), 60 - 62, Fig. 5a-i.

*Thalassionema capitulata* (CASTR.) HUSTEDT

Taf. 6, Fig. 1, 2

Beschreibung: HEIDEN & KOLBE (1928), 565, Taf. 5, Fig. 119 als *Spinigera capitata*, HUSTEDT (1958), 139 - 140.

*Thalassionema nitzschioides* GRUNOW

Anmerkung: Die Schalenvariabilität und Formenvielfalt führte in der Bestimmungsliteratur zu taxonomischen Unstimmigkeiten und z.T. widersprechenden Ergebnissen. Die Abgrenzung von Varietäten dieser Art wird nicht von allen Autoren erwähnt. HASLE & DE MENDIOLA (1967) und HALLEGRAEFF (1986) beschreiben detailliert die Art *T. nitzschioides* ohne Beschreibung von Varietäten. HASLE & DE MENDIOLA (1967) weisen lediglich auf *Thalassionema capitulata* hin, die von HUSTEDT (1958) beschrieben wurde. Die ebenfalls von HUSTEDT (1959) und HASLE (1960) beschriebene *T. nitzschioides* var. *lanceolata* wird neben drei anderen Formen in den folgenden Fototafeln dokumentiert. Eine ausführliche Zusammenfassung über die Taxonomie von *T. nitzschioides* und deren Varietäten ist bei GERSONDE (1980) zu finden.

*Thalassionema nitzschioides* fo. 1 (sensu HEIDEN & KOLBE)

Taf. 6, Fig. 5, 6

Beschreibung: HEIDEN & KOLBE (1928), 563, GERSONDE (1980), 282, Taf. 9, Fig. 21.

*Thalassionema nitzschioides* var. *lanceolata* GRUNOW

Taf. 6, Fig. 3, 4

Beschreibung: FRENGUELLI (1949), 117, Taf. 1, Fig. 16, HUSTEDT (1959), 244 - 246, Fig. 725, HASLE (1960), 18, Fig. 5c, Taf. 4, Fig. 38 - 40, 43 - 44.

*Thalassionema nitzschioides* var. *parva* HEIDEN

Taf. 6, Fig. 7, 8

Beschreibung: HEIDEN & KOLBE (1928), 564, Taf. 5, Fig. 118, FRENGUELLI (1949), 117, Taf. 1, Fig. 9, GERSONDE (1980), 283 - 284, Taf. 9, Fig. 12 - 13.

Gattung **Thalassiosira** CLEVE (1873)

*Thalassiosira antarctica* COMBER

Taf. 3, Fig. 3, 4

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 108 - 109, Taf. 3, Fig. 1 - 3, JOHANSEN & FRYXELL (1985), 158, Fig. 15 - 17, 37 - 39.

*Thalassiosira frenguelliopsis* FRYXELL & JOHANSEN

Taf. 4, Fig. 2

Beschreibung: JOHANSEN & FRYXELL (1985), 168, Fig. 6, 67 - 68, 71, 81.

*Thalassiosira gracilis* (KARSTEN) HUSTEDT

Taf. 3, Fig. 5, 6

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 109 - 110, Taf. 3, Fig. 4 - 7, JOHANSEN & FRYXELL (1985), 168 - 170, Fig. 8, 58 - 59.

*Thalassiosira gracilis* var. *expecta* (VAN LANDINGHAM) FRYXELL & HASLE

Taf. 3, Fig. 7 - 9

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 110, Taf. 3, Fig. 8 - 10 als *T. delicatula*, JOHANSEN & FRYXELL (1985), 170, Fig. 8, 60 - 63.

*Thalassiosira gravida* CLEVE

Taf. 3, Fig. 10, 11

Beschreibung: HUSTEDT (1930), 325 - 326, Fig. 161, JOHANSEN & FRYXELL (1985), 170, Fig. 27, 43.

*Thalassiosira lentiginosa* (JANISCH) FRYXELL

Taf. 3, Fig. 12 - 14

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 116, Taf. 4, Fig. 22 - 25 als *Coscinodiscus lentiginosus*, JOHANSEN & FRYXELL (1985), 170, Fig. 7, 49 - 50.

*Thalassiosira oestrupii* (OSTENFELD) HASLE

Taf. 3, Fig. 15, 16

Beschreibung: HUSTEDT (1930), 318, Fig. 155 als *Coscinosira oestrupii*, HASLE (1960), 8 - 10, Taf. 1, Fig. 5 - 7, 11, JOHANSEN & FRYXELL (1985), 173, Fig. 9, 75 - 76.

*Thalassiosira oliverana* (O'MEARA) MAKAROVA & NIKOLAEV

Taf. 4, Fig. 1

Anmerkung: Diese Art wurde von MAKAROVA & NIKOLAEV (1983) zur Gattung *Thalassiosira* gestellt. Die meisten älteren Beschreibungen sind in der Literatur unter dem Gattungsnamen *Schimperiella* zu finden. SOURNIA et al. (1979) änderten den Artnamen von *S. antarctica* KARSTEN auf *S. oliverana* (O'MEARA) SOURNIA.

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 120 - 122 als *Micropodiscus oliveranus* (O'MEARA) GRUNOW, FENNER et al. (1976), 779, Taf. 14, Fig. 1 - 5 als *Schimperiella antarctica* KARSTEN, SOURNIA et al. (1979), 191, Fig. 8 - 9 als *S. oliverana* (O'MEARA), MAKAROVA & NIKOLAEV (1983).

*Thalassiosira ritscheri* (HUSTEDT) HASLE

Beschreibung: JOHANSEN & FRYXELL (1985), 176, Fig. 14, 56 - 57.

*Thalassiosira trifulta* FRYXELL

Taf. 2, Fig. 6

Beschreibung: FRYXELL & HASLE (1979), 16 - 19, Taf. 1 - 5, Fig. 1 - 24, JOHANSEN & FRYXELL (1985), 176, Fig. 12, 65 - 66.

*Thalassiosira tumida* (JANISCH) HASLE

Taf. 4, Fig. 4

Beschreibung: FRYXELL et al. (1986b), JOHANSEN & FRYXELL, (1985), 176 - 177, Fig. 28 - 32.

Gattung **Thalassiothrix** CLEVE & GRUNOW (1860)

Anmerkung: In den untersuchten Sedimenten sind die beiden Arten dieser Gattung nur schwer zu unterscheiden. Da diese Arten nur in Fragmenten vorkommen und diese durch Lösungsprozesse oft zusätzlich beschädigt sind, ist eine eindeutige Zuordnung nur schwer möglich. In älterer Literatur existieren verschiedene Ansichten über die geographische Verbreitung von *T. longissima* und *T. antarctica*. Nach neuer Literatur von HASLE (1990 in MEDLIN & PRIDDLE, 1990) sowie einer mdl. Mittl. von HASLE (1992) wurden die gezählten Individuen der Art *Thalassiothrix antarctica* zugeordnet, die nach oben zitierter Literatur nur in der Antarktis vertreten ist. *T. longissima* tritt demnach nur in der Arktis auf. Eindeutige Identifizierungen könnten nur mit vollständigen Zellen in Wasserproben vorgenommen werden.

*Thalassiothrix antarctica* SCHIMPER ex KARSTEN

Taf. 6, Fig. 13 - 15

Beschreibung: HUSTEDT (1958), 141 - 142, HASLE & DE MENDIOLA (1967), 114, Fig. 35 - 37, 45 - 46, HALLEGRAEFF (1986), 64 - 66, Fig. 15 - 22 als *T. longissima* var. *antarctica*, HASLE & SEMINA (1987), 181 - 186, Fig. 26 - 59.

Gattung **Trichotoxon** REID & ROUND (1987)

*Trichotoxon reinboldii* (VAN HEURCK) REID & ROUND

Beschreibung: HASLE & SEMINA (1987), 189, Fig. 67 - 75 als *Synedra reinboldii*, REID & ROUND (1987).

## Silikoflagellaten

Gattung **Dictyocha** EHRENBERG (1839)

Taf. 7, Fig. 5

Anmerkung: Artbestimmungen wurden innerhalb dieser Gattung nicht durchgeführt.

Gattung **Distephanus** STOEHR (1880)

*Distephanus speculum* (EHRENBERG)

Taf. 7, Fig. 13

Beschreibung: GEMEINHARDT (1930), 61 - 64, Fig. 53.

## Chrysophyceen

Chrysophyceen-Zysten

Taf. 7, Fig. 14 - 16

Beschreibung: MITCHELL & SILVER (1982), 438, Fig. 2 a - f.

Anmerkung: Silikatisches Nanoplankton im Größenbereich von 2 - 6  $\mu\text{m}$  wurde hauptsächlich im südlichen Arbeitsgebiet gefunden. Es handelt sich hierbei um Parmales, eine neue Ordnung innerhalb der Chrysophyceen (BOOTH & MARCHANT, 1987). Diese Zysten treten im südlichen- bzw. südöstlichen Weddellmeer vorwiegend in der Nähe von Schelfeis auf. Die Artbestimmung ist aufgrund der kleinen Gehäuse und Beschädigungen durch Lösung nicht möglich. Nach MARCHANT (1992 mdl. Mittl.) handelt es sich wahrscheinlich um Vertreter der Gattung *Triparma*, deren Schalen sich aus acht, z.T. unterschiedlichen Platten zusammensetzen. Weitere Beschreibungen und Abbildungen sind in den Arbeiten von BOOTH et al. (1980), SILVER et al. (1980), MARCHANT & MC.ELDOWNNEY (1986) und BOOTH & MARCHANT (1987) zu finden.

Gattung **Triparma** BOOTH & MARCHANT (1987)

Taf. 7, Fig. 17 - 23

Beschreibung: BOOTH & MARCHANT (1987), 248 - 258, Fig. 8 - 42, 44 - 45.

## 10.2. Fototafeln

## Tafel 1

Fig. 1 und 3: *Actinocyclus actinochilus* (EHRENBERG) SIMONSEN (Proben PS1163-2, PS1160-2)

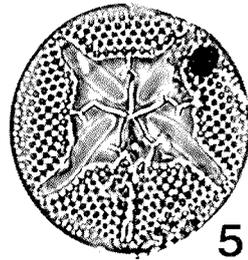
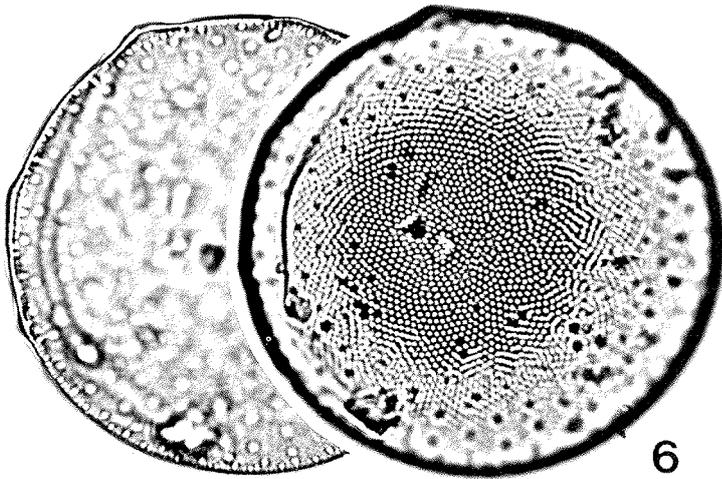
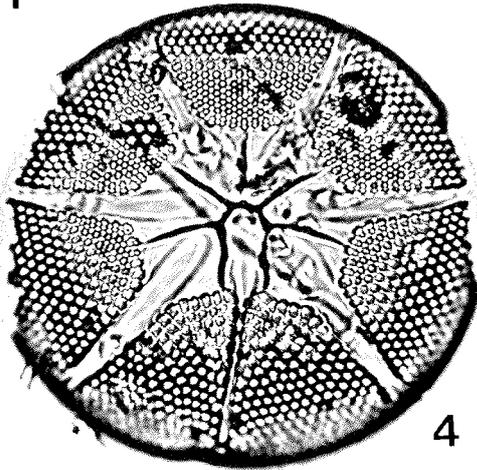
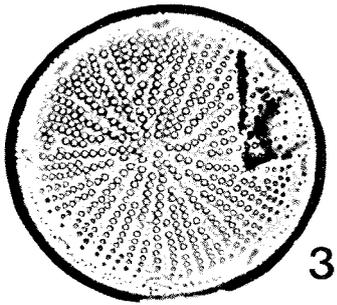
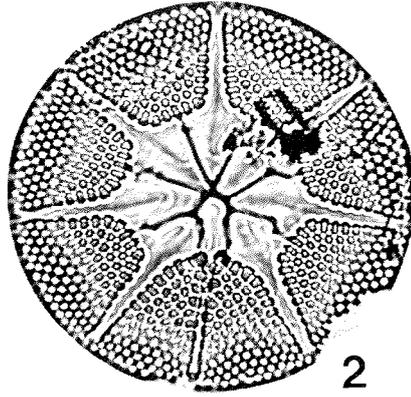
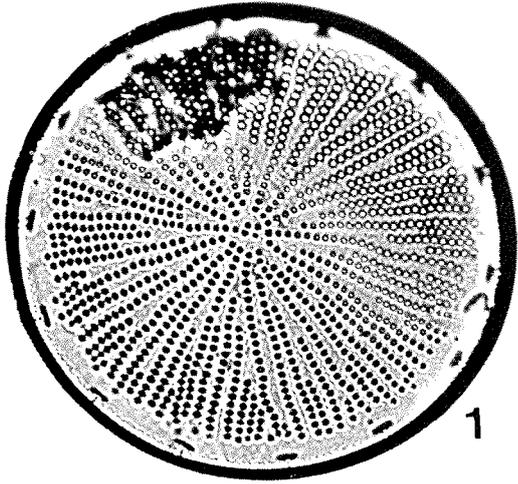
Fig. 2: *Asteromphalus parvulus* KARSTEN (Probe PS1649-1)

Fig. 4: *Asteromphalus hookeri* EHRENBERG (Probe PS1210-1)

Fig. 5: *Asteromphalus hyalinus* KARSTEN (Probe PS1649-1)

Fig. 6: *Porosira pseudodenticulata* (HUSTEDT) JOUSÉ (Probe PS1210-1)

# Tafel 1

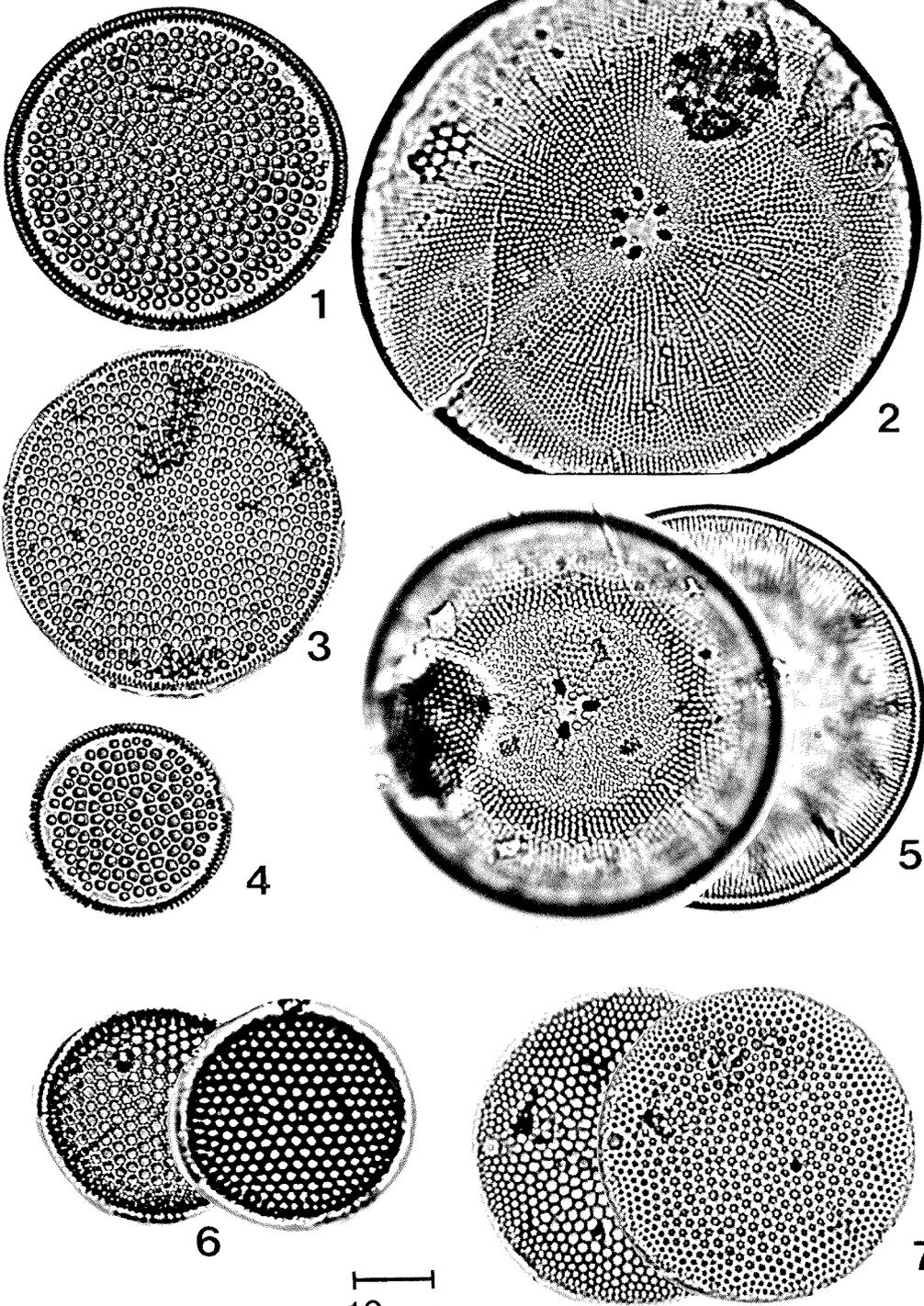


10  $\mu$ m

## Tafel 2

- Fig. 1 und 4: *Azpeitia tabularis* (GRUNOW) FRYXELL & SIMS (Proben PS1654-1, PS1649-1)
- Fig. 2 und 5: *Stellarima microtrias* (EHRENBERG) HASLE & SIMS (Proben PS1273-1, PS1210-1)
- Fig. 3: *Azpeitia tabularis* var. *egregius* (RATTRAY) HUSTEDT (Probe PS2076-1)
- Fig. 6: *Thalassiosira trifulta* FRYXELL (Probe PS1654-1)
- Fig. 7: *Roperia tesselata* (ROPER) GRUNOW (Probe PS2081-1)

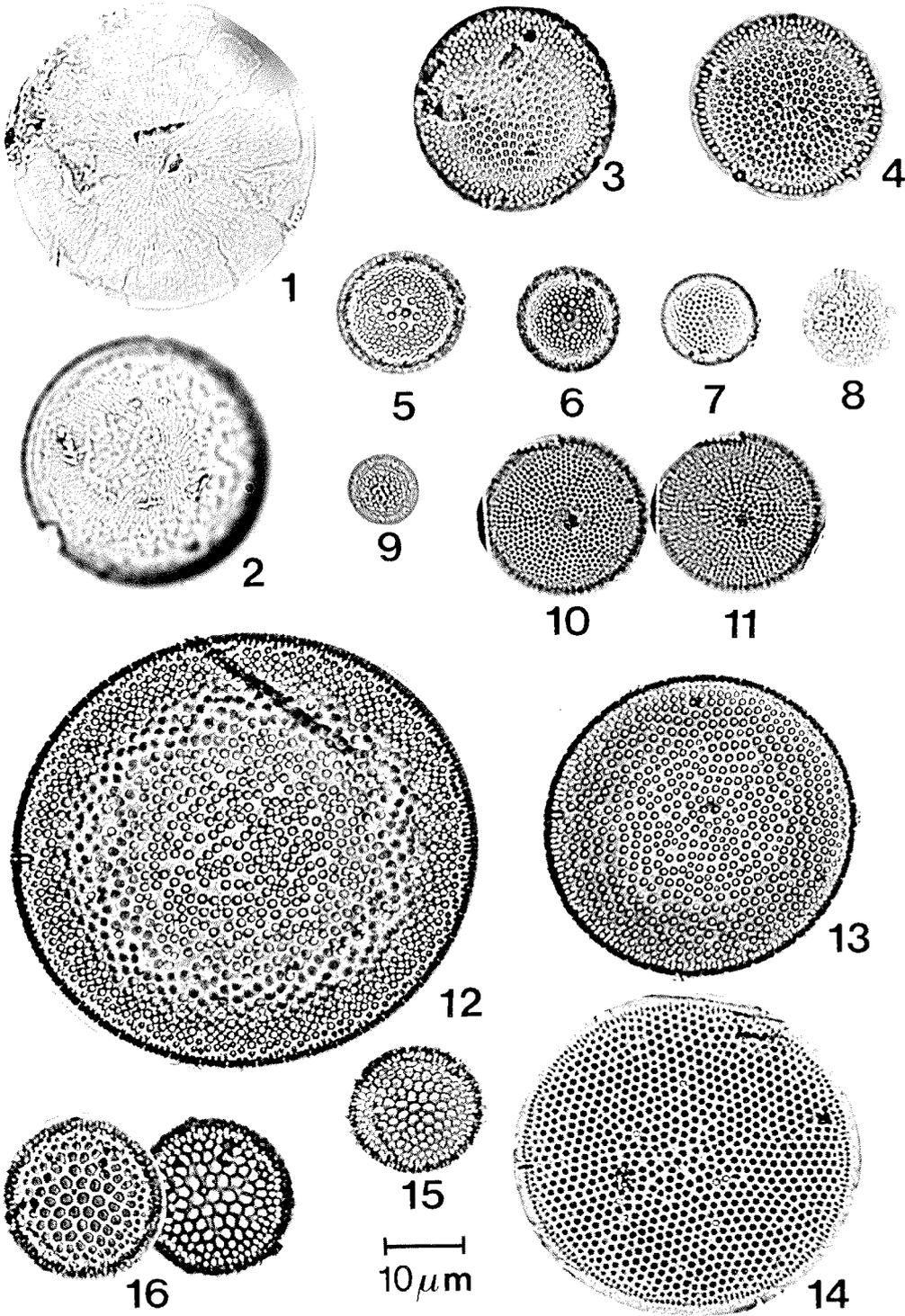
# Tafel 2



### Tafel 3

- Fig. 1 - 2: *Porosira glacialis* (GRUNOW) JØRGENSEN (Proben PS1372-2, PS1428-1)
- Fig. 3 - 4: *Thalassiosira antarctica* COMBER, Dauersporen, (Proben PS1372-2, PS1273-1)
- Fig. 5 - 6: *Thalassiosira gracilis* (KARSTEN) HUSTEDT (Proben PS1372-2, PS1654-1)
- Fig. 7 - 9: *Thalassiosira gracilis* var. *expecta* (VAN LANDINGHAM) FRYXELL & HASLE (Proben PS1186-3, PS1372-2, PS1649-1)
- Fig. 10 - 11: *Thalassiosira gravida* CLEVE (Probe PS1649-1)
- Fig. 12 - 14: *Thalassiosira lentiginosa* (JANISCH) FRYXELL (Proben PS1654-1, PS2081-1)
- Fig. 15 - 16: *Thalassiosira oestrupii* (OSTENFELD) HASLE (Proben PS1755-1, PS2081-1)

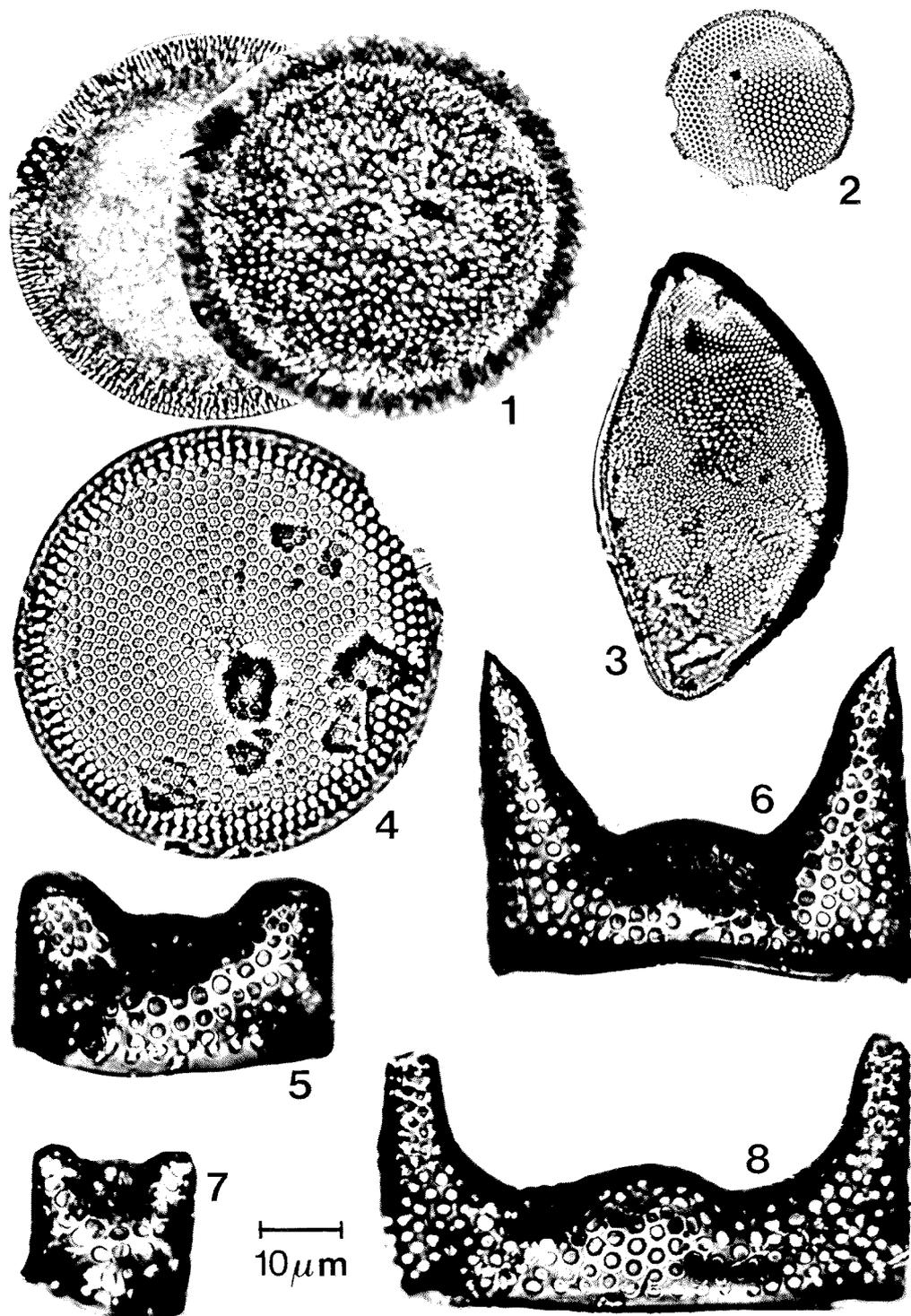
# Tafel 3



#### Tafel 4

- Fig. 1: *Thalassiosira oliverana* (O'MEARA) MAKAROVA & NIKOLAEV (Probe PS1649-1)
- Fig. 2: *Thalassiosira frenguelliopsis* FRYXELL & JOHANSEN (Probe PS1210-1)
- Fig. 3: *Hemidiscus cuneiformis* WALLICH (Probe PS2076-1)
- Fig. 4: *Thalassiosira tumida* (JANISCH) HASLE (Probe PS1210-1)
- Fig. 5 - 8: *Eucampia antarctica* CASTRACANE, Dauersporen, (Proben PS1649-1, PS1192-1, PS1649-1, PS1428-1)

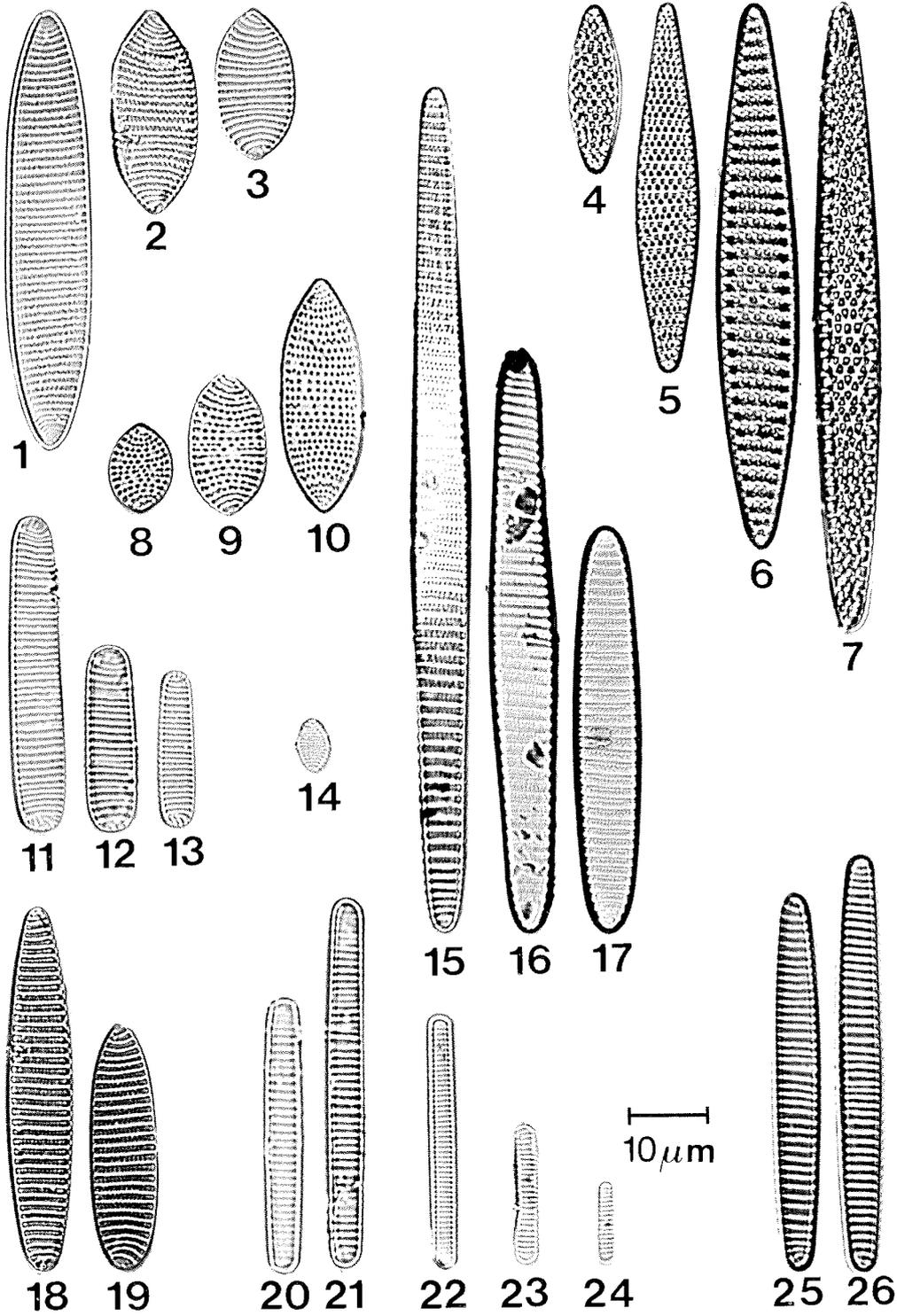
# Tafel 4



## Tafel 5

- Fig. 1 - 3: *Nitzschia angulata* (O'MEARA) HASLE (Proben PS1651-2, PS1786-2, PS1651-2)
- Fig. 4 - 7: *Nitzschia kerguelensis* (O'MEARA) HASLE (Proben PS1654-1, PS1649-1)
- Fig. 8 - 10: *Nitzschia separanda* (HUSTEDT) HASLE (Proben PS1649-1, PS2081-1, PS1649-1)
- Fig. 11 - 13: *Nitzschia curta* (VAN HEURCK) HASLE (Proben PS1276-1, PS1649-1)
- Fig. 14: *Nitzschia pseudonana* HASLE (Probe PS2076-1)
- Fig. 15 - 17: *Nitzschia obliquecostata* (VAN HEURCK) HASLE (Proben PS1210-1, PS1192-1, PS1276-1)
- Fig. 18 - 19: *Nitzschia ritscheri* (HUSTEDT) HASLE (Proben PS1654-1, PS1649-1)
- Fig. 20 - 21: *Nitzschia vanheurckii* (M.PER.) HASLE (Proben PS1192-1, PS1372-2)
- Fig. 22 - 24: *Nitzschia cylindrus* (GRUNOW) HASLE (Proben PS1428-1, PS1372-2)
- Fig. 25 - 26: *Nitzschia sublinearis* (HEIDEN & KOLBE) HASLE (Probe PS1276-1)

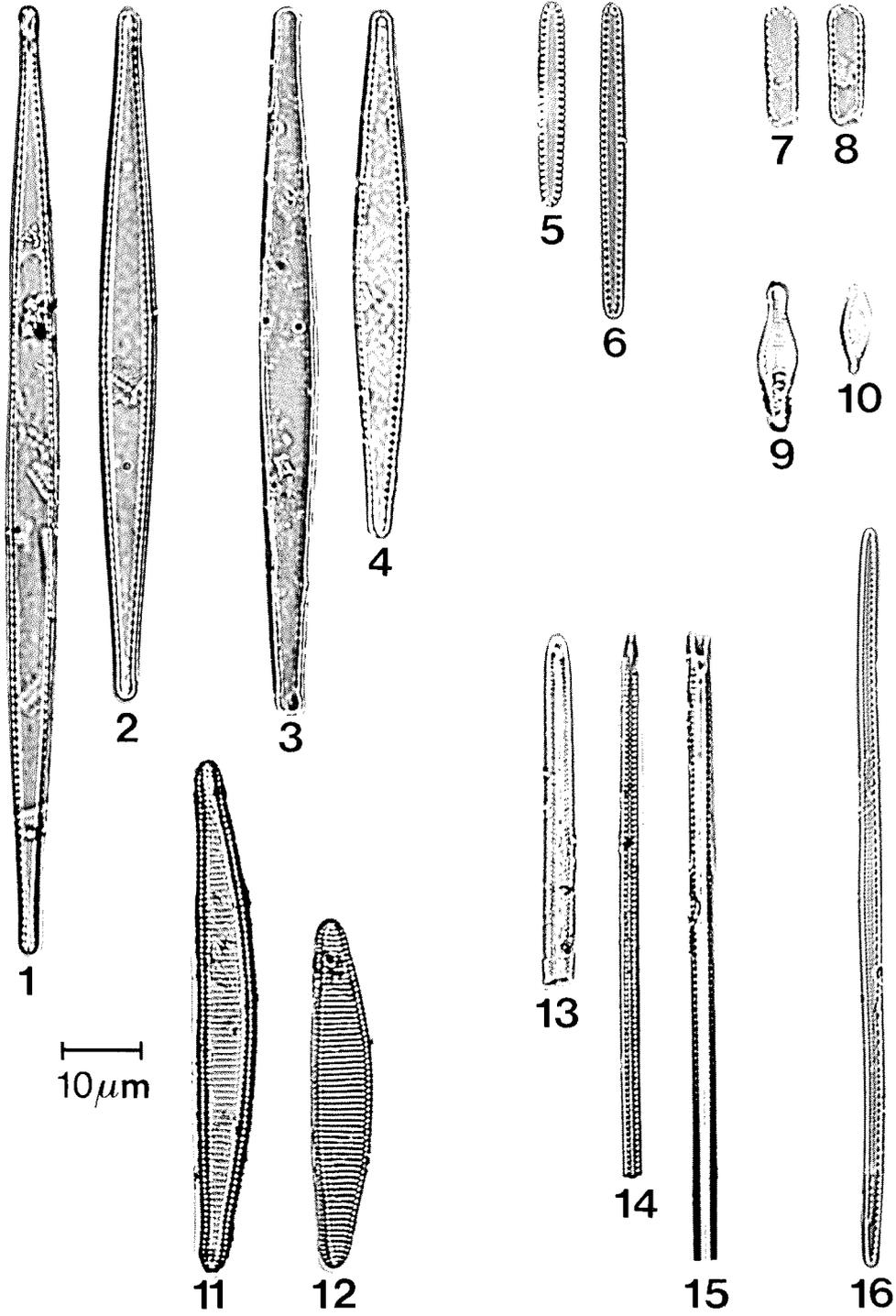
# Tafel 5



## Tafel 6

- Fig. 1 - 2: *Thalassionema capitulata* (CASTR.) HUSTEDT (Probe PS1654-1)
- Fig. 3 - 4: *Thalassionema nitzschioides* var. *lanceolata* GRUNOW (Proben PS2076-1, PS1752-5)
- Fig. 5 - 6: *Thalassionema nitzschioides* fo. 1 (sensu HEIDEN & KOLBE) (Probe PS1649-1)
- Fig. 7 - 8: *Thalassionema nitzschioides* var. *parva* HEIDEN (Probe PS2076-1)
- Fig. 9 - 10: *Nitzschia bicapitata* CLEVE (Probe PS2109-3)
- Fig. 11 - 12: *Pseudoeunotia doliolus* (WALLICH) GRUNOW (Probe PS2076-1)
- Fig. 13 - 15: *Thalassiothrix antarctica* SCHIMPER ex KARSTEN (Proben PS2081-1, PS1786-2)
- Fig. 16: *Nitzschia turgiduloides* HASLE (Probe PS1276-1)

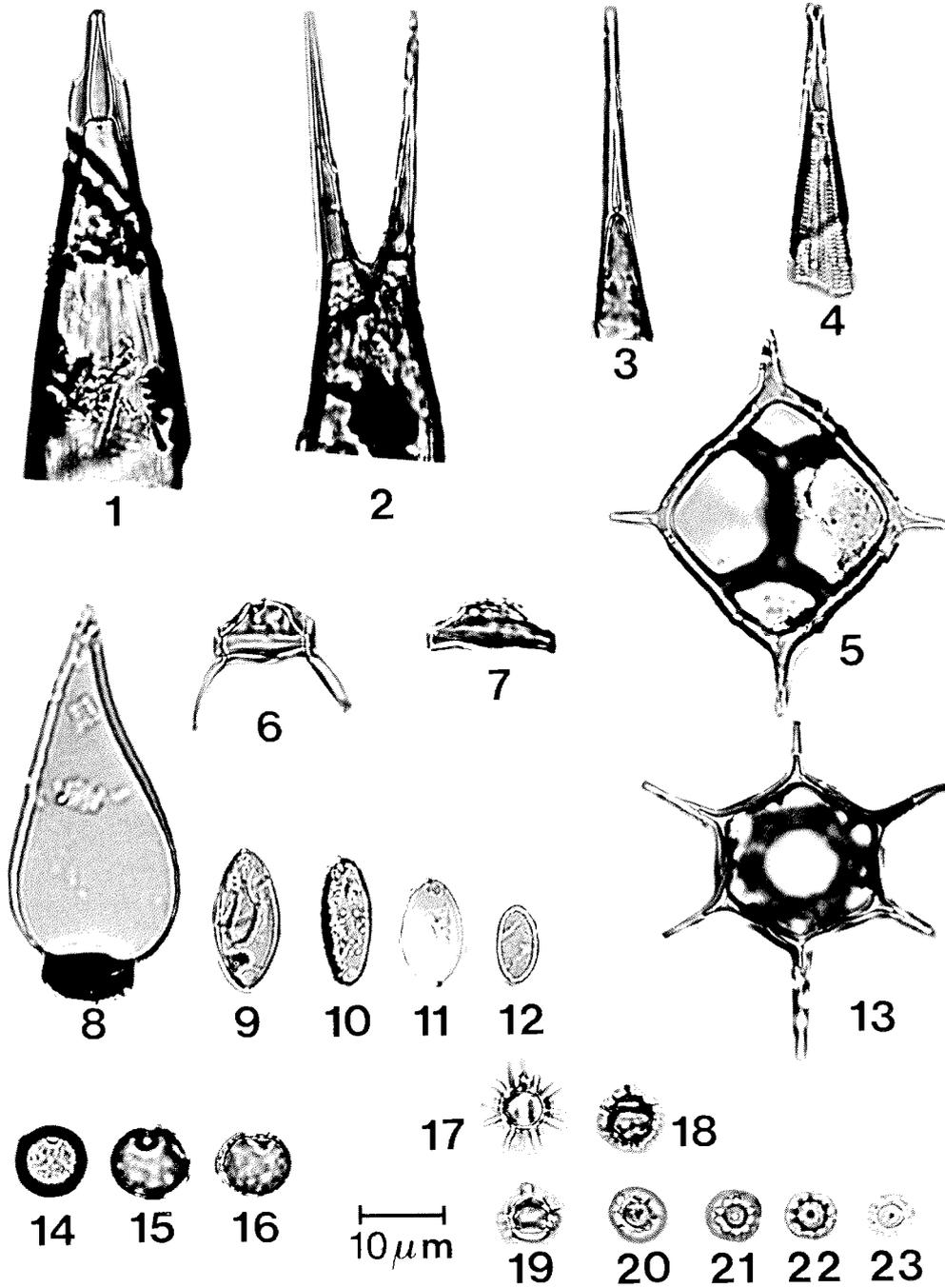
# Tafel 6



## Tafel 7

- Fig. 1: *Rhizosolenia antennata* f. *semispina* SUNDSTRÖM (Probe PS1649-1)
- Fig. 2: *Rhizosolenia antennata* (EHRENBERG) BROWN f. *antennata* (Probe PS1649-1)
- Fig. 3: *Rhizosolenia hebetata* f. *semispina* (HENSEN) GRAN (Probe PS1786-2)
- Fig. 4: *Rhizosolenia bergonii* H. PERAGALLO (Probe PS2076-1)
- Fig. 5: *Dictyocha* EHRENBERG sp., (Probe PS2076-1)
- Fig. 6 - 12: *Chaetoceros* sp. EHRENBERG, Dauersporen, (Proben PS1276-1, PS1273-1, PS2081-1, PS1752-5)
- Fig. 13: *Distephanus speculum* (EHRENBERG) (Probe PS2081-1)
- Fig. 14 - 16: Chrysophyceen-Zysten (Proben PS1160-2, PS1192-1, PS1276-1)
- Fig. 17 - 23: Parmales: *Triparma* sp. BOOTH & MARCHANT, (Proben PS1210-1, PS1396-1, PS1273-1, PS1428-1)

# Tafel 7



### 10.3. Kernbeschreibung

PS1768-8 (SL)

North of SW Indian Ridge

ANT VIII/3

Recovery: 8.96 m

52° 35.6'S, 4° 28.5'E

Water depth: 3270 m

Lithology	Struct.	Colour	Description	Age	
			0-35 cm: diatomaceous ooze, very pale brown (0-13 cm), light yellowish brown (13-35 cm)		
	10YR 7/3				
	10YR 6/4			35-62 cm: diatomaceous ooze, very pale brown (35-53 cm), pale brown (53-62 cm)	
	10YR 7/3				
	10YR 6/3			62-70 cm: diatomaceous ooze, very pale brown, two light gray layers (62-64 cm and 66-68 cm)	
	10YR 7/2				
	10YR 8/3				
	10YR 7/4			70-94 cm: diatomaceous ooze, very pale brown, darker spots	1
	≡≡≡			94-139 cm: diatomaceous ooze, light yellowish brown (94-96 cm), dark brown (96-99 cm), pale yellow (99-139 cm)	
	2.5Y 7/4				
				106-170 cm: partly core deformation	
				139-230 cm: diatomaceous mud, homogeneous, olive	2
	5Y 5/3				
			230-240 cm: diatomaceous mud, homogeneous, olive gray		
5Y 4/2					
			240-440 cm: diatomaceous mud, olive, scattered dark components occur throughout, 290-306 cm: some thin-bedded diatomaceous mud layers, black (5Y 2.5/2)		
5Y 5/3			350-375 cm: alternating layers of diatomaceous mud with scattered dark sediment components and diatomaceous mud		
			386-387 cm: diatomaceous mud, pale olive (5Y 6/4)		
			395 cm: large burrow of diatomaceous ooze	3	
			440-453 cm: diatomaceous mud, olive gray, some ash particles		
			453-486 cm: diatomaceous mud, grayish brown		
5Y 4/2			453-458 cm: some burrows, olive gray (5Y 4/2)		
2.5Y 5/2			474-478 cm: yellowish brown burrows (2.5Y 6/4)		
			480-483 cm: ash-nch layer, olive gray		
			485-486 cm: olive (5Y 5/6)	4	
5Y 5/3					

PS1768-8 (SL)

North of SW Indian Ridge

ANT VIII/3

Recovery: 8.96 m

52° 35.6'S, 4° 28.5'E

Water depth: 3270 m

	Lithology	Struct.	Colour	Description	Age		
5							
			5Y 5/3		486-540 cm: diatomaceous mud, olive	4	
			2.5Y 5/2		540-570 cm: diatomaceous mud, grayish brown		
			2.5Y 5/2		570-598 cm: diatomaceous mud, grayish brown mixed with black		
			5Y 2.5/1				
		6		10YR 6/2		598-623 cm: diatomaceous ooze, light brownish gray, with scattered black ash components	
				2.5Y 5/2		623-640 cm: diatomaceous mud, grayish brown (623-630), very dark grayish brown (630-640), ash-bearing burrows	
			2.5Y 5/2		640-698 cm: diatomaceous ooze, grayish brown, scattered ash particles		
		7		2.5Y 5/2		698-730 cm: diatomaceous mud, grayish brown, scattered ash particles	5
						730-792 cm: diatomaceous ooze, very pale brown 776-777 cm: pale yellow burrow(2.5 7/4)	
	2.5Y 5/2						
8		10YR 7/2		792-816 cm: diatomaceous ooze, light gray and very pale brown			
		10YR 7/3					
		2.5YR 7/4		816-831 cm: diatomaceous ooze, pale yellow 825-827 cm: light yellowish brown burrow (2.5Y 6/4)			
9		5Y 4/3		831-891 cm: diatomaceous mud, olive, olive gray (5Y 4/2) 856-857cm	6		
		2.5Y 5/2		891-896 cm: diatomaceous mud, grayish brown			
10							

Abb. 34: Kernbeschreibung für den bearbeiteten Schwerelotkern PS1768-8 aus der Antarktischen Zone (Beschreibung nach BOHRMANN, unpubl., AWI).

## 10.4. Stationsliste

**Tab. 9:** Liste der bearbeiteten Oberflächenproben. BG = Backengreifer (Van Veen), GKG = Großkastengreifer, MIC = Minicorer, MUC = Multicorer.

Probennr.	Fahrtabschnitt	Geograph. Breite	Geograph. Länge	Gerät	Tiefe (m)
PS1138-8	ANT II/3	62°15.8' S	57°38.2' W	GKG	1945
PS1141-2	ANT II/3	63°31.8' S	61°47.4' W	GKG	1392
PS1146-2	ANT II/3	61°38.2' S	54°46.8' W	GKG	2297
PS1147-4	ANT II/3	61°36.1' S	54°51.6' W	GKG	2270
PS1160-2	ANT II/3	60°46.6' S	45°47.9' W	GKG	317
PS1161-1	ANT II/3	60°44.7' S	45°47.6' W	GKG	306
PS1162-1	ANT II/3	60°42.9' S	45°48.2' W	GKG	244
PS1163-2	ANT II/3	60°42.7' S	45°45.2' W	GKG	123
PS1174-2	ANT II/3	63°32.5' S	45°33.3' W	GKG	3072
PS1176-3	ANT II/3	62°10.7' S	45°55.8' W	GKG	1617
PS1177-3	ANT II/3	61°56.5' S	45°58.0' W	GKG	470
PS1178-4	ANT II/3	61°24.4' S	46°58.9' W	GKG	486
PS1179-1	ANT II/3	61°36.2' S	48°07.7' W	GKG	3079
PS1180-4	ANT II/3	62°03.0' S	50°41.3' W	GKG	3387
PS1181-2	ANT II/3	62°11.9' S	54°26.2' W	GKG	814
PS1182-2	ANT II/3	62°08.7' S	54°46.0' W	GKG	697
PS1183-4	ANT II/3	62°46.8' S	55°25.5' W	GKG	112
PS1184-6	ANT II/3	62°17.0' S	57°20.5' W	GKG	1831
PS1186-3	ANT II/3	62°20.8' S	57°56.4' W	GKG	1942
PS1187-1	ANT II/3	62°27.5' S	57°36.1' W	GKG	1576
PS1190-1	ANT II/3	60°55.2' S	57°05.3' W	GKG	3305
PS1192-1	ANT II/4	77°22.9' S	39°15.6' W	GKG	811
PS1193-2	ANT II/4	76°53.0' S	50°36.5' W	GKG	257
PS1195-2	ANT II/4	76°51.1' S	50°29.2' W	GKG	257
PS1197-1	ANT II/4	76°21.4' S	53°12.8' W	GKG	450
PS1199-1	ANT II/4	76°45.1' S	51°30.3' W	GKG	287
PS1200-4	ANT II/4	76°31.7' S	52°42.9' W	GKG	374
PS1204-1	ANT II/4	74°55.7' S	60°36.4' W	GKG	641
PS1207-1	ANT II/4	75°46.6' S	56°51.5' W	GKG	348
PS1208-1	ANT II/4	75°20.5' S	58°47.3' W	GKG	628
PS1209-1	ANT II/4	75°32.4' S	57°42.9' W	GKG	516
PS1210-1	ANT II/4	76°09.3' S	54°25.2' W	GKG	409
PS1211-1	ANT II/4	75°59.1' S	55°13.4' W	GKG	466
PS1212-1	ANT II/4	75°31.1' S	56°53.8' W	GKG	425
PS1214-1	ANT II/4	77°06.2' S	48°36.5' W	GKG	241
PS1222-1	ANT II/4	75°51.5' S	34°18.8' W	GKG	670
PS1223-1	ANT II/4	75°58.9' S	33°32.9' W	GKG	754
PS1225-2	ANT II/4	57°02.4' S	9°14.6' E	GKG	5410
PS1273-1	ANT III/3	75°09.6' S	27°19.7' W	GKG	333
PS1276-1	ANT III/3	77°39.2' S	44°53.6' W	GKG	255
PS1277-1	ANT III/3	77°30.8' S	43°11.4' W	GKG	447
PS1278-1	ANT III/3	77°32.4' S	42°07.6' W	GKG	632
PS1281-1	ANT III/3	73°54.4' S	22°48.2' W	GKG	242
PS1282-1	ANT III/3	73°23.9' S	20°30.6' W	GKG	349
PS1333-2	ANT IV/2	63°14.0' S	61°37.8' W	GKG	880

**Tab. 9:** Fortsetzung, Liste der bearbeiteten Oberflächenproben. BG = Backengreifer (Van Veen), GKG = Großkastengreifer, MIC = Minicorer, MUC = Multicorer.

Probennr.	Fahrtabschnitt	Geograph. Breite	Geograph. Länge	Gerät	Tiefe (m)
PS1338-1	ANT IV/2	62°53.6' S	60°04.9' W	GKG	1058
PS1363-3	ANT IV/3	65°04.0' S	27°48.0' W	GKG	4913
PS1364-1	ANT IV/3	67°51.0' S	20°43.0' W	GKG	4893
PS1366-2	ANT IV/3	70°26.6' S	8°25.4' W	GKG	380
PS1367-1	ANT IV/3	72°20.4' S	16°30.9' W	GKG	300
PS1370-1	ANT IV/3	72°03.1' S	17°26.6' W	GKG	2279
PS1372-2	ANT IV/3	72°12.4' S	16°42.9' W	GKG	792
PS1373-2	ANT IV/3	72°14.6' S	16°52.5' W	GKG	1227
PS1374-2	ANT IV/3	72°13.0' S	16°55.8' W	GKG	1458
PS1375-2	ANT IV/3	72°10.2' S	17°07.7' W	GKG	1762
PS1376-2	ANT IV/3	71°58.0' S	15°18.3' W	GKG	289
PS1380-1	ANT IV/3	70°00.4' S	9°59.1' W	GKG	2062
PS1381-1	ANT IV/3	70°12.3' S	9°46.6' W	GKG	1856
PS1382-1	ANT IV/3	70°16.7' S	9°41.9' W	GKG	1482
PS1383-1	ANT IV/3	70°26.5' S	9°35.2' W	GKG	1058
PS1384-1	ANT IV/3	70°27.7' S	9°36.9' W	GKG	704
PS1385-1	ANT IV/3	70°29.0' S	9°35.7' W	GKG	330
PS1387-1	ANT IV/3	68°43.9' S	5°50.2' W	GKG	2425
PS1388-1	ANT IV/3	69°01.8' S	5°53.5' W	GKG	2521
PS1389-1	ANT IV/3	69°13.8' S	5°59.5' W	GKG	2282
PS1390-1	ANT IV/3	69°36.9' S	6°24.0' W	GKG	2774
PS1391-1	ANT IV/3	70°05.9' S	6°29.8' W	GKG	1787
PS1394-1	ANT IV/3	70°05.1' S	6°40.9' W	GKG	1938
PS1395-1	ANT IV/3	70°13.0' S	6°58.9' W	GKG	1489
PS1396-1	ANT IV/3	76°57.0' S	50°06.0' W	GKG	222
PS1397-1	ANT IV/3	76°52.6' S	50°01.5' W	GKG	270
PS1398-2	ANT IV/3	76°46.0' S	50°34.0' W	GKG	284
PS1399-1	ANT IV/3	76°48.9' S	51°00.9' W	GKG	251
PS1400-4	ANT IV/3	77°33.0' S	36°24.0' W	GKG	1064
PS1401-2	ANT IV/3	77°36.0' S	35°54.0' W	GKG	691
PS1402-2	ANT IV/3	77°29.0' S	34°44.0' W	GKG	320
PS1403-1	ANT IV/3	76°53.1' S	33°23.4' W	GKG	431
PS1406-1	ANT IV/3	71°20.3' S	13°25.4' W	GKG	227
PS1407-1	ANT IV/3	71°14.5' S	13°34.1' W	GKG	421
PS1410-1	ANT IV/3	71°11.3' S	13°33.1' W	GKG	1511
PS1411-1	ANT IV/3	71°09.5' S	13°34.2' W	GKG	1812
PS1412-1	ANT IV/3	71°02.5' S	13°14.4' W	GKG	1891
PS1419-1	ANT IV/3	74°39.9' S	35°04.9' W	GKG	479
PS1421-1	ANT IV/3	74°40.3' S	33°57.4' W	GKG	540
PS1424-1	ANT IV/3	76°35.3' S	49°47.0' W	GKG	286
PS1425-1	ANT IV/3	70°20.7' S	6°45.8' W	GKG	456
PS1427-1	ANT IV/3	70°18.6' S	6°54.0' W	GKG	803
PS1428-1	ANT IV/3	70°16.5' S	6°53.7' W	GKG	1165
PS1452-1	ANT IV/4	66°56.8' S	4°56.4' E	GKG	4150
PS1453-1	ANT IV/4	66°04.0' S	0°49.0' W	GKG	4280
PS1454-1	ANT IV/4	65°32.4' S	0°35.8' E	GKG	3228
PS1455-4	ANT IV/4	65°25.4' S	1°50.4' E	GKG	2730

**Tab. 9:** Fortsetzung, Liste der bearbeiteten Oberflächenproben. BG = Backengreifer (Van Veen), GKG = Großkastengreifer, MIC = Minicorer, MUC = Multicorer.

Probennr.	Fahrtabschnitt	Geograph. Breite	Geograph. Länge	Gerät	Tiefe (m)
PS1459-4	ANT IV/4	64°31.5' S	3°11.0' E	GKG	2123
PS1460-1	ANT IV/4	63°53.6' S	4°00.0' E	GKG	4000
PS1472-4	ANT V/4	76°35.1' S	30°32.7' W	BG	258
PS1474-1	ANT V/4	75°51.5' S	36°23.2' W	GKG	583
PS1477-1	ANT V/4	70°06.1' S	6°46.4' W	GKG	1950
PS1478-1	ANT V/4	70°22.6' S	12°35.3' W	GKG	2227
PS1483-2	ANT V/4	71°43.2' S	19°14.9' W	GKG	4133
PS1484-2	ANT V/4	71°45.5' S	21°16.5' W	GKG	4212
PS1485-1	ANT V/4	72°33.4' S	18°46.7' W	GKG	2075
PS1486-2	ANT V/4	73°24.2' S	23°05.2' W	GKG	2572
PS1508-2	ANT V/4	66°59.6' S	32°21.6' W	GKG	4655
PS1537-2	ANT VI/2	61°58.9' S	55°52.0' W	GKG	1812
PS1539-1	ANT VI/2	62°40.2' S	57°15.4' W	GKG	455
PS1540-1	ANT VI/2	61°44.4' S	57°53.8' W	GKG	296
PS1542-1	ANT VI/2	61°17.1' S	58°09.6' W	GKG	2380
PS1543-1	ANT VI/2	60°47.8' S	58°36.7' W	GKG	4479
PS1544-1	ANT VI/2	62°04.9' S	57°39.0' W	GKG	280
PS1555-1	ANT VI/2	65°45.1' S	69°02.9' W	GKG	218
PS1559-1	ANT VI/2	64°46.9' S	67°36.6' W	GKG	345
PS1560-1	ANT VI/2	64°36.5' S	68°00.5' W	GKG	825
PS1563-1	ANT VI/2	64°27.9' S	68°16.9' W	GKG	2804
PS1576-1	ANT VI/3	62°19.4' S	43°45.1' W	GKG	1122
PS1649-1	ANT VI/3	54°54.9' S	3°17.2' E	GKG	2446
PS1651-2	ANT VII/3	53°38.4' S	3°50.7' E	GKG	2089
PS1652-1	ANT VII/3	53°40.2' S	5°05.0' E	GKG	1960
PS1654-1	ANT VII/3	50°09.7' S	5°45.9' E	GKG	3763
PS1751-2	ANT VIII/3	44°29.3' S	10°28.3' E	MUC	4770
PS1752-5	ANT VIII/3	45°37.2' S	9°36.5' E	MUC	4507
PS1755-1	ANT VIII/3	47°47.3' S	7°06.1' E	MUC	4263
PS1756-6	ANT VIII/3	48°53.7' S	6°43.7' E	MUC	3803
PS1759-1	ANT VIII/3	50°09.2' S	5°45.3' E	MUC	3717
PS1764-2	ANT VIII/3	50°51.1' S	5°40.3' E	MUC	3874
PS1765-1	ANT VIII/3	51°49.9' S	4°51.8' E	MUC	3749
PS1768-1	ANT VIII/3	52°35.5' S	4°27.6' E	MUC	3298
PS1771-4	ANT VIII/3	53°45.5' S	3°46.8' E	MUC	1811
PS1772-6	ANT VIII/3	55°27.5' S	1°10.0' E	MUC	4136
PS1773-2	ANT VIII/3	56°19.2' S	0°28.8' W	MUC	3267
PS1774-1	ANT VIII/3	54°38.8' S	2°52.2' W	MUC	2449
PS1775-5	ANT VIII/3	50°57.1' S	7°30.1' W	MUC	2516
PS1776-6	ANT VIII/3	49°43.7' S	8°46.1' W	MUC	3161
PS1777-7	ANT VIII/3	48°13.9' S	11°02.2' W	MUC	2556
PS1778-1	ANT VIII/3	49°00.6' S	12°42.2' W	MUC	3361
PS1779-3	ANT VIII/3	50°23.7' S	14°04.5' W	MUC	3549
PS1780-1	ANT VIII/3	51°41.0' S	15°16.4' W	MUC	4258
PS1782-6	ANT VIII/3	55°11.4' S	18°36.6' W	MUC	5016
PS1783-1	ANT VIII/3	54°54.5' S	22°43.1' W	MUC	3390
PS1786-2	ANT VIII/3	54°55.9' S	31°44.2' W	MUC	5756

**Tab. 9:** Fortsetzung, Liste der bearbeiteten Oberflächenproben. BG = Backengreifer (Van Veen), GKG = Großkastengreifer, MIC = Minicorer, MUC = Multicorer.

Probennr.	Fahrtabschnitt	Geograph. Breite	Geograph. Länge	Gerät	Tiefe (m)
PS1787-1	ANT VIII/5	76°55.8' S	49°50.6' W	GKG	233
PS1794-2	ANT VIII/5	73°32.2' S	25°54.6' W	GKG	3381
PS1795-1	ANT VIII/5	74°30.2' S	28°11.0' W	GKG	1895
PS1798-2	ANT VIII/5	73°42.0' S	27°21.4' W	GKG	2767
PS1800-2	ANT VIII/5	70°00.9' S	14°58.4' W	GKG	4696
PS1802-2	ANT VIII/5	73°10.1' S	34°40.2' W	GKG	3107
PS1803-2	ANT VIII/5	67°30.6' S	5°00.8' W	GKG	4722
PS1961-1	ANT IX/2	65°43.1' S	35°26.8' W	MIC	4777
PS1967-1	ANT IX/2	65°57.4' S	30°04.2' W	MIC	4847
PS1973-1	ANT IX/2	66°53.4' S	25°32.8' W	MIC	4841
PS1975-1	ANT IX/2	67°30.4' S	22°31.3' W	MIC	4893
PS1977-1	ANT IX/2	68°17.1' S	19°20.4' W	MIC	4838
PS1978-1	ANT IX/2	68°50.4' S	17°53.6' W	MIC	4795
PS1979-1	ANT IX/2	69°22.0' S	16°29.8' W	MIC	4735
PS1981-1	ANT IX/2	70°07.9' S	14°15.2' W	MIC	4526
PS1985-1	ANT IX/2	70°47.7' S	12°22.2' W	MIC	2074
PS1987-1	ANT IX/2	71°04.9' S	11°33.7' W	MIC	273
PS1988-1	ANT IX/2	54°19.8' S	3°24.1' W	MIC	2704
PS2073-1	ANT IX/4	39°35.4' S	14°33.9' E	MUC	4692
PS2075-3	ANT IX/4	40°48.4' S	13°43.5' E	MUC	3129
PS2076-1	ANT IX/4	41°08.1' S	13°28.8' E	MUC	2086
PS2080-1	ANT IX/4	41°43.0' S	13°02.8' E	MUC	5078
PS2081-1	ANT IX/4	42°41.5' S	12°11.5' E	MUC	4794
PS2082-3	ANT IX/4	43°13.1' S	11°45.5' E	MUC	4661
PS2087-1	ANT IX/4	49°08.0' S	6°42.3' E	MUC	3451
PS2091-1	ANT IX/4	53°52.3' S	3°35.9' E	MUC	2490
PS2093-1	ANT IX/4	54°10.3' S	3°22.7' E	MUC	1441
PS2095-1	ANT IX/4	54°18.5' S	3°13.9' E	MUC	486
PS2096-1	ANT IX/4	54°30.4' S	3°00.9' E	MUC	502
PS2099-1	ANT IX/4	54°33.6' S	2°40.5' E	MUC	2006
PS2102-1	ANT IX/4	53°04.5' S	4°59.8' W	MUC	2388
PS2103-2	ANT IX/4	51°19.8' S	3°19.4' W	MUC	2947
PS2104-1	ANT IX/4	50°44.5' S	3°12.7' W	MUC	2592
PS2105-2	ANT IX/4	48°41.6' S	2°50.8' W	MUC	3618
PS2108-1	ANT IX/4	39°50.2' S	1°02.0' E	MUC	4920
PS2109-3	ANT IX/4	34°59.9' S	3°10.1' E	MUC	5035
PS2230-1	ANT X/4	34°45.2' S	17°21.4' E	MIC	2575
PS2231-1	ANT X/4	35°36.3' S	16°22.1' E	MIC	4285
PS2233-1	ANT X/4	37°32.3' S	14°06.8' E	MIC	4929

## 10.5. Tabellen zur statistischen Auswertung

**Tab. 10:** Varimax Factor Matrix (Probenfaktorenmatrix) des antarktischen Rohdatensatzes (AR 178/34), Kom. = Kommunalität

PS-Nr.	Kom.	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	PS-Nr.	Kom.	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
1138-8	0,998	-0,012	0,950	0,288	0,112	1367-1	0,992	0,059	0,222	0,967	0,068
1141-2	0,998	0,008	0,923	0,365	0,114	1370-1	0,992	0,667	0,478	0,554	0,108
1146-2	0,983	-0,010	0,933	0,313	0,114	1372-2	0,985	0,054	0,137	0,979	0,068
1147-4	0,998	-0,003	0,930	0,347	0,110	1373-2	0,979	0,090	0,112	0,977	0,069
1160-2	0,993	-0,025	0,941	0,306	0,116	1374-2	0,995	0,297	0,452	0,831	0,102
1161-1	0,991	-0,031	0,944	0,293	0,116	1375-2	0,997	0,430	0,410	0,796	0,101
1162-1	0,993	-0,025	0,949	0,281	0,116	1376-2	0,995	0,054	0,721	0,679	0,111
1163-2	0,991	-0,020	0,896	0,418	0,117	1380-1	0,990	0,852	0,132	0,491	0,075
1174-2	0,987	0,063	0,928	0,334	0,105	1381-1	0,990	0,729	0,274	0,613	0,088
1176-3	0,993	0,007	0,943	0,301	0,118	1382-1	0,992	0,668	0,278	0,678	0,092
1177-3	0,995	-0,012	0,947	0,291	0,116	1383-1	0,986	0,188	0,031	0,973	0,063
1178-4	0,995	0,008	0,943	0,303	0,117	1384-1	0,992	0,159	-0,033	0,981	0,050
1179-1	0,992	0,027	0,940	0,312	0,105	1385-1	0,882	0,329	0,323	0,816	0,057
1180-4	0,055	0,057	0,117	0,188	-0,047	1387-1	0,991	0,922	0,302	0,202	0,091
1181-2	0,927	-0,027	0,846	0,452	0,083	1388-1	0,989	0,907	0,192	0,350	0,083
1182-2	0,853	-0,008	0,801	0,455	0,070	1389-1	0,977	0,945	0,199	0,201	0,074
1183-4	0,978	-0,031	0,900	0,398	0,097	1390-1	0,975	0,950	0,179	0,187	0,077
1184-6	0,998	-0,011	0,930	0,348	0,109	1391-1	0,983	0,714	0,355	0,582	0,095
1186-1	0,998	0,004	0,948	0,294	0,113	1394-1	0,993	0,758	0,269	0,581	0,091
1187-1	0,997	-0,029	0,944	0,304	0,113	1395-1	0,996	0,532	0,261	0,798	0,089
1190-1	0,960	0,970	0,074	0,104	0,052	1396-1	0,980	-0,021	0,377	0,911	0,089
1192-1	0,998	-0,034	0,721	0,683	0,105	1397-1	0,988	-0,033	0,561	0,814	0,100
1193-2	0,949	-0,031	0,474	0,846	0,090	1398-2	0,978	-0,033	0,397	0,901	0,090
1195-1	0,967	-0,014	-0,140	0,972	0,038	1399-1	0,982	-0,026	0,635	0,753	0,106
1197-1	0,715	0,009	0,452	0,714	0,035	1400-4	0,990	-0,033	0,467	0,873	0,093
1199-1	0,824	-0,007	0,192	0,885	0,056	1401-2	0,973	-0,029	0,184	0,966	0,071
1200-4	0,919	-0,018	0,391	0,873	0,063	1402-2	0,979	-0,019	0,141	0,977	0,068
1204-1	0,992	-0,031	0,438	0,891	0,078	1403-1	0,985	-0,029	0,229	0,963	0,073
1207-1	0,946	-0,034	0,536	0,805	0,098	1406-1	0,982	0,032	0,471	0,868	0,080
1208-1	0,997	-0,035	0,690	0,713	0,104	1407-1	0,989	0,067	0,194	0,971	0,060
1209-1	0,983	-0,032	0,438	0,884	0,090	1410-1	0,995	0,314	0,573	0,746	0,108
1210-1	0,965	-0,014	0,760	0,612	0,108	1411-1	0,986	0,341	0,432	0,822	0,088
1211-1	0,987	-0,031	0,508	0,848	0,092	1412-1	0,993	0,447	0,469	0,751	0,103
1212-1	0,985	-0,031	0,441	0,883	0,091	1419-1	0,976	-0,021	0,214	0,961	0,075
1214-1	0,976	-0,018	0,097	0,981	0,058	1421-1	0,984	-0,018	0,200	0,969	0,071
1222-1	0,984	-0,030	0,537	0,828	0,096	1424-1	0,979	-0,034	0,425	0,888	0,091
1223-1	0,984	-0,030	0,519	0,840	0,094	1425-1	0,707	0,072	0,322	0,773	0,026
1225-2	0,992	0,994	0,023	0,027	0,059	1427-1	0,946	0,296	0,117	0,918	0,050
1273-1	0,993	-0,029	0,594	0,795	0,091	1428-1	0,948	0,293	0,431	0,819	0,077
1276-1	0,800	-0,022	-0,095	0,888	0,038	1452-1	0,989	0,992	0,016	0,025	0,057
1277-1	0,979	-0,031	0,336	0,926	0,085	1453-1	0,985	0,990	0,015	0,028	0,057
1278-1	0,988	-0,033	0,470	0,871	0,092	1454-1	0,973	0,984	0,013	0,042	0,055
1281-1	0,954	-0,020	0,657	0,718	0,083	1455-4	0,978	0,987	0,015	0,037	0,054
1282-1	0,981	-0,011	0,105	0,983	0,064	1459-4	0,979	0,987	0,014	0,032	0,056
1333-2	0,992	0,089	0,856	0,486	0,119	1460-1	0,980	0,988	0,014	0,036	0,055
1338-1	0,997	-0,011	0,938	0,322	0,114	1472-4	0,992	-0,032	0,468	0,874	0,090
1363-3	0,986	0,989	0,024	0,057	0,060	1474-1	0,988	-0,033	0,818	0,554	0,112
1364-1	0,977	0,986	0,010	0,049	0,058	1477-1	0,988	0,857	0,167	0,468	0,077
1366-2	0,985	0,143	0,021	0,981	0,046	1478-1	0,990	0,922	0,133	0,343	0,076

**Tab. 10:** Fortsetzung Varimax Factor Matrix (AR 178/34), Kom. = Kommunalität

PS-Nr.	Kom.	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	PS-Nr.	Kom.	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
1483-2	0,988	0,970	0,129	0,156	0,075	1977-1	0,985	0,987	0,023	0,075	0,060
1484-2	0,980	0,931	0,253	0,201	0,088	1978-1	0,980	0,954	0,103	0,230	0,080
1485-1	0,995	0,564	0,482	0,659	0,103	1979-1	0,981	0,972	0,047	0,168	0,071
1486-2	0,971	0,542	0,634	0,515	0,102	1981-1	0,986	0,960	0,165	0,176	0,078
1508-2	0,975	0,985	0,016	0,024	0,060	1985-1	0,980	0,787	0,168	0,572	0,070
1537-2	0,996	-0,016	0,933	0,336	0,112	1987-1	0,841	0,266	0,178	0,859	0,034
1539-1	0,997	-0,032	0,924	0,360	0,112	1988-1	0,981	0,985	0,028	0,073	0,071
1540-1	0,993	-0,014	0,902	0,408	0,115	2073-1	0,951	0,321	0,546	0,135	0,729
1542-1	0,967	0,607	0,650	0,402	0,117	2075-3	0,951	0,226	0,010	0,043	0,948
1543-1	0,991	0,870	0,427	0,203	0,107	2076-1	0,977	0,271	0,073	0,016	0,948
1544-1	0,990	-0,016	0,866	0,476	0,118	2080-1	0,977	0,819	0,236	0,067	0,496
1555-1	0,973	0,047	0,681	0,706	0,092	2081-1	0,952	0,906	0,247	0,075	0,255
1559-1	0,946	0,416	0,662	0,567	0,116	2082-3	0,969	0,953	0,086	0,038	0,229
1560-1	0,953	0,797	0,450	0,323	0,101	2087-1	0,990	0,990	0,032	0,029	0,094
1563-1	0,975	0,924	0,269	0,203	0,087	2091-1	0,978	0,967	-0,011	0,199	0,064
1576-1	0,994	-0,014	0,945	0,295	0,116	2093-1	0,988	0,969	-0,021	0,208	0,068
1649-1	0,893	0,936	0,037	0,114	0,059	2095-1	0,891	0,896	-0,054	0,277	0,090
1651-2	0,970	0,949	0,019	0,256	0,066	2096-1	0,943	0,909	-0,029	0,331	0,083
1652-1	0,977	0,942	-0,018	0,290	0,065	2099-1	0,977	0,923	-0,040	0,344	0,070
1654-1	0,973	0,981	0,041	0,023	0,097	2102-1	0,983	0,982	-0,009	0,117	0,071
1751-2	0,964	0,957	0,137	0,048	0,163	2103-2	0,994	0,991	0,031	0,074	0,073
1752-5	0,971	0,963	0,154	0,053	0,131	2104-1	0,997	0,996	0,023	0,025	0,071
1755-1	0,986	0,966	0,181	0,060	0,125	2105-2	0,980	0,980	0,094	0,040	0,092
1756-6	0,951	0,822	0,481	0,160	0,138	2108-1	0,938	0,710	0,164	0,054	0,636
1759-1	0,963	0,976	0,041	0,022	0,090	2109-3	0,936	0,297	0,096	0,017	0,915
1764-2	0,957	0,974	0,022	0,025	0,082	2230-1	0,963	-0,021	0,359	0,081	0,910
1765-1	0,984	0,988	0,033	0,033	0,073	2231-1	0,993	0,835	0,494	0,141	0,178
1768-1	0,961	0,976	0,054	0,037	0,065	2233-1	0,996	0,980	0,127	0,052	0,131
1771-4	0,950	0,937	-0,001	0,260	0,062						
1772-6	0,983	0,977	0,094	0,122	0,069		Varianz	42,198	21,483	29,368	3,440
1773-2	0,984	0,976	0,092	0,133	0,072		Kumul. Varianz	42,198	63,680	93,048	96,488
1774-1	0,997	0,992	0,025	0,092	0,068						
1775-5	0,997	0,995	0,018	0,033	0,070						
1776-6	0,987	0,987	0,065	0,039	0,089						
1777-7	0,931	0,952	0,092	0,044	0,120						
1778-1	0,879	0,864	0,324	0,097	0,137						
1779-3	0,953	0,937	0,230	0,075	0,128						
1780-1	0,870	0,886	0,253	0,088	0,111						
1782-6	0,971	0,962	0,168	0,092	0,098						
1783-2	0,984	0,981	0,111	0,059	0,081						
1786-2	0,903	0,729	0,530	0,277	0,122						
1787-1	0,964	-0,026	0,169	0,966	0,044						
1794-2	0,970	0,870	0,303	0,340	0,080						
1795-1	0,996	0,145	0,666	0,722	0,106						
1798-2	0,968	0,711	0,527	0,420	0,097						
1800-2	0,981	0,979	0,086	0,103	0,068						
1802-2	0,978	0,710	0,428	0,531	0,095						
1803-2	0,985	0,987	0,032	0,077	0,062						
1961-1	0,966	0,981	0,016	0,025	0,062						
1967-1	0,974	0,985	0,017	0,023	0,055						
1973-1	0,976	0,986	0,016	0,024	0,059						
1975-1	0,984	0,990	0,017	0,023	0,057						

**Tab. 11:** Varimax Factor Matrix (Probenfaktorenmatrix) des gewichteten antarktischen Datensatzes (AG 177/31), Kom. = Kommunalität.

PS-Nr.	Kom.	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	PS-Nr.	Kom.	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
1138-8	0,867	0,766	0,300	0,231	-0,370	1375-2	0,899	0,727	0,592	0,136	0,036
1141-2	0,887	0,608	0,488	0,206	-0,486	1376-2	0,871	0,799	0,433	0,134	-0,163
1146-2	0,744	0,688	0,465	0,234	-0,012	1380-1	0,944	0,674	0,681	0,136	-0,092
1147-4	0,862	0,616	0,435	0,149	-0,520	1381-1	0,911	0,727	0,611	0,088	-0,055
1160-2	0,819	0,647	0,384	0,262	-0,430	1382-1	0,902	0,729	0,597	0,119	-0,021
1161-1	0,805	0,670	0,422	0,262	-0,330	1383-1	0,908	0,827	0,447	0,120	-0,101
1162-1	0,837	0,661	0,388	0,237	-0,439	1384-1	0,916	0,794	0,509	0,108	-0,119
1163-2	0,804	0,723	0,335	0,234	-0,339	1385-1	0,905	0,756	0,565	0,118	-0,024
1174-2	0,783	0,631	0,562	0,181	-0,189	1387-1	0,963	0,579	0,778	0,147	-0,038
1176-3	0,903	0,684	0,574	0,211	-0,247	1388-1	0,907	0,601	0,696	0,246	-0,037
1177-3	0,888	0,706	0,482	0,203	-0,340	1389-1	0,922	0,637	0,706	0,111	-0,072
1178-4	0,859	0,621	0,529	0,231	-0,375	1390-1	0,880	0,627	0,671	0,194	0,010
1179-1	0,717	0,559	0,522	0,201	-0,304	1391-1	0,919	0,703	0,635	0,147	-0,016
1181-2	0,877	0,839	0,264	0,100	-0,307	1394-1	0,920	0,726	0,616	0,116	0,008
1182-2	0,804	0,740	0,315	0,175	-0,355	1395-1	0,935	0,713	0,630	0,132	-0,109
1183-4	0,835	0,796	-0,004	0,138	-0,428	1396-1	0,920	0,865	0,340	0,187	0,144
1184-6	0,883	0,814	0,353	0,202	-0,234	1397-1	0,951	0,932	0,248	0,125	0,065
1186-1	0,869	0,694	0,487	0,172	-0,348	1398-2	0,840	0,877	0,202	0,170	0,023
1187-1	0,887	0,748	0,236	0,157	-0,496	1399-1	0,788	0,835	0,267	0,126	-0,054
1190-1	0,845	0,446	0,752	0,246	-0,143	1400-4	0,908	0,935	0,170	0,067	0,031
1192-1	0,902	0,908	0,159	0,227	-0,025	1401-2	0,862	0,905	0,166	0,079	-0,097
1193-2	0,943	0,947	0,161	0,104	0,097	1402-2	0,918	0,861	0,393	0,136	0,055
1195-1	0,866	0,861	0,325	0,120	0,069	1403-1	0,856	0,883	0,242	0,127	-0,045
1197-1	0,760	0,840	0,174	0,107	0,115	1406-1	0,900	0,824	0,464	0,078	-0,011
1199-1	0,850	0,866	0,187	0,118	0,226	1407-1	0,902	0,817	0,453	0,071	-0,153
1200-4	0,837	0,840	0,271	0,133	0,200	1410-1	0,899	0,696	0,594	0,057	-0,241
1204-1	0,849	0,891	0,142	0,163	-0,093	1411-1	0,921	0,777	0,548	0,130	-0,001
1207-1	0,877	0,893	0,114	0,128	0,224	1412-1	0,862	0,656	0,633	0,165	-0,064
1208-1	0,872	0,906	0,134	0,164	-0,075	1419-1	0,852	0,863	0,302	0,122	0,024
1209-1	0,887	0,910	0,199	0,136	0,023	1421-1	0,906	0,888	0,313	0,088	-0,108
1210-1	0,854	0,871	0,212	0,187	0,124	1424-1	0,901	0,933	0,117	0,118	0,050
1211-1	0,941	0,916	0,291	0,117	0,060	1425-1	0,811	0,711	0,499	0,118	-0,205
1212-1	0,916	0,944	0,137	0,079	-0,003	1427-1	0,922	0,765	0,539	0,099	-0,192
1214-1	0,890	0,901	0,203	0,126	0,143	1428-1	0,926	0,726	0,598	0,131	-0,155
1222-1	0,930	0,929	0,172	0,139	0,138	1452-1	0,856	0,103	0,914	0,058	-0,083
1223-1	0,891	0,907	0,205	0,110	0,116	1453-1	0,897	0,160	0,931	0,070	0,016
1225-2	0,832	0,204	0,870	0,180	0,028	1454-1	0,710	0,255	0,801	0,000	-0,055
1273-1	0,847	0,842	0,311	0,147	-0,141	1455-4	0,795	0,169	0,870	0,014	-0,097
1276-1	0,808	0,894	0,057	0,053	0,048	1459-4	0,870	0,119	0,921	0,082	0,036
1277-1	0,818	0,869	0,186	0,155	0,059	1460-1	0,819	0,233	0,874	0,010	0,000
1278-1	0,909	0,929	0,158	0,112	0,087	1472-4	0,837	0,880	0,177	0,124	-0,121
1281-1	0,807	0,837	0,216	0,126	-0,209	1474-1	0,941	0,941	0,154	0,177	-0,019
1282-1	0,833	0,839	0,287	0,171	-0,133	1477-1	0,923	0,703	0,640	0,132	-0,038
1333-2	0,899	0,637	0,533	0,174	-0,424	1478-1	0,939	0,578	0,752	0,114	-0,162
1338-1	0,867	0,794	0,272	0,158	-0,370	1483-2	0,939	0,543	0,778	0,172	-0,098
1363-3	0,744	0,312	0,777	0,197	0,067	1484-2	0,917	0,583	0,733	0,144	-0,141
1364-1	0,857	0,249	0,870	0,127	0,146	1485-1	0,916	0,678	0,658	0,116	-0,094
1366-2	0,889	0,731	0,550	0,117	-0,196	1486-2	0,920	0,745	0,589	0,131	0,048
1367-1	0,885	0,801	0,472	0,124	-0,072	1508-2	0,778	0,057	0,855	0,181	0,106
1370-1	0,899	0,727	0,592	0,136	0,036	1537-2	0,819	0,681	0,382	0,287	-0,356
1372-2	0,883	0,815	0,442	0,126	-0,089	1539-1	0,829	0,722	0,218	0,262	-0,438
1373-2	0,909	0,819	0,466	0,064	-0,130	1540-1	0,870	0,710	0,422	0,163	-0,401
1374-2	0,928	0,804	0,521	0,074	-0,071	1542-1	0,894	0,530	0,724	0,141	-0,262

**Tab. 11:** Fortsetzung Varimax Factor Matrix (AG 177/31), Kom. = Kommunalität.

PS-Nr.	Kom.	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	PS-Nr.	Kom.	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
1543-1	0,916	0,358	0,815	0,290	-0,201	2076-1	0,823	0,064	0,257	0,868	-0,018
1544-1	0,838	0,618	0,481	0,246	-0,405	2080-1	0,931	0,035	0,359	0,895	0,023
1555-1	0,913	0,690	0,587	0,163	-0,255	2081-1	0,886	0,044	0,390	0,856	0,008
1559-1	0,728	0,518	0,596	0,198	-0,253	2082-3	0,898	0,076	0,434	0,839	-0,010
1560-1	0,884	0,474	0,757	0,187	-0,228	2087-1	0,914	0,147	0,804	0,492	0,056
1563-1	0,915	0,534	0,755	0,229	-0,087	2091-1	0,853	0,290	0,849	0,208	-0,075
1576-1	0,836	0,646	0,510	0,250	-0,309	2093-1	0,849	0,252	0,831	0,273	-0,144
1649-1	0,881	0,354	0,820	0,280	-0,074	2095-1	0,665	0,246	0,724	0,237	-0,155
1651-2	0,858	0,348	0,814	0,200	-0,184	2096-1	0,772	0,293	0,744	0,309	-0,194
1652-1	0,841	0,298	0,835	0,213	-0,102	2099-1	0,864	0,337	0,824	0,247	-0,103
1654-1	0,824	0,081	0,736	0,514	0,113	2102-1	0,847	0,225	0,859	0,211	0,121
1751-2	0,924	0,034	0,474	0,835	0,043	2103-2	0,796	0,214	0,809	0,304	-0,058
1752-5	0,846	0,099	0,511	0,757	0,030	2104-1	0,921	0,127	0,826	0,471	-0,012
1755-1	0,851	0,075	0,633	0,667	-0,006	2105-2	0,904	0,034	0,807	0,465	0,189
1756-6	0,833	0,238	0,714	0,517	0,000	2108-1	0,810	0,111	0,272	0,851	0,003
1759-1	0,897	0,029	0,799	0,508	0,012	2109-3	0,759	0,017	0,181	0,852	-0,023
1764-2	0,917	0,167	0,842	0,421	0,045	2230-1	0,840	0,021	0,020	0,916	-0,027
1765-1	0,859	0,146	0,859	0,316	0,024	2231-1	0,889	0,127	0,585	0,726	-0,064
1768-1	0,934	0,150	0,906	0,298	-0,040	2233-1	0,864	0,145	0,675	0,613	-0,107
1771-4	0,896	0,296	0,854	0,207	-0,187						
1772-6	0,917	0,388	0,845	0,222	-0,060		Varianz	38,365	35,125	9,723	3,081
1773-2	0,921	0,315	0,860	0,224	-0,176		Kumul. Varianz	38,365	73,490	83,212	86,293
1774-1	0,894	0,262	0,877	0,209	-0,110						
1775-5	0,893	0,169	0,860	0,349	0,056						
1776-6	0,906	0,186	0,802	0,477	-0,004						
1777-7	0,894	0,160	0,728	0,580	0,040						
1778-1	0,812	0,219	0,670	0,555	0,079						
1779-3	0,867	0,136	0,773	0,500	0,027						
1780-1	0,832	0,253	0,713	0,497	0,115						
1782-6	0,841	0,231	0,792	0,399	0,031						
1783-2	0,883	0,299	0,820	0,347	0,031						
1786-2	0,717	0,318	0,685	0,323	-0,206						
1787-1	0,911	0,941	0,092	0,061	-0,114						
1794-2	0,909	0,681	0,658	0,107	-0,011						
1795-1	0,914	0,768	0,550	0,121	-0,080						
1798-2	0,923	0,688	0,653	0,151	-0,034						
1800-2	0,887	0,407	0,812	0,211	-0,132						
1802-2	0,893	0,752	0,558	0,106	0,068						
1803-2	0,894	0,487	0,780	0,176	-0,130						
1961-1	0,540	0,053	0,699	0,123	0,182						
1967-1	0,681	0,023	0,824	0,033	0,027						
1973-1	0,687	0,081	0,791	0,153	0,178						
1975-1	0,703	0,050	0,826	0,061	0,121						
1977-1	0,835	0,293	0,850	0,142	-0,083						
1978-1	0,738	0,304	0,738	0,236	-0,214						
1979-1	0,848	0,354	0,810	0,208	-0,154						
1981-1	0,818	0,381	0,782	0,116	-0,218						
1985-1	0,905	0,717	0,615	0,106	-0,010						
1987-1	0,863	0,826	0,415	0,064	-0,066						
1988-1	0,907	0,218	0,874	0,311	-0,006						
2073-1	0,778	0,006	0,142	0,869	-0,048						
2075-3	0,787	0,010	0,081	0,884	-0,010						

Tab. 12: Varimax Factor Matrix (Probenfaktorenmatrix) des antarktischen Referenzdatensatzes (AG 130/30), Kom. = Kommunalität.

PS-Nr.	Kom.	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	PS-Nr.	Kom.	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
1190-1	0,823	0,434	0,767	0,214	1406-1	0,902	0,847	0,422	0,084
1192-1	0,905	0,924	0,126	0,191	1407-1	0,907	0,829	0,467	0,037
1193-2	0,945	0,958	0,119	0,112	1410-1	0,871	0,740	0,565	0,068
1195-1	0,855	0,863	0,314	0,103	1411-1	0,910	0,781	0,538	0,103
1199-1	0,819	0,888	0,145	0,096	1412-1	0,843	0,651	0,634	0,134
1200-4	0,819	0,863	0,250	0,111	1419-1	0,870	0,884	0,264	0,138
1204-1	0,862	0,905	0,122	0,167	1421-1	0,897	0,891	0,318	0,053
1207-1	0,844	0,905	0,059	0,144	1424-1	0,930	0,950	0,100	0,130
1208-1	0,882	0,921	0,131	0,127	1425-1	0,872	0,760	0,534	0,097
1209-1	0,920	0,941	0,120	0,141	1427-1	0,916	0,778	0,554	0,069
1210-1	0,850	0,895	0,154	0,161	1428-1	0,925	0,744	0,601	0,105
1211-1	0,936	0,925	0,258	0,121	1452-1	0,892	0,130	0,934	0,060
1212-1	0,918	0,950	0,101	0,078	1453-1	0,892	0,130	0,934	0,060
1214-1	0,834	0,892	0,165	0,102	1455-4	0,813	0,147	0,890	-0,006
1222-1	0,944	0,954	0,115	0,142	1459-4	0,874	0,092	0,928	0,070
1223-1	0,902	0,931	0,156	0,107	1460-1	0,784	0,207	0,861	-0,004
1225-2	0,796	0,206	0,848	0,184	1472-4	0,854	0,899	0,173	0,123
1273-1	0,850	0,863	0,284	0,153	1474-1	0,937	0,950	0,122	0,142
1276-1	0,804	0,895	0,042	0,034	1477-1	0,922	0,702	0,648	0,101
1277-1	0,822	0,881	0,142	0,160	1478-1	0,951	0,596	0,767	0,089
1278-1	0,911	0,940	0,111	0,122	1483-2	0,948	0,561	0,781	0,155
1281-1	0,870	0,894	0,230	0,137	1484-2	0,914	0,603	0,731	0,126
1282-1	0,824	0,848	0,290	0,145	1485-1	0,903	0,674	0,665	0,084
1364-1	0,799	0,191	0,864	0,125	1486-2	0,906	0,771	0,539	0,145
1366-2	0,856	0,716	0,581	0,083	1649-1	0,863	0,343	0,820	0,271
1367-1	0,895	0,813	0,472	0,107	1651-2	0,839	0,334	0,833	0,182
1370-1	0,878	0,725	0,583	0,110	1652-1	0,817	0,297	0,832	0,190
1372-2	0,890	0,823	0,450	0,100	1654-1	0,816	0,039	0,725	0,538
1373-2	0,921	0,832	0,478	0,031	1751-2	0,908	0,055	0,453	0,837
1374-2	0,934	0,827	0,493	0,076	1752-5	0,824	0,095	0,505	0,748
1375-2	0,878	0,725	0,583	0,110	1755-1	0,848	0,089	0,615	0,679
1376-2	0,880	0,827	0,432	0,100	1756-6	0,826	0,214	0,706	0,531
1380-1	0,947	0,673	0,695	0,102	1759-1	0,881	0,016	0,755	0,558
1381-1	0,917	0,728	0,619	0,054	1764-2	0,923	0,131	0,845	0,437
1382-1	0,895	0,733	0,589	0,098	1765-1	0,867	0,147	0,860	0,324
1383-1	0,912	0,835	0,454	0,089	1768-1	0,943	0,151	0,910	0,303
1384-1	0,928	0,808	0,519	0,075	1771-4	0,862	0,308	0,855	0,188
1385-1	0,894	0,754	0,564	0,088	1772-6	0,917	0,379	0,855	0,204
1387-1	0,963	0,578	0,782	0,126	1773-2	0,912	0,332	0,871	0,207
1388-1	0,899	0,600	0,700	0,221	1774-1	0,897	0,266	0,888	0,195
1389-1	0,910	0,636	0,706	0,086	1775-5	0,891	0,169	0,853	0,366
1390-1	0,855	0,625	0,659	0,174	1776-6	0,913	0,170	0,799	0,496
1391-1	0,904	0,698	0,634	0,122	1777-7	0,880	0,125	0,685	0,629
1394-1	0,905	0,726	0,608	0,094	1778-1	0,812	0,149	0,637	0,620
1395-1	0,932	0,717	0,639	0,097	1779-3	0,849	0,100	0,732	0,551
1396-1	0,896	0,879	0,286	0,204	1780-1	0,828	0,205	0,715	0,525
1397-1	0,944	0,940	0,211	0,130	1782-6	0,805	0,200	0,748	0,454
1398-2	0,864	0,893	0,178	0,184	1783-2	0,861	0,285	0,808	0,355
1399-1	0,793	0,855	0,229	0,097	1787-1	0,889	0,937	0,098	0,022
1400-4	0,911	0,943	0,132	0,070	1794-2	0,891	0,676	0,654	0,084
1401-2	0,874	0,919	0,147	0,090	1795-1	0,927	0,806	0,508	0,137
1402-2	0,903	0,864	0,383	0,103	1798-2	0,913	0,686	0,653	0,124
1403-1	0,888	0,906	0,217	0,140	1800-2	0,879	0,425	0,812	0,200

**Tab. 12:** Fortsetzung Varimax Factor Matrix (AG 130/30), Kom. = Kommunalität.

PS-Nr.	Kom.	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	PS-Nr.	Kom.	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
1802-2	0,858	0,748	0,540	0,086	2087-1	0,892	0,099	0,766	0,544
1803-2	0,890	0,506	0,780	0,157	2091-1	0,843	0,290	0,850	0,189
1977-1	0,835	0,290	0,858	0,120	2093-1	0,808	0,252	0,821	0,267
1979-1	0,827	0,368	0,811	0,186	2099-1	0,810	0,327	0,809	0,220
1981-1	0,850	0,435	0,806	0,105	2102-1	0,790	0,212	0,837	0,211
1985-1	0,871	0,688	0,626	0,075	2103-2	0,745	0,191	0,771	0,337
1987-1	0,848	0,824	0,410	0,028	2104-1	0,929	0,128	0,827	0,479
1988-1	0,922	0,222	0,880	0,312	2105-2	0,883	-0,020	0,801	0,491
2073-1	0,783	0,057	0,130	0,873	2108-1	0,799	0,121	0,252	0,849
2075-3	0,825	0,048	0,073	0,904	2230-1	0,823	0,058	0,022	0,905
2076-1	0,772	0,106	0,226	0,843					
2080-1	0,939	0,047	0,340	0,906					
2081-1	0,868	0,063	0,378	0,849					
2082-3	0,893	0,098	0,421	0,840					
						Varianz	41,274	35,599	10,682
						Kumul. Varianz	41,274	76,873	87,555

**Tab. 13:** Varimax Factor Score Matrix (Artenfaktorenmatrix) des antarktischen Referenzdatensatzes (AG 130/30).

Variable	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
<i>Actinocyclus actinochilus</i>	0,1260	0,1299	-0,1072
<i>Azpeitia tabularis</i>	-0,0723	0,0366	0,4202
<i>Chaetoceros</i> -Dauersporen	0,4728	-0,0064	0,2719
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	-0,0005	-0,0586	0,2033
<i>Nitzschia angulata</i>	0,0703	0,1837	-0,0111
<i>Nitzschia bicapitata</i>	-0,0022	-0,0389	0,1467
Eisalgengruppe	0,4737	0,1251	-0,0586
<i>Nitzschia kerguelensis</i>	-0,0302	0,6056	0,0339
<i>Nitzschia obliquecostata</i>	0,3296	-0,0647	0,0083
<i>Nitzschia ritscheri</i>	0,1305	0,0653	-0,0061
<i>Nitzschia separanda</i>	-0,0187	0,3111	-0,0475
<i>Nitzschia sublinearis</i>	0,4175	-0,0969	0,0027
<i>Nitzschia turgiduloides</i>	0,1116	0,0081	0,0177
<i>Porosira glacialis</i>	0,0605	0,0605	-0,0619
<i>Porosira pseudodenticulata</i>	0,0991	-0,0404	0,0257
<i>Pseudoeunotia doliolus</i>	-0,0002	-0,0654	0,2256
<i>Rhizosol. antennata</i> fo. <i>semispina</i>	-0,0289	0,0497	0,1138
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	0,0013	-0,0597	0,1964
<i>Rhizosolenia hebetata</i> fo. <i>semispina</i>	-0,0271	0,0337	0,0947
<i>Roperia tessellata</i>	-0,0120	-0,0673	0,3050
<i>Stellarima microtrias</i>	0,1242	-0,0217	0,0089
<i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>parva</i>	0,0018	-0,0550	0,1764
<i>Thalassionema nitzschioides</i> fo. 1	-0,0652	0,0333	0,3718
<i>Thalassionema nitzschioides</i> fo. 2	-0,0192	-0,0262	0,3338
<i>Thalassiosira antarctica</i>	0,4021	-0,0238	-0,0548
<i>Thalassiosira gracilis</i>	0,1037	0,3281	-0,0054
<i>Thalassiosira lentiginosa</i>	-0,0623	0,4933	0,0540
<i>Thalassiosira oestrupii</i>	-0,0088	-0,0509	0,3010
<i>Thalassiosira oliverana</i>	0,0033	0,1725	0,0454
<i>Thalassiotrix antarctica</i>	0,0269	0,1884	0,2818

**Tab. 14:** Ergebnisse der hydrographischen Parameter aus der Regressionsanalyse.  
 Gem = Gemessener heutiger Wert des jeweiligen Parameters.

Probe (PS-Nr.)	Temperatur gem. (°C)	Temperatur berechnet (°C)	Temperatur Residual (°C)	Salz- gehalt gem. (‰)	Salzgehalt berechnet (‰)	Salzgehalt Residual (‰)	Phos. gem. (µmol/ kg)	Phos- phatgehalt berechnet (µmol/kg)	Phos- phatgehalt Residual (µmol/kg)
1190-1	1,23	0,06291	1,16709	34,03	33,86129	0,16870	1,90	1,75598	0,14402
1192-1	-1,48	-1,28231	-0,19769	34,10	34,29275	-0,19275	1,40	1,40717	-0,00717
1193-2	-1,72	-1,69587	-0,02413	34,25	34,19947	0,05053	1,40	1,37802	0,02198
1195-1	-1,72	-1,54716	-0,17284	34,25	33,92269	0,32731	1,40	1,49783	-0,09783
1199-1	-1,72	-1,59005	-0,12995	34,25	34,20099	0,04901	1,40	1,45841	-0,05841
1200-4	-1,72	-1,59473	-0,12527	34,25	34,03859	0,21141	1,40	1,49392	-0,09392
1204-1	-1,72	-1,32927	-0,39073	34,25	34,30079	-0,05079	1,40	1,42729	-0,02729
1207-1	-1,72	-1,19445	-0,52555	34,25	34,42955	-0,17955	1,40	1,41826	-0,01826
1208-1	-1,72	-1,55985	-0,16015	34,25	34,22899	0,02101	1,40	1,41903	-0,01903
1209-1	-1,72	-1,53801	-0,18199	34,25	34,24433	0,00567	1,40	1,39526	0,00474
1210-1	-1,72	-1,37932	-0,34068	34,25	34,23598	0,01402	1,40	1,44491	-0,04491
1211-1	-1,72	-1,49704	-0,22296	34,25	33,95986	0,29014	1,40	1,43407	-0,03407
1212-1	-1,72	-1,76941	0,04941	34,25	34,21664	0,03336	1,40	1,38678	0,01322
1214-1	-1,72	-1,62805	-0,09195	34,25	34,16391	0,08609	1,40	1,45525	-0,05525
1222-1	-1,70	-1,55418	-0,14582	34,11	34,24366	-0,13366	1,50	1,38051	0,11949
1223-1	-1,70	-1,69288	-0,00712	34,11	34,14471	-0,03471	1,50	1,41375	0,08625
1225-2	0,27	0,74134	-0,47134	34,09	33,96207	0,12793	1,75	1,78395	-0,03395
1273-1	-0,21	-1,35038	1,14038	33,78	34,00014	-0,22015	1,40	1,49726	-0,09726
1276-1	-1,56	-1,26389	-0,29611	34,25	34,33946	-0,08946	1,40	1,45247	-0,05247
1277-1	-1,56	-1,31236	-0,24764	34,25	34,27534	-0,02534	1,40	1,45537	-0,05537
1278-1	-1,56	-1,60166	0,04166	34,25	34,24901	0,00099	1,40	1,39551	0,00449
1281-1	-0,21	-1,50748	1,29748	33,78	34,05907	-0,27907	1,80	1,46138	0,33862
1282-1	-0,21	-1,39114	1,18114	33,78	34,00207	-0,22207	1,85	1,51130	0,33870
1364-1	0,19	0,56364	-0,37364	33,92	33,98932	-0,06932	2,00	1,80830	0,19170
1366-2	-1,14	-0,95168	-0,18832	33,52	33,76197	-0,24197	1,50	1,62228	-0,12228
1367-1	-0,45	-0,99199	0,54199	33,84	33,76170	0,07830	1,55	1,55123	-0,00123
1370-1	-0,45	-0,71376	0,26376	33,84	33,74823	0,09177	1,60	1,62045	-0,02045
1372-2	-0,45	-1,11643	0,66643	33,84	33,77582	0,06418	1,50	1,54033	-0,04033
1373-2	-0,45	-1,31514	0,86514	33,84	33,72114	0,11886	1,50	1,51108	-0,01108
1374-2	-0,45	-0,95864	0,50864	33,84	33,71791	0,12209	1,50	1,52870	-0,02870
1375-2	-0,45	-0,71376	0,26376	33,84	33,74823	0,09177	1,50	1,62045	-0,12045
1376-2	-0,45	-1,19915	0,74915	33,84	33,79311	0,04689	1,55	1,53614	0,01386
1380-1	-1,14	-0,21083	-0,92917	33,52	33,73476	-0,21476	1,50	1,64765	-0,14765
1381-1	-1,14	-0,78988	-0,35012	33,52	33,72648	-0,20648	1,50	1,59948	-0,09948
1382-1	-1,14	-0,69174	-0,44826	33,52	33,73593	-0,21593	1,50	1,61142	-0,11142
1383-1	-1,14	-1,09835	-0,04165	33,52	33,75447	-0,23447	1,50	1,52644	-0,02644
1384-1	-1,14	-0,89418	-0,24582	33,52	33,71394	-0,19394	1,50	1,54528	-0,04528
1385-1	-1,14	-0,82487	-0,31513	33,52	33,73467	-0,21467	1,50	1,59354	-0,09354
1387-1	0,71	0,04967	0,66033	33,88	33,78907	0,09093	1,80	1,70060	0,09940
1388-1	0,71	0,25026	0,45974	33,88	33,75377	0,12623	1,80	1,70596	0,09404
1389-1	0,71	-0,49253	1,20253	33,88	33,77261	0,10740	1,70	1,66706	0,03294
1390-1	0,71	-0,26189	0,97189	33,88	33,77763	0,10237	1,70	1,69102	0,00898
1391-1	-1,14	-0,41874	-0,72126	33,52	33,73751	-0,21751	1,65	1,64037	0,00963
1394-1	-1,14	-0,62733	-0,51267	33,52	33,73113	-0,21113	1,60	1,61486	-0,01486
1395-1	-1,14	-0,40964	-0,73036	33,52	33,71911	-0,19911	1,60	1,61963	-0,01963
1396-1	-1,72	-1,01931	-0,70069	34,25	33,99874	0,25126	1,40	1,48407	-0,08407
1397-1	-1,72	-1,54389	-0,17611	34,25	34,03939	0,21061	1,40	1,41332	-0,01332
1398-2	-1,72	-1,28892	-0,43108	34,25	34,20124	0,04876	1,40	1,44895	-0,04895
1399-1	-1,72	-1,63242	-0,08758	34,25	34,07413	0,17587	1,40	1,50077	-0,10077

**Tab. 14:** Ergebnisse der hydrographischen Parameter aus der Regressionsanalyse.  
Gem = Gemessener heutiger Wert des jeweiligen Parameters.

Probe (PS-Nr.)	Tem- peratur gem. (°C)	Tempera- tur berechnet (°C)	Tempe- ratur Residual (°C)	Salz- gehalt gem. (‰)	Salzgehalt berechnet (‰)	Salzgehalt Residual (‰)	Phos. gem. (µmol/ kg)	Phos- phatgehalt berechnet (µmol/kg)	Phos- phatgehalt Residual (µmol/kg)
1400-4	-1,48	-1,83614	0,35614	34,10	34,14864	-0,04864	1,40	1,39766	0,00234
1401-2	-1,48	-1,71794	0,23794	34,10	34,16386	-0,06386	1,40	1,42659	-0,02659
1402-2	-1,48	-1,28221	-0,19779	34,10	33,81786	0,28214	1,40	1,50185	-0,10185
1403-1	-1,33	-1,50207	0,17207	34,05	34,07330	-0,02330	1,40	1,44766	-0,04766
1406-1	-1,17	-1,26228	0,09228	33,82	33,77860	0,04140	1,60	1,51416	0,08584
1407-1	-1,17	-1,35618	0,18618	33,82	33,73586	0,08414	1,60	1,51729	0,08271
1410-1	-1,17	-1,02916	-0,14084	33,82	33,75035	0,06964	1,60	1,60089	-0,00089
1411-1	-1,17	-0,73667	-0,43333	33,82	33,72667	0,09333	1,60	1,57638	0,02362
1412-1	-1,17	-0,58484	-0,58516	33,82	33,78107	0,03893	1,60	1,67281	-0,07281
1419-1	-1,70	-1,45329	-0,24671	34,11	34,00632	0,10368	1,50	1,47539	0,02461
1421-1	-1,70	-1,73162	0,03162	34,11	33,85949	0,25051	1,50	1,46325	0,03675
1424-1	-1,72	-1,58183	-0,13817	34,25	34,26849	-0,01849	1,40	1,38233	0,01767
1425-1	-1,14	-0,93806	-0,20194	33,52	33,75489	-0,23489	1,65	1,59298	0,05702
1427-1	-1,14	-0,88154	-0,25846	33,52	33,71864	-0,19864	1,65	1,56873	0,08127
1428-1	-1,14	-0,48732	-0,65268	33,52	33,71489	-0,19489	1,65	1,60420	0,04580
1452-1	0,16	0,59415	-0,43415	34,05	34,05288	-0,00288	1,80	1,82102	-0,02102
1453-1	0,72	0,59415	0,12585	34,13	34,05288	0,07713	1,60	1,82102	-0,22102
1455-4	0,72	0,49350	0,22650	34,13	34,02752	0,10248	1,90	1,86053	0,03947
1459-4	0,76	1,04164	-0,28164	33,93	34,03960	-0,10960	1,90	1,82379	0,07621
1460-1	0,54	0,03527	0,50473	33,97	34,01045	-0,04045	1,90	1,85135	0,04865
1472-4	-1,33	-1,57429	0,24429	34,05	34,15782	-0,10782	1,55	1,44825	0,10175
1474-1	-1,70	-1,55208	-0,14792	34,11	34,23016	-0,12016	1,50	1,38643	0,11357
1477-1	-1,14	-0,41953	-0,72047	33,52	33,72923	-0,20923	1,70	1,63131	0,06869
1478-1	-1,17	-0,22618	-0,94382	33,82	33,79331	0,02669	1,70	1,68385	0,01615
1483-2	-0,45	0,13522	-0,58522	33,84	33,78957	0,05043	1,90	1,71446	0,18554
1484-2	-0,23	-0,20960	-0,02040	33,79	33,77946	0,01054	1,95	1,69253	0,25747
1485-1	-0,45	-0,59077	0,14077	33,84	33,75316	0,08684	1,70	1,64538	0,05462
1486-2	-0,21	-0,51479	0,30479	33,78	33,73478	0,04522	1,80	1,59372	0,20628
1649-1	0,12	0,64017	-0,52017	33,95	33,86758	0,08242	1,65	1,75100	-0,10100
1651-2	0,12	0,10937	0,01063	33,95	33,92289	0,02711	1,65	1,77591	-0,12591
1652-1	0,12	0,26888	-0,14888	33,95	33,93384	0,01616	1,70	1,77833	-0,07833
1654-1	4,50	5,35821	-0,85821	33,81	33,85635	-0,04635	1,50	1,39064	0,10936
1751-2	8,74	10,37024	-1,63024	34,06	34,18747	-0,12747	1,10	0,75144	0,34856
1752-5	8,42	8,16629	0,25371	34,04	34,09138	-0,05138	1,20	1,00502	0,19498
1755-1	5,50	6,51414	-1,01414	33,82	33,91314	-0,09314	1,25	1,18522	0,06478
1756-6	4,90	3,22657	1,67343	33,80	33,83693	-0,03693	1,30	1,51776	-0,21776
1759-1	4,50	5,52518	-1,02518	33,81	33,81686	-0,00686	1,45	1,35743	0,09257
1764-2	4,00	2,77186	1,22814	33,83	33,82485	0,00515	1,60	1,59769	0,00231
1765-1	3,68	1,89171	1,78829	33,87	33,89985	-0,02985	1,60	1,69285	-0,09285
1768-1	2,90	1,61145	1,28855	33,88	33,91207	-0,03207	1,60	1,70800	-0,10800
1771-4	0,66	0,23277	0,42723	34,00	33,93230	0,06770	1,65	1,77515	-0,12515
1772-6	0,23	0,29415	-0,06415	33,90	33,88618	0,01382	1,75	1,76282	-0,01282
1773-2	0,02	0,35108	-0,33108	34,00	33,91148	0,08852	1,75	1,76673	-0,01673
1774-1	0,46	0,42532	0,03468	33,80	33,94996	-0,14996	1,70	1,77239	-0,07239
1775-5	3,00	1,99393	1,00607	33,80	33,86652	-0,06652	1,55	1,67097	-0,12097
1776-6	4,00	3,01947	0,98053	33,90	33,79187	0,10813	1,40	1,55735	-0,15735
1777-7	5,00	5,01076	-0,01076	33,83	33,82935	0,00066	1,30	1,33103	-0,03103
1778-1	5,00	4,99576	0,00424	33,90	33,89706	0,00294	1,45	1,33643	0,11357
1779-3	4,04	4,46641	-0,42641	33,84	33,83299	0,00701	1,70	1,42643	0,27357
1780-1	2,00	3,22747	-1,22747	33,80	33,83490	-0,03490	1,20	1,52159	-0,32159

**Tab. 14:** Fortsetzung, Ergebnisse der hydrographischen Parameter.  
Gem = Gemessener heutiger Wert des jeweiligen Parameters.

Probe (PS-Nr.)	Temperatur gem. (°C)	Temperatur berechnet (°C)	Temperatur Residual (°C)	Salzgehalt gem. (‰)	Salzgehalt berechnet (‰)	Salzgehalt Residual (‰)	Phos. gem. (µmol/ kg)	Phos- phatgehalt berechnet (µmol/kg)	Phos- phatgehalt Residual (µmol/kg)
1782-6	1,02	2,81402	-1,79402	33,85	33,86436	-0,01437	1,90	1,58316	0,31684
1783-2	1,20	1,35311	-0,15311	33,90	33,84471	0,05529	1,80	1,70733	0,09267
1787-1	-1,72	-1,87017	0,15017	34,25	34,17197	0,07803	1,40	1,40402	-0,00402
1794-2	-0,21	-0,66090	0,45090	33,78	33,75628	0,02372	1,50	1,64504	-0,14504
1795-1	-0,21	-0,57189	0,36189	33,78	33,72884	0,05116	1,30	1,56432	-0,26432
1798-2	-0,21	-0,32027	0,11027	33,78	33,73611	0,04389	1,50	1,64756	-0,14756
1800-2	-1,17	0,12973	-1,29973	33,82	33,86398	-0,04398	2,00	1,75805	0,24195
1802-2	-1,17	-1,02427	-0,14573	33,86	33,76190	0,09810	1,50	1,60034	-0,10034
1803-2	1,17	-0,11920	1,28920	34,25	33,83470	0,41530	1,85	1,73770	0,11230
1977-1	0,19	-0,07203	0,26203	33,92	33,97190	-0,05191	2,00	1,79477	0,20523
1979-1	0,19	0,03106	0,15894	33,92	33,90568	0,01432	2,20	1,77190	0,42810
1981-1	-1,17	-0,48775	-0,68225	33,82	33,90471	-0,08471	1,90	1,76159	0,13841
1985-1	-1,17	-0,84554	-0,32446	33,82	33,76031	0,05969	1,60	1,63686	-0,03686
1987-1	-1,17	-1,69884	0,52884	33,82	33,79924	0,02076	1,50	1,52525	-0,02525
1988-1	0,12	1,31029	-1,19029	33,95	33,88479	0,06521	1,70	1,72179	-0,02179
2073-1	19,21	17,53903	1,67097	35,42	35,15464	0,26536	0,30	0,35231	-0,05231
2075-3	19,21	19,58862	-0,37862	35,42	35,37626	0,04374	0,25	0,20022	0,04978
2076-1	14,04	13,41557	0,62443	34,84	34,82794	0,01206	0,30	0,58692	-0,28692
2080-1	12,92	13,01374	-0,09374	34,60	34,48043	0,11957	0,30	0,48645	-0,18645
2081-1	12,20	11,54710	0,65290	34,40	34,38184	0,01817	0,50	0,66645	-0,16645
2082-3	10,91	9,90206	1,00794	34,33	34,25848	0,07153	0,70	0,77277	-0,07277
2087-1	4,70	4,20301	0,49699	33,80	33,80485	-0,00485	1,35	1,44740	-0,09740
2091-1	0,12	0,29117	-0,17117	33,95	33,93801	0,01199	1,65	1,77699	-0,12699
2093-1	0,12	0,92629	-0,80629	33,95	33,91105	0,03896	1,65	1,74761	-0,09761
2099-1	0,12	0,33136	-0,21136	33,95	33,90783	0,04218	1,65	1,76787	-0,11787
2102-1	0,56	0,85603	-0,29603	33,82	33,94778	-0,12778	1,70	1,77187	-0,07187
2103-2	2,50	1,93389	0,56611	33,80	33,90703	-0,10703	1,50	1,69035	-0,19035
2104-1	4,00	3,15271	0,84729	33,80	33,80170	-0,00171	1,50	1,55461	-0,05461
2105-2	5,00	5,29179	-0,29179	33,85	33,82398	0,02602	1,45	1,42729	0,02271
2108-1	11,35	12,45447	-1,10447	34,51	34,74731	-0,23731	0,80	0,61899	0,18101
2230-1	20,43	20,78619	-0,35619	35,47	35,57417	-0,10416	0,20	0,15115	0,04885

**Tab. 15:** Statistische Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse.

	Temperatur	Salzgehalt	Phosphatgehalt
Multipler Korrelationskoeffizient	0,988	0,918	0,925
- " -, unter Berücksichtigung d. Freiheitsgrade	0,987	0,913	0,920
Standardabweichung	0,687	0,136	0,133
- " -, unter Berücksichtigung d. Freiheitsgrade	0,709	0,140	0,138

**Tab. 16:** Ergebnisse der Berechnungen aus dem Programm THREAD: Kommunalitäten und Parafaktorenladungen aus der B-Hat-Matrix, errechnete Paläoumweltparameter Temperatur, Salz- und Phosphatgehalt.

Kerntiefe (cm)	Kommunalität	Faktor 1 (Eisalgen)	Faktor 2 (N. kerguelensis)	Faktor 3 (Warmwasser)	Temperatur (°C)	Salzgehalt (‰)	Phosphatgehalt (µmol/kg)
2	0,9033	0,0825	0,8739	0,3644	3,0898	33,8700	1,6072
10	0,8734	0,3149	0,8556	0,2052	0,5248	33,9151	1,7638
20	0,8579	0,1777	0,8619	0,2887	1,7559	33,9076	1,7046
30	0,8106	0,2752	0,8190	0,2531	0,9699	33,9066	1,7437
40	0,8510	0,1533	0,8545	0,3121	2,1336	33,8985	1,6803
46	0,8292	0,1822	0,8586	0,2425	1,4725	33,9331	1,7355
50	0,8360	0,1377	0,8269	0,3651	2,7295	33,8758	1,6289
60	0,7551	0,1064	0,7688	0,3909	3,6626	33,8915	1,5812
65	0,8129	0,1832	0,8413	0,2674	1,6605	33,9203	1,7203
70	0,8628	0,0920	0,8364	0,3934	3,3717	33,8605	1,5808
80	0,8068	0,0745	0,8015	0,3986	3,8964	33,8727	1,5607
90	0,8023	0,1566	0,8418	0,2630	1,8931	33,9259	1,7173
100	0,8424	0,2814	0,7759	0,4014	1,9698	33,8311	1,6511
104	0,8039	0,2378	0,7630	0,4064	2,3168	33,8573	1,6271
110	0,8299	0,4265	0,7268	0,3460	1,0836	33,8137	1,7074
120	0,8182	0,4149	0,7253	0,3466	1,0948	33,8234	1,7054
130	0,8382	0,2958	0,8060	0,3179	1,2954	33,8631	1,7122
140	0,7994	0,3148	0,7870	0,2844	0,9933	33,8822	1,7312
150	0,7636	0,2900	0,7766	0,2764	1,0846	33,9010	1,7320
160	0,8373	0,4119	0,7846	0,2280	0,3911	33,8610	1,7540
170	0,8143	0,5739	0,6356	0,2844	0,4102	33,8046	1,7045
180	0,8051	0,5522	0,6716	0,2218	0,0618	33,8189	1,7248
190	0,7586	0,5665	0,6168	0,2390	-0,0109	33,8467	1,7123
200	0,7179	0,5452	0,6013	0,2430	-0,0265	33,8786	1,7147
204	0,7423	0,5152	0,6421	0,2540	0,1535	33,8618	1,7232
210	0,7789	0,4617	0,7148	0,2341	0,2222	33,8566	1,7440
220	0,7142	0,5245	0,6018	0,2775	0,2266	33,8864	1,7082
230	0,7059	0,4854	0,6623	0,1778	-0,2546	33,8891	1,7512
240	0,7606	0,5047	0,6783	0,2139	-0,0200	33,8558	1,7385
250	0,8287	0,5121	0,7061	0,2607	0,4192	33,8101	1,7299
260	0,7574	0,5127	0,6611	0,2397	0,1053	33,8529	1,7295
270	0,7545	0,4606	0,6875	0,2641	0,3664	33,8626	1,7328
280	0,8096	0,4932	0,7101	0,2493	0,3229	33,8287	1,7354
290	0,7842	0,4204	0,7397	0,2457	0,3942	33,8654	1,7465
300	0,8331	0,5001	0,7226	0,2466	0,3659	33,8163	1,7361
304	0,7534	0,4185	0,7029	0,2902	0,6458	33,8687	1,7266
310	0,7736	0,4435	0,6989	0,2974	0,6414	33,8512	1,7231
320	0,7519	0,4258	0,7137	0,2474	0,3554	33,8755	1,7439
330	0,8284	0,5056	0,7227	0,2248	0,2186	33,8230	1,7389
340	0,8316	0,5246	0,7145	0,2142	0,1456	33,8173	1,7357
350	0,8345	0,5035	0,7278	0,2262	0,2479	33,8210	1,7394
360	0,7695	0,4827	0,6992	0,2182	0,0682	33,8573	1,7434
370	0,8009	0,4657	0,6886	0,3313	0,8493	33,8254	1,7085
380	0,8023	0,4846	0,6984	0,2823	0,5145	33,8276	1,7265
390	0,7529	0,5086	0,6762	0,1923	-0,1658	33,8613	1,7417
400	0,8149	0,4242	0,7389	0,2982	0,7560	33,8354	1,7283
404	0,8039	0,4360	0,7417	0,2525	0,4305	33,8506	1,7434
410	0,8227	0,4754	0,7143	0,2939	0,6516	33,8164	1,7260
420	0,8332	0,5335	0,7112	0,2068	0,0993	33,8152	1,7341

**Tab. 16:** Fortsetzung, Ergebnisse der Berechnungen aus dem Programm THREAD.

Kern-tiefe (cm)	Kommunalität	Faktor 1 (Eisalgen)	Faktor 2 (N. kerguelensis)	Faktor 3 (Warmwasser)	Temperatur (°C)	Salzgehalt (‰)	Phosphatgehalt (µmol/kg)
430	0,8054	0,4358	0,7431	0,2516	0,4280	33,8504	1,7438
440	0,8690	0,4908	0,7403	0,2830	0,7090	33,7911	1,7317
450	0,8270	0,4838	0,7191	0,2754	0,5396	33,8164	1,7312
460	0,7912	0,4660	0,7209	0,2332	0,2316	33,8504	1,7439
470	0,8213	0,3942	0,7701	0,2699	0,6561	33,8542	1,7412
480	0,7911	0,3773	0,7597	0,2677	0,6557	33,8706	1,7411
490	0,7310	0,4628	0,6806	0,2315	0,1371	33,8780	1,7424
500	0,7486	0,4723	0,6914	0,2180	0,0553	33,8694	1,7451
510	0,7447	0,5332	0,6369	0,2341	0,0013	33,8583	1,7240
520	0,7699	0,5103	0,6482	0,2989	0,4874	33,8432	1,7111
530	0,7408	0,4524	0,6524	0,3326	0,8091	33,8705	1,6996
540	0,8422	0,4768	0,7385	0,2635	0,5214	33,8159	1,7369
550	0,7946	0,4660	0,7101	0,2707	0,4625	33,8393	1,7328
560	0,7321	0,3870	0,6952	0,3147	0,9126	33,8833	1,7126
570	0,8187	0,3296	0,7497	0,3847	1,6329	33,8358	1,6723
580	0,8445	0,3271	0,7794	0,3605	1,4731	33,8320	1,6921
590	0,7886	0,3433	0,7490	0,3313	1,1940	33,8612	1,7066
600	0,8872	0,3730	0,8058	0,3143	1,0920	33,8211	1,7268
610	0,8058	0,2652	0,8247	0,2351	0,9139	33,9187	1,7517
620	0,8241	0,3152	0,7791	0,3431	1,3902	33,8505	1,6990
630	0,8457	0,3144	0,8169	0,2818	0,9845	33,8733	1,7342
640	0,8555	0,4017	0,7903	0,2636	0,6604	33,8441	1,7447
650	0,7567	0,3356	0,6984	0,3953	1,7174	33,8713	1,6547
660	0,8460	0,4216	0,7518	0,3211	0,9661	33,8143	1,7216
670	0,8403	0,2580	0,8122	0,3378	1,6136	33,8642	1,6920
680	0,8097	0,2982	0,7905	0,3097	1,2338	33,8739	1,7157
690	0,8764	0,2021	0,8938	0,1916	0,9535	33,9627	1,7625
700	0,7632	0,3651	0,7480	0,2653	0,6706	33,8843	1,7411
710	0,8247	0,2492	0,8080	0,3313	1,6292	33,8737	1,6932
720	0,8364	0,3684	0,7899	0,2769	0,7827	33,8569	1,7393
730	0,8435	0,2330	0,8304	0,3156	1,5922	33,8816	1,7008
740	0,8605	0,1717	0,8612	0,2990	1,8684	33,9024	1,6958
750	0,8352	0,1505	0,8496	0,3012	2,1209	33,9060	1,6874
760	0,7763	0,3025	0,7893	0,2485	0,8287	33,9055	1,7480
770	0,8534	0,1670	0,8386	0,3496	2,2932	33,8760	1,6554
780	0,8628	0,2544	0,8181	0,3589	1,7724	33,8486	1,6781
790	0,7420	0,1663	0,7342	0,4187	3,2698	33,8938	1,5764
800	0,7846	0,1701	0,7507	0,4383	3,2379	33,8700	1,5627
810	0,8124	0,1888	0,7728	0,4237	2,8310	33,8568	1,5917
820	0,7669	0,2574	0,7690	0,3306	1,6552	33,8893	1,6915
830	0,8334	0,2700	0,8475	0,2057	0,6941	33,9317	1,7642
840	0,7461	0,5225	0,6365	0,2607	0,1829	33,8588	1,7192
850	0,7959	0,5687	0,6495	0,2248	0,0206	33,8204	1,7178
860	0,7096	0,5391	0,5983	0,2471	0,0004	33,8856	1,7145
870	0,7603	0,4940	0,6954	0,1808	-0,1854	33,8647	1,7481
880	0,8257	0,5940	0,6473	0,2320	0,1327	33,7959	1,7095
890	0,8475	0,5762	0,6996	0,1612	-0,1456	33,8043	1,7216
894	0,8583	0,5427	0,7146	0,2304	0,3209	33,7932	1,7298