

**Gehäuseuntersuchungen an planktischen Foraminiferen
hoher Breiten: Hinweise auf Umweltveränderungen
während der letzten 140.000 Jahre**

**Analysis of planktic foraminiferal tests from high latitudes:
Indicators of climate change during the last 140,000 years**

Harald Hommers

**Ber. Polarforsch. 295 (1998)
ISSN 0176 - 5027**

Harald Hommers
GEOMAR Forschungszentrum
Wischhofstrasse 1-3
D-24148 Kiel

*Druckfassung einer Dissertation, die 1998 der
mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der
Christian-Albrechts-Universität in Kiel vorgelegt wurde.*

INHALT

KURZFASSUNG/ABSTRACT.....	1
1. ZIELSETZUNG UND FRAGESTELLUNG.....	5
2. UNTERSUCHUNGSGEBIETE.....	7
2.1 Arktischer Ozean.....	7
2.2 Europäisches Nordmeer.....	9
2.3 Südatlantik/Weddellmeer.....	12
3. STAND DER FORSCHUNG ÜBER PLANKTISCHE FORAMINIFEREN ALS SIGNALTRÄGER VON UMWELTVERÄNDERUNGEN.....	16
4. METHODIK.....	19
4.1 Untersuchungsmaterial.....	19
4.2 Größenanalysen an der Gesamtfraktion 100-500 µm.....	22
4.3 Größenmessungen mit der halbautomatischen Bildanalyse an Gehäusen von <i>N. pachyderma</i> (s).....	22
4.4 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen.....	22
5. STRATIGRAPHIE.....	23
5.1 Datenmaterial.....	23
5.2 Altersmodelle/lineare Sedimentationsraten.....	23
6. VERBREITUNG PLANKTISCHER FORAMINIFEREN HOHER BREITEN.....	25
6.1 Verbreitung von <i>N. pachyderma</i>	25
6.2 Verbreitung von <i>T. quinqueloba</i>	26
7. ERGEBNISSE.....	27
7.1 Morphologische Untersuchungen.....	27
7.1.1 <i>N. pachyderma</i> (s).....	27
7.1.2 <i>T. quinqueloba</i>	28
7.2. Biometrische Analysen.....	28
7.2.1 Größenanalysen an <i>N. pachyderma</i> (s) in Oberflächenproben.....	28
7.2.2 Größenanalysen an <i>N. pachyderma</i> (s) in Sedimentkernen.....	30
7.2.3 Größenanalysen an <i>N. pachyderma</i> (d) in Sedimentkernen.....	31
7.2.4 Größenanalysen an <i>T. quinqueloba</i> in Sedimentkernen.....	32
7.3 Bestimmung des Gehäusedurchmessers mit der halbautomatischen Bildanalyse.....	37
7.3.1 Mittlere Gehäusedurchmesser von <i>N. pachyderma</i> (s) und <i>T. quinqueloba</i> in den einzelnen Untersuchungsgebieten.....	37
7.3.2 Gehäusedurchmesser von <i>N. pachyderma</i> (s) in einzelnen Sedimentkernen.....	38

Inhalt

7.4 Auszählergebnisse in den Fraktionen 250-500 µm und 125-250 µm.....	40
7.4.1 Häufigkeiten von <i>N. pachyderma</i> (s)/(d) und <i>T. quinqueloba</i> in Oberflächenproben.....	40
7.4.2 Verteilung von <i>N. pachyderma</i> (s)/(d) und <i>T. quinqueloba</i> in Sedimentkernen.....	40
7.4.3 Häufigkeit von Phänotypen <i>N. pachyderma</i> (s) in Oberflächenproben.....	46
7.4.4 Phänotypen von <i>N. pachyderma</i> (s) in Sedimentkernen.....	48
7.5 Häufigkeitsschwankungen von <i>N. pachyderma</i> (s)/(d) und <i>T. quinqueloba</i> und Veränderung der Oberflächentemperaturen in Sedimentkernen des Südatlantiks.....	56
8. DISKUSSION.....	58
8.1. Morphologische Untersuchungen an <i>N. pachyderma</i> (s).....	58
8.2 Veränderung der Gehäusegröße und -morphologie als mögliche Reaktion auf unterschiedliche Umweltbedingungen.....	58
8.2.1 Lebensbedingungen von <i>N. pachyderma</i> (s).....	58
8.2.2 Lebensbedingungen von <i>N. pachyderma</i> (d).....	61
8.2.3 Anpassung von <i>T. quinqueloba</i> an unterschiedliche Oberflächenwassermassen.....	61
8.3 Vergleich von SST-Oberflächentemperaturen und aus Mg/Ca- Verhältnissen ermittelten Oberflächentemperaturen an plank- tischen Foraminiferen im Südatlantik.....	64
8.4 Klimainduzierte Ursachen für die Entstehung von Phänotypen <i>N. pachyderma</i> (s) ?.....	67
8.4.1 Rezente Phänotypen <i>N. pachyderma</i> (s) als Anzeiger unterschiedlicher Oberflächenwassermassen?.....	67
8.4.2 Wurstkammer-Individuen <i>N. pachyderma</i> (s) als Paläo- Anzeiger für salzarme Oberflächenwassermassen?.....	67
8.4.3 Entstehung von Wurstkammer-Individuen <i>N. pachyderma</i> (s).....	69
8.4.4 Entstehung von Kümmerform-Individuen <i>N. pachyderma</i> (s).....	70
8.4.5 Entstehung von aberranten Individuen <i>N. pachyderma</i> (s).....	70
8.5 Biogeographische Verbreitung und Bipolarität von <i>N. pachyderma</i> (s) im Arktischen Ozean, Nord- und Südatlantik.....	73
8.6 Zukünftige Forschungsansätze.....	77
9. SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	80
10. DANK.....	81
11. LITERATUR.....	82
12. ANHANG.....	91

KURZFASSUNG

Vergleichende biometrische und morphologische Daten wurden an den planktischen Foraminiferenarten *Neogloboquadrina pachyderma* (sinistral), *Neogloboquadrina pachyderma* (dextral) und *Turborotalita quinqueloba* in Oberflächenproben und Sedimentkernen des Arktischen Ozeans, des Europäischen Nordmeeres und des Südatlantiks während der letzten 140.000 Jahre erhoben. Durch Größen- und Konzentrationsänderungen planktischer Foraminiferen können Rückschlüsse auf Veränderungen der entsprechenden Oberflächenwassermassen in Warm- und Kaltphasen gezogen werden.

In Oberflächenproben im Bereich der Framstraße zeichnet *N. pachyderma* (s) mit ihren starken Größen- und Konzentrationsschwankungen die hohe Variabilität der Oberflächenwassermassen in diesem Gebiet nach. Die Gehäusegrößen von *N. pachyderma* (s) in Oberflächenproben des Südatlantiks schwanken ebenfalls sehr stark und sind in den sehr unterschiedlichen Temperatur- und Salzgehaltsbedingungen der Oberflächenwassermassen nördlich und südlich der Antarktischen Polarfront begründet.

In Sedimentkernen des zentralen Arktischen Ozeans und des Weddellmeeres zeigt *N. pachyderma* (s) deutliche biometrische Unterschiede: Während im zentralen Arktischen Ozean das gesamte Größenspektrum von 100 bis 315 µm gleichmäßig vertreten ist und nur im Holozän die Anzahl an kleinen Individuen zwischen 100 und 150 µm zunimmt, bildet *N. pachyderma* (s) im Weddellmeer in Kaltphasen große, in Warmphasen dagegen kleine Gehäuse aus. Sehr große Individuen mit maximalen Gehäusedurchmessern >400 µm treten nur im Weddellmeer im glazialen Isotopenstadium 2 auf. Zurückgeführt wird dies auf die unterschiedliche rezente Lebensweise von *N. pachyderma* (s), die im Arktischen Ozean bei gleichbleibenden Salzgehalts- und Temperaturbedingungen in der Wassersäule lebt, im Weddellmeer dagegen extremen Salzgehalts- und Temperaturschwankungen im Meereis ausgesetzt ist.

N. pachyderma (d) ist in den Kernen aus beiden Polargebieten mit 3 bis 7 % Häufigkeit vertreten und weist ähnliche Größen- und Konzentrationsänderungen wie *N. pachyderma* (s) auf. Das deutet auf ein gemeinsames Habitat von *N. pachyderma* (s) und (d) in den Polargebieten hin.

Im Europäischen Nordmeer und im Südatlantik kommt *N. pachyderma* (s) in Kaltphasen mit größeren Gehäusen und in Warmphasen mit kleineren Gehäusen vor, die jedoch alle wesentlich kleiner sind als die durchschnittlichen Gehäusegrößen von Individuen aus den Polargebieten. Die Größenschwankungen spiegeln den wechselnden Einfluß wärmerer und kälterer Oberflächenwassermassen der Nordatlantischen Drift im Europäischen Nordmeer bzw. des Agulhas- und des Zirkumantarktischen Stromes im Südatlantik wider. *T. quinqueloba* weist im Europäischen Nordmeer in Interglazialen größere Gehäuse und höhere Gehäusekonzentrationen auf als im letzten Glazial, während entsprechende Schwankungen im Südatlantik wesentlich schwächer ausgeprägt sind.

Bei *N. pachyderma* (s) konnten drei verschiedene Gruppen von Phänotypen ausgegliedert werden: "Wurstkammer"-Individuen mit stark verlängerter Endkammer, Kümmerform-Individuen mit stark reduzierter Endkammer und aberrante Individuen mit unregelmäßiger Gehäusemorphologie bzw. verzwilligten Individuen. Wurstkammer-Individuen treten bevorzugt in der Fraktion 250 bis 500 µm auf, mit durchschnittlichen Häufigkeiten von 7 % im Arktischen Ozean und 10 % im Weddellmeer und im Europäischen Nordmeer. In den beiden Polargebieten leben sie bevorzugt in den salzarmen Oberflächenwassermassen in Interglazialen, während im Europäischen Nordmeer auch Häufigkeitsmaxima während der Schmelzwasser-Ereignisse bei 55,45 ka, 9,7 ka und mit salzarmen Oberflächenwassermassen bei 7,5 ka zu-

KURZFASSUNG/ABSTRACT

sammenfallen. Die anderen identifizierten Phänotypen ähneln in ihren Häufigkeitsverteilungen stark denen der Wurstkammer-Individuen und lassen ebenfalls eine deutliche Abhängigkeit zu den glazial-interglazialen Veränderungen in den Oberflächenwassermassen erkennen.

Die morphologische Ähnlichkeit beider *N. pachyderma* (s)-Populationen im Arktischen Ozean/Weddellmeer und im Europäischen Nordmeer/Südatlantik lassen einen biogeographischen Austausch von Individuen beider Regionen vermuten:

Möglich wäre eine Verdriftung von *N. pachyderma* (s) vom Südatlantik mit dem Benguela- und dem Südäquatorial-Strom über den Äquator hinweg in den Golfstrom und damit ins Europäische Nordmeer. Eine "pulsartige" Verdriftung von *N. pachyderma* (s) aus Auftriebszellen vor Namibia und NW-Afrika in die Verbreitungsgebiete in Nord- und Südatlantik könnte vor allem in Glazialen stattgefunden haben. Hinweise dafür liefern lokal begrenzte Vorkommen von *N. pachyderma* (s) in Auftriebsgebieten während des letzten Glazials.

ABSTRACT

In this study, comparative biometric and morphologic investigations of the planktic foraminifers *Neogloboquadrina pachyderma* (s), *Neogloboquadrina pachyderma* (d) and *Turborotalita quinqueloba* in surface samples and sediment cores from the Arctic Ocean, the Norwegian-Greenland Sea, the South Atlantic Ocean and the Weddell Sea were carried out for the last 140,000 years. The biometric analyses showed changes in the size and concentration of planktic foraminifers, indicating variations in the corresponding surface water masses in warm and cold periods. Surface samples from the Fram Strait area demonstrate strong changes in the size and concentration of *N. pachyderma* (s), indicating the high variability of surface water masses in this region. The test sizes in surface samples from the South Atlantic also show strong variations, which are caused by the very different temperature and salinity conditions of the surface water masses to the north and to the south of the Antarctic Polar Front.

In sediment cores from the central Arctic Ocean and the Weddell Sea, *N. pachyderma* (s) shows significant biometric variations: while the entire grain size spectrum between 100 and 315 μm is uniformly present in the central Arctic Ocean (whereby the number of small (100-150 μm) individuals increases only in the Holocene), *N. pachyderma* (s) forms large tests in cold periods and small tests in warm phases in the Weddell Sea. Very large individuals with test diameters > 400 μm occur only in oxygen isotope Stage 2 in the Weddell Sea. This is probably caused by the different environments of occurrence seen in Recent *N. pachyderma* (s) samples: in the Arctic Ocean, this foraminifer lives under constant salinity and temperature conditions in the water column, while it is exposed to extreme salinity and temperature variations in the sea ice of the Weddell Sea.

N. pachyderma (d) occurs in both polar regions with a proportion of 3-7 %; variations in size and concentration are similar to those of *N. pachyderma* (s). This indicates that *N. pachyderma* (s) and (d) have a common habitat in the polar regions. In the Norwegian-Greenland Sea and the South Atlantic Ocean, *N. pachyderma* (s) occurs with larger tests in cold periods and with smaller tests in warm phases; however, all tests are significantly smaller than the average test size of individuals from the polar regions. The variations in size indicate the changing influence of warmer and colder surface water masses of the North Atlantic Drift in the Norwegian-Greenland Sea and the Agulhas and Antarctic Circumpolar Current in the South Atlantic. In the Norwegian-Greenland Sea, *T. quinqueloba* displays larger tests and higher test concentrations in interglacials than in the last glacial period; corresponding variations in the South Atlantic are significantly smaller.

Three different phenotypes of the planktic foraminifer *N. pachyderma* (s) could be differentiated: "sausage chamber" individuals with a strongly lengthened end chamber, stunted individuals with a strongly shortened end chamber and twinned individuals or aberrant individuals with an irregular test morphology. Sausage chamber individuals occur mainly in the 250-500 μm fraction, with average frequencies of 7 % in the Arctic Ocean and 10 % in the Weddell Sea and the Norwegian-Greenland Sea. In both polar regions, they prefer to live in low-salinity surface water masses in interglacials; occurrence maxima coincide with the meltwater events at 55.45 ka and 9.7 ka and with the occurrence of low-salinity surface water masses at 7.5 ka in the Norwegian-Greenland Sea. The frequency distributions of the other identified phenotypes are strongly similar to those of the sausage chamber individuals; they also indicate a clear relationship with glacial-interglacial variations in the surface water masses.

KURZFASSUNG/ABSTRACT

The morphologic similarity of the two *N. pachyderma* (s) populations in the Arctic Ocean/Weddell Sea and in the Norwegian-Greenland Sea/South Atlantic points to a biogeographic exchange of individuals between the two regions: it is possible that *N. pachyderma* (s) is transported from the South Atlantic via the Benguela and South Equatorial Currents over the Equator into the Gulf Stream and then into the Norwegian-Greenland Sea. A pulse-like exchange from upwelling cells off Namibia and northwest Africa to the North and South Atlantic would have occurred mainly in glacial periods. Evidence for this is provided by the local occurrence of *N. pachyderma* (s) in upwelling areas during the last glacial period.

1. Zielsetzung und Fragestellung

Planktische Foraminiferen leben rezent mit ca. 40 verschiedenen Arten in allen Oberflächenwassermassen der Weltmeere. Ihr Artenreichtum ist in tropischen Gebieten am größten und nimmt polwärts sukzessive ab. In den Subpolargebieten des Atlantiks beider Hemisphären (Europäisches Nordmeer, südlicher Südatlantik) kommen noch etwa fünf verschiedene planktische Foraminiferenarten vor; in den Polargebieten ist fast ausschließlich der linksgewundene Phänotyp von *Neogloboquadrina pachyderma* vertreten.

Mit dieser Arbeit soll anhand morphologischer und biometrischer Untersuchungen - vor allem an den Kalkschalen *N. pachyderma* (sinistral) - ein rezenter und ein fossiler Vergleich der beiden *N. pachyderma*-Populationen im Arktischen Ozean und in den höheren Breiten des Atlantischen Ozeans ermöglicht werden. Dazu sollen Veränderlichkeiten in der speziellen Anpassung von *N. pachyderma* an die Oberflächenwassermassen der hohen Breiten dargestellt werden. Hierfür wurde der Zeitraum der letzten 140.000 Jahre gewählt, da er die beiden letzten Glaziale und Interglaziale vollständig abdeckt.

Folgende Fragestellungen zum bipolaren Verteilungsmuster planktischer Foraminiferen werden in dieser Arbeit behandelt:

Welche morphologischen Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede bestehen zwischen den Individuen von *N. pachyderma* (s), *N. pachyderma* (d) und *Turborotalita quinqueloba* in den polaren bzw. subpolaren Untersuchungsgebieten?

Wie haben sich diese planktischen Foraminiferen an die sie umgebenden Oberflächenwassermassen im Zeitraum der letzten 140.000 Jahre angepaßt? Lassen sich unterschiedliche Anpassungen mittels biometrischer Analysen nachweisen?

Lassen sich morphologische Merkmale und die Ergebnisse biometrischer Analysen mit physikalischen, chemischen oder biologisch relevanten Eigenschaften der Oberflächenwassermassen korrelieren?

Ist das Auftreten von Phänotypen *N. pachyderma* (s) an bestimmte Wassermassen bzw. ökologische Nischen gebunden?

Können durch einen detaillierten morphologischen und biometrischen Vergleich an Individuen von *N. pachyderma* in beiden Hemisphären Rückschlüsse auf einen möglichen Austausch der rezent bipolar verteilten Populationen gezogen werden?

Die *N. pachyderma*-Populationen wurden vergleichend in Oberflächenproben und Sedimentkernen im Arktischen Ozean, Europäischen Nordmeer und Südatlantik untersucht. Dabei wurden die Arbeitsgebiete so gewählt, daß ein direkter Vergleich zwischen Gehäusen planktischer Foraminiferen in polaren (Arktischer Ozean, westliches Europäisches Nordmeer und südlicher Südatlantik) und in subpolaren Bereichen (östliches Europäisches Nordmeer, Südatlantik) beider Hemisphären möglich wird (Abb. 1).

1. Zielsetzung und Fragestellung

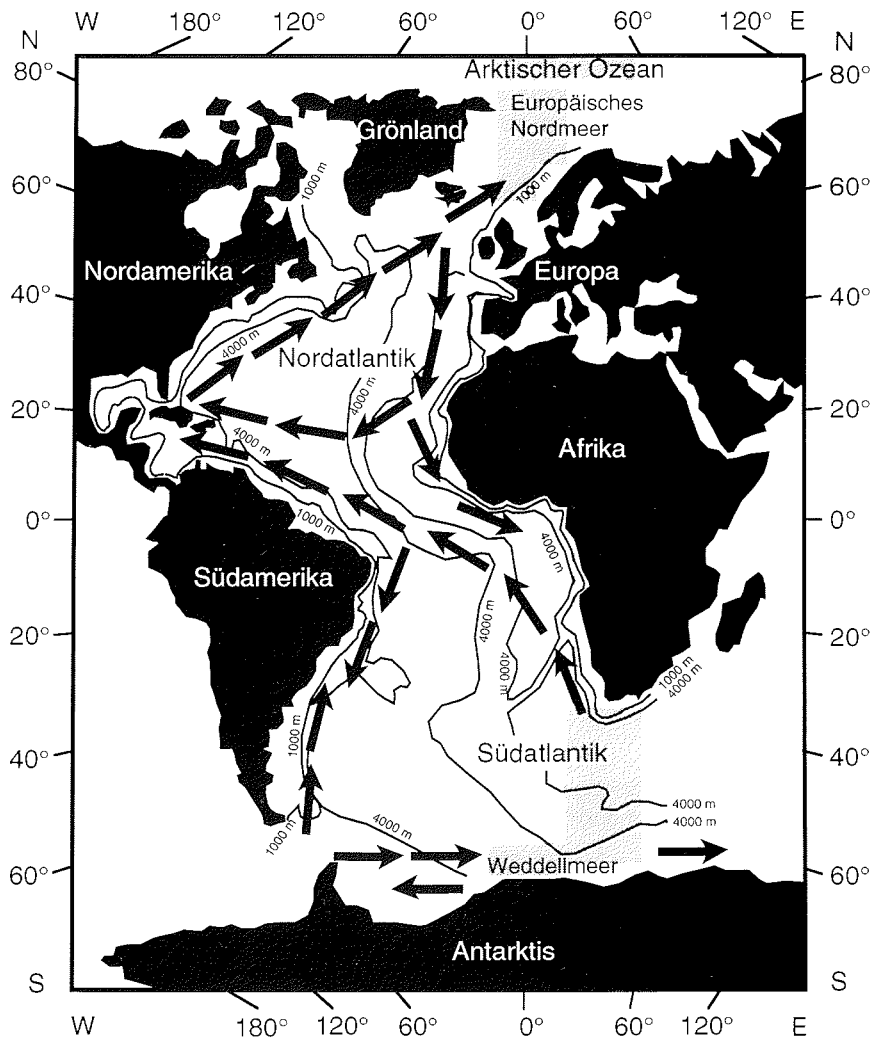


Abb. 1: Atlantischer Ozean mit Bathymetrie und Oberflächenströmungen und Lage der Arbeitsgebiete.

2. Untersuchungsgebiete

2.1 Arktischer Ozean

Der Transport von Oberflächenwassermassen im Arktischen Ozean wird von den antizyklonal rotierenden Wassermassen des Beaufort-Wirbels im Kanada-Becken geprägt, die eine Strömungsgeschwindigkeit von bis zu 5 cm/sec erreichen, sowie von der Transpolardrift (Abb. 2a), deren Wassermassen aus dem Beaufort-Wirbel hinaus über den zentralen Arktischen Ozean strömen. Durch die nur etwa 600 km breite und maximal 2600 m tiefe Framstraße erreichen diese Wassermassen als Ostgrönlandstrom die Grönlandsee.

Relevant für das Habitat von *N. pachyderma* im Arktischen Ozean sind jedoch die Wassermassen des Polaren Oberflächenwassers (PSW) mit seiner 10 bis 50 m mächtigen und bis zu -1,5 °C kalten Oberflächenmischwasserschicht mit Salzgehalten <33,5 (Anderson & Dyrssen, 1989) (nach UNESCO (1985) in Millero (1993)) wird der Salzgehalt in dieser Arbeit als dimensionslose Größe angegeben). Die Wassermassen des Polaren Oberflächenwassers weisen ein breites Temperatur- und Salzgehaltsspektrum auf: Die Temperaturen reichen von 0 bis 6 °C, der Salzgehalt schwankt zwischen 32,0 und 34,4. Unterhalb der Oberflächenmischwasserschicht befindet sich die Halokline, eine durchschnittlich 90 m mächtige Sprungschicht in 100 bis 200 m Wassertiefe (Rudels, 1989; Aagaard et al., 1981). Ihre oberen, salzarmen Wassermassen entstehen im Kanadischen Becken durch starken Flußwassereintrag aus den großen sibirischen Strömen Ob, Yenisei, Lena und dem kanadischen MacKenzie-Strom sowie durch den Einstrom pazifischen Wassers durch die Beringstraße (Aagaard & Carmack, 1989; Aagaard et al., 1981).

Von den wichtigsten Zwischen- und Tiefenwassermassen im Arktischen Ozean weist die Atlantische Lage (AL) zwischen 300 und 500 m die höchsten Temperaturen auf. Ihre Untergrenze bildet die 0 °C Isotherme in 600 bis 800 m Wassertiefe (Aagaard et al., 1981). Diese über die Framstraße einströmenden Wassermassen werden zyklonal durch den Arktischen Ozean transportiert.

Die zentralen Bereiche des Arktischen Ozeans sind ganzjährig von einer Packeisdecke bedeckt (Hibler III, 1989), während die Randgebiete, vor allem die Schelfbereiche wie Laptev-, Kara- und Barentssee einige Monate im Jahr eisfrei bleiben (Abb. 2a). Die Eisausdehnung im Arktischen Ozean ist im Winter mit 9×10^6 km² knapp doppelt so groß wie im Sommer (16×10^6 km²) (Eicken, 1995). Typisches arktisches Meereis besteht aus mehreren Eislagen verschiedenen Alters (einjähriges, zweijähriges, mehrjähriges Packeis) und erreicht durchschnittliche Mächtigkeiten von 2,5 bis 4 m (Eicken, 1995). Größte mittlere Eismächtigkeiten treten im Arktischen Ozean mit über 6 m im Bereich des Kanadischen Küstenschelfes und an der Nordostküste Grönlands nördlich der Framstraße auf (Hibler III, 1989).

Das Meereis der Arktis bietet einer Vielzahl von Organismen einen Lebensraum: In den unteren Bereichen des Meereises sind Mikroorganismen wesentlich häufiger als in der "internen Gemeinschaft". In den "Tümpelgemeinschaften" an der Eisoberseite treten sogar spezialisierte Phyto- und Zooplankton-Süßwasserarten auf (Spindler, 1995). Unter einer geschlossenen Meereisdecke lassen sich nur geringe Mengen an Phyto- und Zooplankton und damit auch an planktischen Foraminiferen beobachten (Carstens et al., 1997). Grundsätzlich bildet der zentrale Arktische Ozean hinsichtlich seiner Primärproduktion ein Niedrigproduktionsgebiet mit <100 mgC/m²/Tag (Andersen, 1989). Höchste Primärproduktionsraten werden an den Schollengrenzen bzw. am sich zurückziehenden Packeisrand im Bereich des stabil geschichteten Polaren Oberflächenwassers gemessen (Baumann, 1990). Damit übt auch die

2. Untersuchungsgebiete

Meereisbedeckung einen entscheidenden Einfluß auf die Produktion biogener Sedimente im Arktischen Ozean aus.

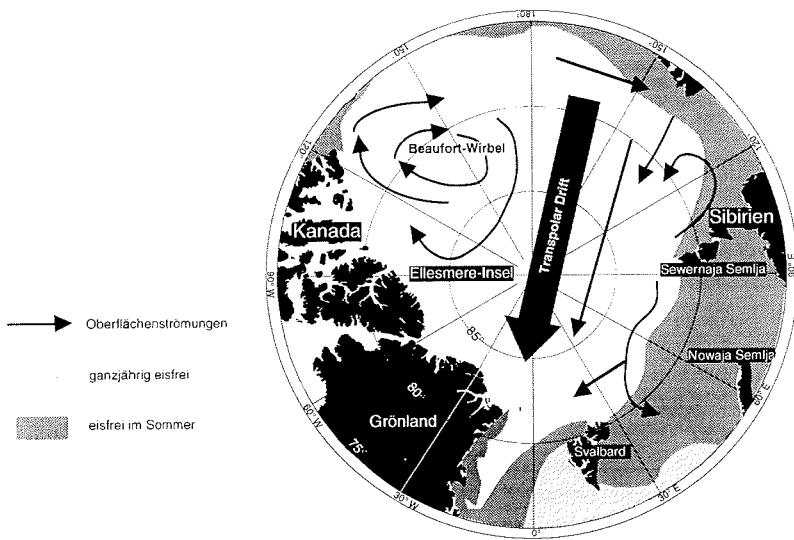


Abb. 2a: Übersichtskarte des Arktischen Ozeans mit Strömungen und Meereisbedeckung (umgezeichnet nach Kassens et al. (1995) und Hibler III (1989)).

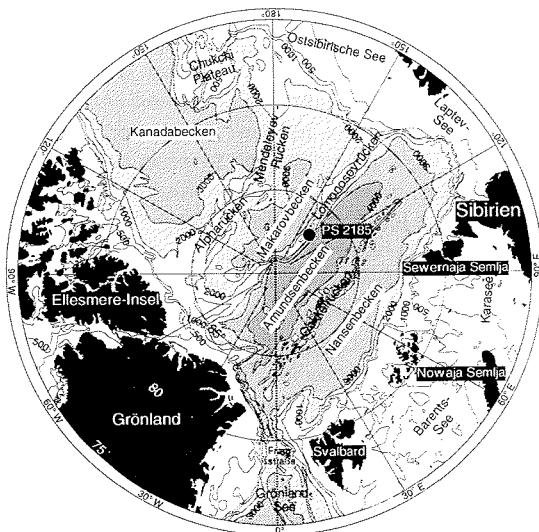


Abb. 2b: Übersichtskarte des Arktischen Ozeans mit Probenlokation und Bathymetrie.

2. Untersuchungsgebiete

2.2 Europäisches Nordmeer

Das Europäische Nordmeer (EN) wird im W von Grönland, im N von Spitzbergen, im E von Norwegen und im S von Island begrenzt. Es läßt sich in drei ozeanographische Einheiten mit eigenen charakteristischen Wassermassen gliedern (Abb. 3a):

Der östliche Bereich des EN wird von der Atlantischen Domäne (AND) eingenommen und nach Westen hin durch die Arktische Front begrenzt. Entscheidenden Einfluß hat hierbei die Nordatlantische Drift, die als Ausläufer des Golfstromes über die Island-Färöer-Schwelle fließt und schließlich über den Mohns-Knipovich-Rücken und die Framstraße in den Arktischen Ozean einmündet (Abb. 3a). In der AND weist der Norwegenstrom charakteristische Temperaturen von $>6\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Salzgehalte von $>34,9$ auf und umfaßt die oberen 500-700 m der Wassersäule (Swift & Aagaard, 1981). Er wird in einem Bereich bis 100 km westlich der norwegischen Küste vom Norwegischen Küstenstrom bis 150 m Wassertiefe überlagert (Swift & Aagaard, 1981). Die geringen Salzgehalte des Norwegischen Küstenstromes werden durch den Einfluß von salzarmen Nord- und Ostseewasser und durch Brackwasserzufuhr aus norwegischen Fjorden hervorgerufen (Johannessen, 1986).

Im zentralen Bereich des EN ist die Arktische Domäne (ARD) ausgeprägt, die den größten Teil des Grönland-Beckens umfaßt. Sie setzt sich aus zwei durch die Jan-Mayen-Bruchzone getrennte und entgegen dem Uhrzeigersinn rotierenden Stromsystemen, dem Jan-Mayen-Strom im zentralen Bereich des EN und dem Irminger-Strom im SW des EN, zusammen. Die Temperaturen und Salzgehalte dieser Wassermassen sind geringer als die der AND und schwanken zwischen 0 und $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ bzw. 34,6 und 34,9.

Der westliche Teil des EN wird durch die Polare Domäne (POD) geprägt. Die Grenze der POD gegen Osten bildet die Arktische Polarfront (Abb. 3a). Der Hauptteil der Wassermassen innerhalb der POD fließt als Ostgrönlandstrom, dessen Wassermassen durch relativ niedrige Temperaturen und geringe Salzgehalte charakterisiert sind ($T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$; $S < 34,4$), nach Süden. Saisonal bedingt wurden auch höhere Temperaturen ($>5\text{ }^{\circ}\text{C}$) und z. T. wesentlich geringere Salzgehalte (<30) ermittelt (Swift, 1986).

Unter den Oberflächenwassermassen bildet das Arktische Zwischenwasser (AIW) die oberste Zwischenwasserschicht und erstreckt sich bis 400 m Wassertiefe. Es weist typische Temperaturen zwischen 0 und $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Salzgehalte von 34,8 bis 35,0 auf. Das unterste Wasserstockwerk im EN besteht aus den Wassermassen des Grönlandsee-Tiefenwassers (GSDW) mit den niedrigsten Wassertemperaturen von $<0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und mittleren Salzgehalten von 34,9 (Johannessen, 1986). Das Norwegensee-Tiefenwasser (NSDW) entsteht durch die Vermischung von Grönlandsee-Tiefenwasser mit eurasischem Tiefenwasser aus dem Arktischen Ozean. Der Austausch von Arktischem Zwischenwasser und NSDW zwischen Europäischem Nordmeer und Nordatlantik vollzieht sich hauptsächlich über das Färöer-Shetland-Kanalsystem mit maximalen Wassertiefen von 900 bis 1000 m. Diese beiden Wassermassen sind wesentlich an der Bildung von sauerstoffreichem Nordatlantischen Tiefenwasser (NADW) beteiligt, das sich in Form des "Conveyor Belts" vom Nord- über den Südatlantik in den Indischen und schließlich Pazifischen Ozean ausbreitet (Broecker, 1992). Die Dänemarkstraße mit maximal 600 m und der Island-Färöer-Rücken mit maximal 400 m Wassertiefe (Myhre & Thiede, 1995) sind dagegen für einen großvolumigen Austausch von Zwischen- und Tiefenwässern aus dem Europäischen Nordmeer in den Nordatlantik zu flach. Durch die Framstraße wird ein Teil des im Arktischen Ozean und den angrenzenden Meeresgebieten gebildeten Meereises mit dem Ostgrönlandstrom exportiert. Dabei läßt sich vor allem im westlichen Bereich der Framstraße sowohl altes, mehrjähriges Meereis als auch Meereisneubildung nachweisen. Die im Vergleich zum sehr kalten Ostgrönlandstrom relativ warmen Wassermassen des Westspitzbergenstromes halten den östlichen Bereich der Framstraße eisfrei (Vinje, 1985) (Abb. 3a).

2. Untersuchungsgebiete

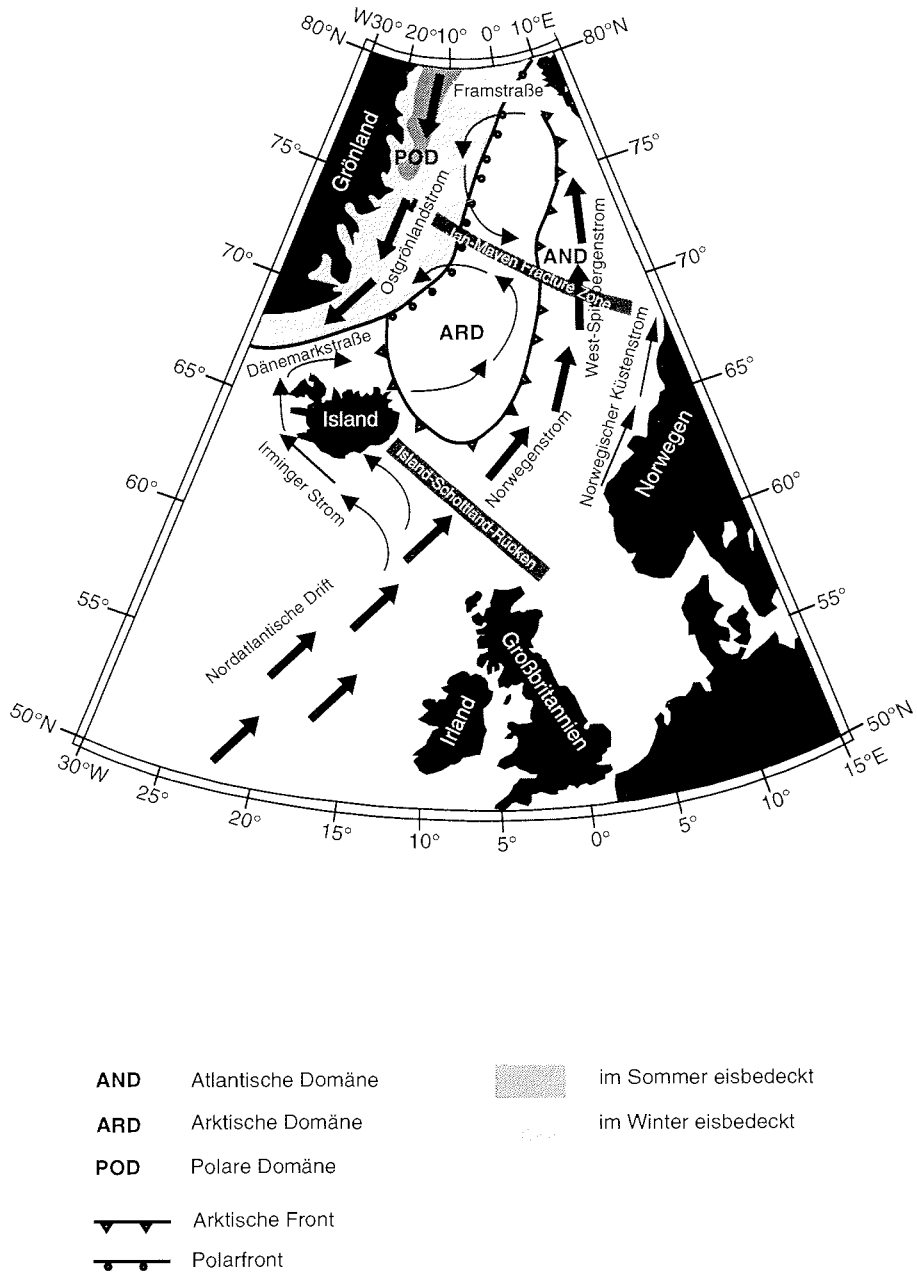


Abb. 3a: Übersichtskarte des Europäischen Nordmeeres und des Nordatlantiks mit Oberflächenströmungen und Meereisbedeckung (umgezeichnet nach Johannessen et al. (1986)).

2. Untersuchungsgebiete

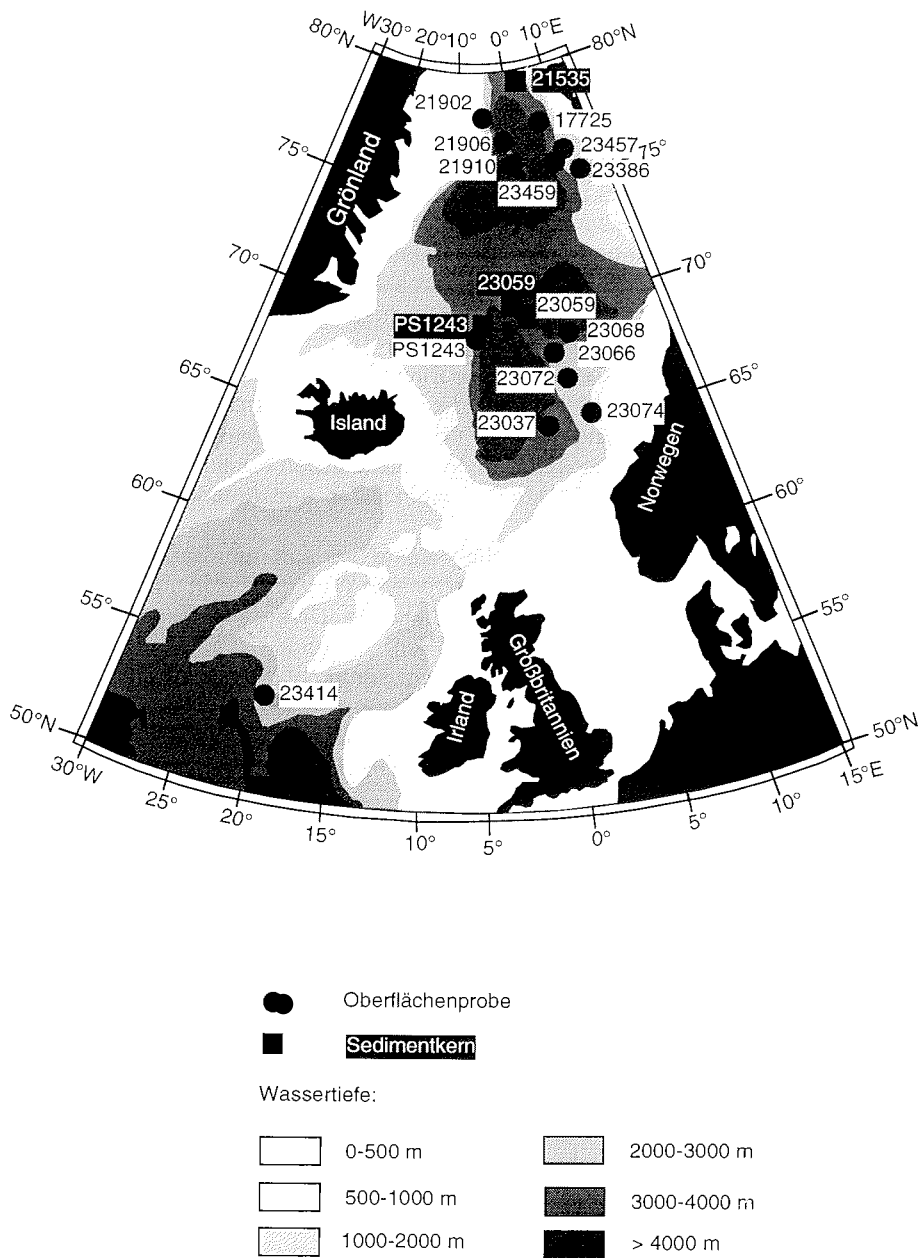


Abb. 3b: Übersichtskarte des Europäischen Nordmeeres und des Nordatlantiks mit Probenlokationen und Bathymetrie.

2.3 Südatlantik/Weddellmeer

Die Verteilung der Oberflächenwassermassen im Südatlantik wird bestimmt durch die vorherrschenden Windzonen. Im südlichen Südatlantik bestimmt das große Stromband des Antarktischen Zirkumpolarstromes (ACC) das Strömungsregime (Abb. 4a). Das auffälligste Merkmal der Oberflächenwassermassen des Südatlantiks sind die zirkumpolar verlaufenden ozeanographischen Fronten, zonal verlaufende Strombänder, in denen sich die Eigenschaften der Wassermassen (vor allem Temperatur und Salzgehalt) innerhalb kurzer Distanz ändern (Belkin & Gordon, 1996). Im Folgenden werden die einzelnen Oberflächenwassermassen des Südatlantiks von N nach S beschrieben (Abb. 4a).

Der Agulhas-Strom bringt warme Wassermassen aus dem südlichen Indischen Ozean in den nordöstlichen Südatlantik (Lutjeharms et al., 1985). Dabei bildet er zahlreiche Verwirbelungen ("Eddies") aus, die einen geringen Teil seiner Wassermassen in den Südatlantik mit-einfließen lassen. Der weitaus größte Teil fließt als Agulhas-Rückstrom wieder dem Indischen Ozean zu (Abb. 4b) (Lutjeharms et al., 1985).

Der Antarktische Zirkumpolarstrom (ACC = Antarctic Circumpolar Current) umfaßt alle Wassermassen im Südatlantik südlich von 30° S und bildet mit einer Wasserdurchflußmenge von 190 Sv die größte Oberflächenströmung der Erde (Thurman, 1990). Diese Wassermassen fließen im Bereich der Westwindzone ostwärts um den antarktischen Kontinent. Die Oberflächenwassermassen des ACC werden in das Subantarktische und Antarktische Oberflächenwasser unterteilt (Thurman, 1990).

Im Bereich der Ostwinde vor der antarktischen Küste verläuft ein Band westlicher Strömungen, der Antarktische Küstenstrom. Zwischen seinen Wassermassen und denen des Antarktischen Zirkumpolarstromes liegt die Antarktische Divergenz. Innerhalb des Küstenstroms ist eine relativ schwach ausgeprägte Front vorhanden, die im Weddellmeer östliches salzarmes von westlichem salzreichen Schelfwasser trennt (Foldvik et al., 1985).

Das Antarktische Zwischenwasser (AAIW) bildet das oberste Stockwerk der Zwischen- und Tiefenwassermassen im Südatlantik. Es breitet sich oberhalb des NADW nach N in Wassertiefen bis 900 m aus und weist in seinem Ursprungsgebiet niedrige Salzgehalte von 33,8 auf (Dietrich et al., 1975).

Die Wassermassen des Zirkumpolaren Tiefenwassers (CDW) zirkulieren direkt unterhalb des Antarktischen Oberflächenwassers mit charakteristischen Temperaturen um 1,5 °C und Salzgehalten von >34,5 (Orsi et al., 1995).

Darunter fließt das Nordatlantische Tiefenwasser (NADW) mit salzreichen Wassermassen aus dem Europäischen Mittelmeer (Dietrich et al., 1975) und dem Arktischen Ozean (Reid et al., 1977).

Das Weddellmeer-Tiefenwasser (WSBW) ist charakterisiert durch seine niedrige Temperatur (-0,7 °C). Einer der wichtigsten Bildungsorte von Antarktischem Bodenwasser ist der Schelf des Weddellmeeres (Foldvik & Gammelsrød, 1988).

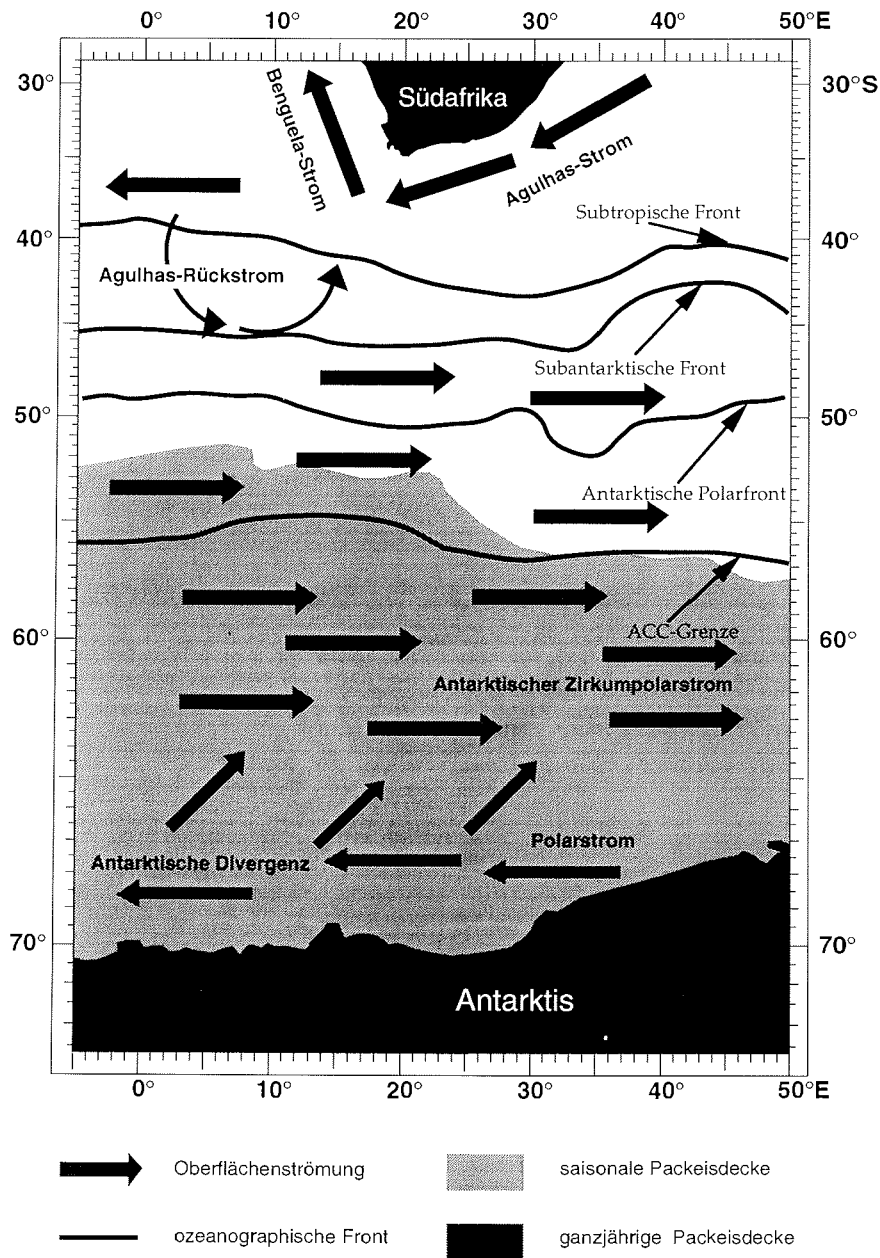
Die Meereisbedeckung spielt im Südatlantik vor allem für die Ausbildung von Eislebensgemeinschaften (u. a. auch planktische Foraminiferen) (Spindler, 1995) und Phytoplanktonblüten am Packeisrand (Kirst, 1995) sowie hinsichtlich der Unterschiede in den Lichtverhältnissen der Oberflächenwassermassen eine große Rolle. Die größte Ausdehnung wird mit ca. 19 Mio. km² im Südwinter in den Monaten August/September erreicht, die geringsten Eismengen treten dagegen mit ca. 4 Mio. km² in den Monaten Januar/Februar auf (Eicken, 1995) (Abb. 4a). Die durchschnittliche Eisdicke beträgt im Südatlantik 0,5 bis 1,5 m (Eicken, 1995). Dabei nimmt die Eismächtigkeit von S nach N ab, von 0,6 m bei 70° S auf 0,4 m bei 40° S (Wadhams, 1994). Durch Eispressungen (z. B. infolge ablandiger Winde) kann sich diese im Vergleich zum Arktischen Ozean eher geringe Eisdicke auch verdoppeln. Der

2. Untersuchungsgebiete

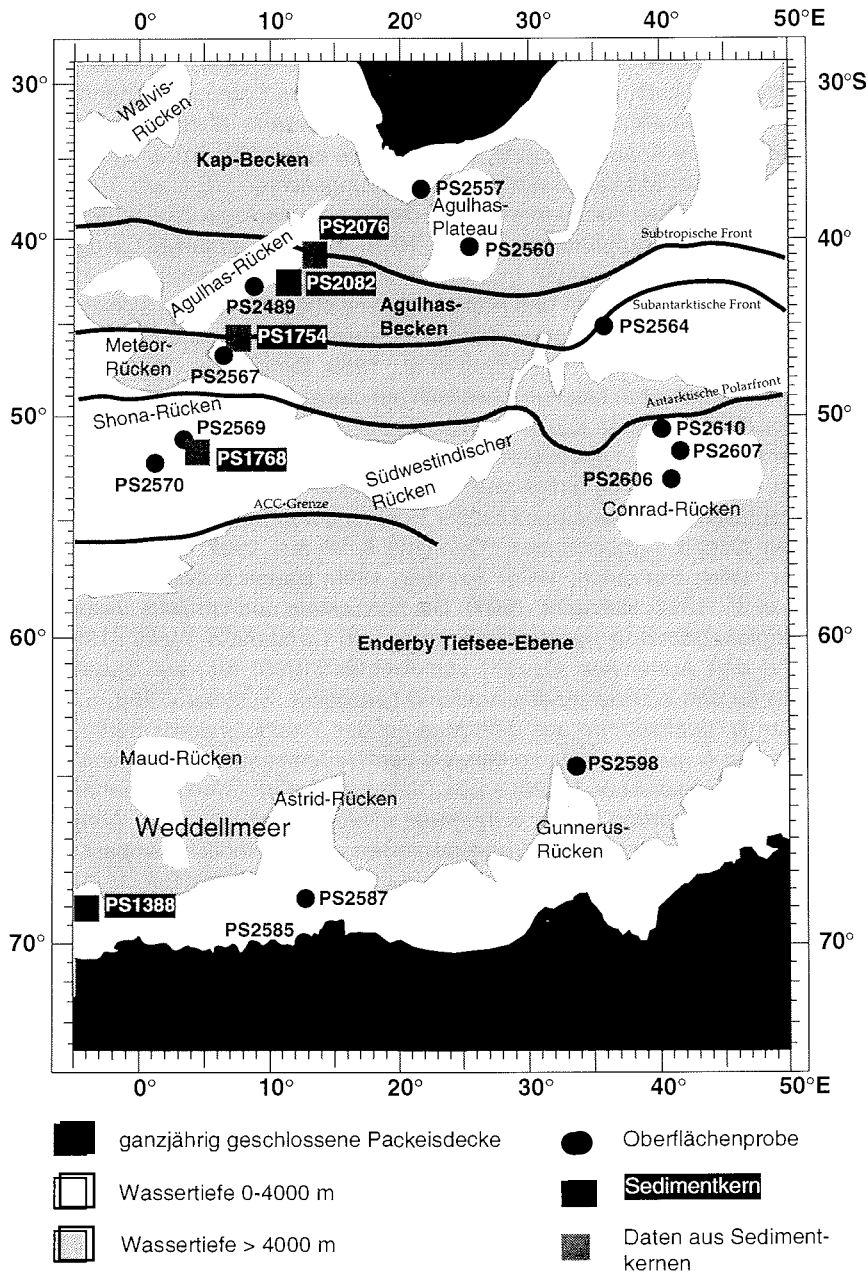
überwiegende Teil des Meereises im Südatlantik ist einjährig, schmilzt also in den Sommermonaten vollständig ab (Spindler, 1995).

Das Eis im Bereich des Südpolarmeeres unterscheidet sich vom Arktischen Meereis in folgenden Punkten:

- a) In der Antarktis kommt zu 90 % einjähriges Meereis vor (Maykut, 1985). Im antarktischen Sommer sinkt die Eisbedeckung auf minimal 20 % ihrer Ausdehnung im Winter (Spindler, 1990).
- b) Das Meereis im Südpolarmeer ist dünner als im Arktischen Ozean (Mächtigkeit <2 m).
- c) Bei antarktischem Meereis spielen thermodynamische Eisbildungsprozesse, bei denen dünne Eisschollen übereinandergedreht und entlang der Gleitflächen miteinander verschweißt werden, eine große Rolle; bei arktischem Meereis sind diese Prozesse dagegen nur von sehr untergeordneter Bedeutung (Lange et al., 1989).
- d) Im Südpolarmeer wird bei der Neueisbildung hauptsächlich granuläres Eis aus Eisplättchen gebildet, säulenförmiges Eis dagegen nur in geringem Maße (Lange et al., 1989). Dadurch sind die Solekanälchen hier größer als bei säulenförmigem Eis und lassen eine stärkere Besiedlung von Mikroorganismen zu (Spindler, 1990).
- e) Die Besiedlungsdichte ist in antarktischem Meereis wesentlich größer als in arktischem: Große Mengen an Individuen von *N. pachyderma* finden sich nur in antarktischem Meereis (Spindler & Dieckmann, 1986), hier bevorzugt im Frühstadium der Plättcheneis-Bildung (Spindler, 1990). Dabei konzentriert sich die Besiedlung auf nur wenige Dezimeter der untersten Eisschichten, auf die interne Eislebensgemeinschaft und auf die sog. "Infiltrationsgemeinschaft" an der Schnee/Eis-Grenze auf der Oberseite der Eisschollen (Horner et al., 1988).



b. 4a: Schematische Übersichtskarte des südlichen Südatlantiks mit Oberflächenströmungen und Meereisbedeckung (umgezeichnet nach Lutjeharms et al. (1985) und Dietrich et al. (1975)) (Lage der Fronten nach Belkin & Gordon (1996)).



. 4b: Übersichtskarte des südlichen Südatlantiks mit Probenlokationen und Bathymetrie (je der Fronten nach Belkin & Gordon (1996)).

3. Stand der Forschung über planktische Foraminiferen als Signalträger von Umweltveränderungen

In den 50er und 60er Jahren beschäftigte sich die mikropaläontologische Forschung mit taxonomisch orientierten Beschreibungen und Zuordnungen von Foraminiferengattungen und -arten innerhalb der Gesamtklassifizierungen der Foraminiferen (z. B. Banner & Blow, 1960; Bandy et al., 1967). Erste Ansätze zeigten jedoch bereits eine paläo-ozeanographische Anwendung morphologischer Merkmale wie z.B. die Windungsrichtung (Ericson, 1959; Kennett, 1968). In den 70er und frühen 80er Jahren wurde dieser eher ökologisch beschreibende Forschungsansatz verstärkt vorangetrieben (Keller, 1978), aber auch stärker biologisch orientierte Forschungsansätze an rezenten Individuen planktischer Foraminiferen, z. B. mittels Planktonnetzfangen, Sedimentfallen und Hälterungsversuchen, begannen sich zu etablieren (Deuser et al., 1981). In den 80er Jahren trat der biologisch-ökologische Forschungsansatz immer weiter in den Vordergrund (Hemleben et al., 1989; Bijma et al., 1990a; Bijma et al., 1990b), wobei sich die Arbeiten fast ausschließlich auf planktische Foraminiferen aus subtropischen und tropischen Gebieten konzentrierten. Dabei wurde vor allem die vertikale Verteilung planktischer Foraminiferen untersucht (Arikawa, 1983; Reynolds & Thunell, 1986). Erst in den 90er Jahren wurden einige wenige detaillierte Studien über die Ökologie und paläo-ozeanographische Relevanz planktischer Foraminiferen hoher Breiten im Arktischen und Atlantischen Ozean vorgenommen (Carstens & Wefer, 1992; Bauch, 1993, 1994; Donner & Wefer, 1994; Berberich, 1996; Spindler, 1996; Bauch & Weinelt, 1996; Bauch, 1997; Carstens et al., 1997; Hilbrecht, 1997). Die horizontale und vertikale Verbreitung der polaren Art *Neogloboquadrina pachyderma* wurde von Carstens & Wefer (1992) für den Nordatlantik und den Arktischen Ozean, von Niebler (1995) für den Südatlantik und Berberich (1996) für das Weddellmeer eingehend bearbeitet. Spindler (1996) führte Hälterungsversuche an *N. pachyderma* aus dem Meereis des Weddellmeeres durch. Vor allem die Lebensweise von *N. pachyderma* im Meereis des Weddellmeeres wurde von Spindler & Dieckmann (1986), Spindler et al. (1990) sowie Dieckmann et al. (1991) eingehend studiert. Biometrische Analysen wurden schon in früheren mikropaläontologischen Arbeiten angewandt, um anhand sich verändernder Gehäusegrößen unterschiedliche Anpassungen und optimale Habitate planktischer Foraminiferen zu postulieren. So wies Bauch (1993, 1994) nach, daß Individuen der planktischen Foraminiferenart *T. quinqueloba* während des Klimaoptimums im Holozän wesentlich größere Gehäuse aufweisen als im glazialen Isotopenstadium 2. Ihre großen Gehäusen stellen dabei eine optimale Anpassung an die relativ warmen Wassermassen des Norwegenstromes im holozänen Klimaoptimum dar. Kennett (1970) verglich als erster *N. pachyderma* (s) aus arktischen und antarktischen Meeresgebieten anhand morphologischer Kriterien. Er kam zu dem Schluß, daß *N. pachyderma*-Populationen in beiden Meeresgebieten morphologische Unterschiede aufweisen, wies aber Unterschieden in den Individuen nur den Rang von Unterarten bzw. unterschiedlich ausgeprägten Phänotypen derselben Art zu. Individuen von *N. pachyderma* (d) wurden von Cifelli (1961) einer neuen Art zugeordnet und als *Globigerina incompta* beschrieben. Als Ursache für unterschiedliche Windungsrichtungen wurden unterschiedliche Entwicklungsstadien oder auch die Ausbildung von Unterarten von *N. pachyderma* diskutiert. Cifelli (1973) ordnete *N. pachyderma* (s) und (d) aufgrund der morphologisch verschiedenen Merkmale zwei unterschiedlichen Arten zu. Dabei wies er auf die spiegelbildlich gleiche Verteilung von unterschiedlichen Phänotypen von *N. pachyderma* (s) im Arktischen Ozean und Nord- und Südatlantik hin. Boltovskoy (1962) identifizierte verschiedene Oberflächenwassermassen im SW-Atlantik anhand unterschiedlicher planktischer Foraminiferenvergesellschaftungen. Er erkannte, daß die Artenvergesellschaftungen für einen bestimmten Temperatur- und Salini-

3. Stand der Forschung

tätsbereich typisch sind und die Gehäusemorphologie bei Populationen planktischer Foraminiferen einer Art in einzelnen Wassermassen unterschiedlich ausgeprägt sein kann.

Hecht und Savin (1970) führten Isotopenuntersuchungen an rezenten Individuen der Art *Globigerinoides sacculifer* durch und erkannten, daß unterschiedliche Phänotypen einer Art verschiedene Isotopentemperaturen repräsentieren. In weiteren Isotopenuntersuchungen an verschiedenen Phänotypen planktischer Foraminiferen ermittelten Hecht & Savin (1971) um 1 bis 4,5 °C niedrigere Temperaturen aus Isotopendaten bei Kümmerformen von *Globigerinoides ruber* im Vergleich zu den Normalformen. Untersuchungen an *G. sacculifer* mit und ohne Sackkammer ergaben jedoch keine signifikanten Temperaturunterschiede. Hecht (1973) korrelierte die Vergesellschaftungen planktischer Foraminiferen im Nordatlantik niedriger Breiten mit Oberflächentemperaturen und Temperaturen aus 50 und 100 m Wassertiefe. Dadurch konnte er einen glazial/interglazialen Temperaturhub im Zeitraum der letzten 100.000 Jahre in der Karibik an der Oberfläche und in 50 m Wassertiefe von etwa 7 °C und in 100 m Wassertiefe von ca. 6,3 °C ermitteln. Deuser & Ross (1989) rekonstruierten anhand von Isotopenmessungen ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) an rezenten planktischen Foraminiferen deren Habitate in der Wassersäule. Dabei wurden jedoch nur Isotopenmessungen an Individuen einer Art vorgenommen, Phänotypen innerhalb einer Art blieben unberücksichtigt und Habitate einzelner Phänotyp-Gruppen in der Wassersäule konnten nicht ermittelt werden. Sautter & Thunell (1991) wiesen in einem Auftriebsgebiet starke saisonale Schwankungen in der Habitattiefe rezenter planktischer Foraminiferen anhand von Isotopenmessungen nach. Isotopenuntersuchungen an Phänotypen planktischer und benthischer Foraminiferenarten ergaben deutliche Unterschiede zwischen einzelnen Phänotypen und wurden mit Anpassungen an unterschiedliche Umweltbedingungen in der Wassersäule in Zusammenhang gebracht (Williams et al., 1988).

Bé et al. (1977a) konnten an sechs untersuchten bestachelten planktischen Foraminiferenarten (u. a. *G. sacculifer*) aberrantes Kammerwachstum feststellen, es aber nicht mit bestimmten ökologischen Parametern in Zusammenhang bringen. Bei *G. sacculifer* konnte in Hälterungsversuchen ein klarer Zusammenhang zwischen Kammerwachstum, Temperatur und Salzgehalt nachgewiesen werden. Die Bedingungen, unter denen sich Individuen verschiedener Phänotypen dieser Art entwickeln, blieben aber unklar (Hemleben et al., 1987). Bijma et al. (1990a) erstellten für *G. sacculifer* und *Neogloboquadrina dutertrei* Temperatur- und Salzgehaltstoleranzbereiche. Sie kamen bei Untersuchungen an Phänotypen von *G. sacculifer* zu der Auffassung, daß eine Häufung von aberranten Individuen nicht mit extremen Temperaturen und Salzgehalten zusammenhängt. Spezielle Phänotypen wie Kümmerformen werden mit Reproduktionsprozessen in Zusammenhang gebracht (Bijma et al., 1990b). Hälterungsversuche an der polaren Art *N. pachyderma* (s) belegen, daß hohe Salzgehalte ein reduziertes Größenwachstum verursachen (Spindler, 1996).

Innerhalb der Art *N. pachyderma* (s) konnte in dieser Arbeit mittels vergleichender Untersuchungen an Sedimentkernen im Arktischen Ozean, im Europäischen Nordmeer und im Südatlantik ein neuer Phänotyp mit stark verlängerten Endkammern (sog. "Wurstkammern") ausgegliedert werden, dessen Auftreten in Interglazialen offenbar mit geringen Salzgehalten der Oberflächenwassermassen zusammenfällt. Als Phänotyp werden hier die gesamten Merkmale der äußeren Gestalt eines Lebewesens definiert (Hentschel & Wagner, 1986). Das Vorkommen von aberranten Individuen (Zwillingsformen, verwachsene Individuen) wurde von Boltovskoy (1982) eingehend dokumentiert, die Frage nach ihrer Ursache bleibt aber weiterhin ungeklärt.

Bei planktischen Foraminiferen bestimmt die Anfangsgröße des Proloculus entscheidend deren Endgröße (Hemleben et al., 1989; Berberich, 1996), so daß auch ontogenetische Entwicklungsprozesse bei der Bildung von Phänotypen eine wichtige Rolle spielen. Zusätzlich spielt auch das Nahrungsangebot für planktische Foraminiferen bei ihrer Artenzusammensetzung

3. Stand der Forschung

zung, Häufigkeitsverteilung sowie ihrem Gehäusewachstum eine wichtige Rolle. Genaue Auswirkungen sind aber bisher nur in Ansätzen untersucht worden (Sautter & Sancetta, 1992). Kennett (1979) führte biogeographische Untersuchungen an rezenten planktischen Foraminiferen hoher Breiten anhand biometrischer Analysen und Häufigkeitsverteilungen in Oberflächenproben vor allem im südlichen Indik und südlichen Pazifik durch. Das Phänomen der Bipolarität wurde von Ekman (1967) anhand mehrerer Beispiele mariner Invertebraten dargestellt.

4. METHODIK

4.1 Untersuchungsmaterial

Bei der Kernauswahl wurde darauf geachtet, daß als Grundlage für die speziellen mikropaläontologischen Fragestellungen bereits ausführliche sedimentologische und stratigraphische Daten vorhanden waren. Es wurden veröffentlichte Daten von Grobe et al., 1990; Birgisdottir, 1991; Grobe & Mackensen, 1992; Bauch, 1993; Mackensen et al., 1994 und Nørgaard-Pedersen, 1997, verwendet. Um einen Vergleich zwischen Arktischem Ozean, Nord- und Südatlantik durchführen zu können, wurden Kerne und Oberflächenproben aus diesen Meeresbereichen zusammengestellt (Abb. 2b, 3b, 4b; Tab. 1). Ein Teil der Oberflächenproben aus dem Europäischen Nordmeer wurde bereits von Michels (1995) sedimentologisch untersucht, die Oberflächenproben aus dem südlichen Südatlantik wurden auf der Ausfahrt ANT XI/4 mit dem Forschungsschiff "Polarstern" 1994 gewonnen (Kuhn, im Druck), einige Oberflächenproben stammen zusätzlich von der Ausfahrt ANT XI/2 mit FS "Polarstern" im Herbst 1993 (Gersonde, 1995). Im Südatlantik wurden die Oberflächenproben von submarinen Kuppen genommen (Wassertiefe <3000 m), um Karbonatlösung möglichst auszuschließen. Eine Übersicht über die gesamte Probenbearbeitung und -aufbereitung gibt das Flußdiagramm in Abb. 5. Unterschiedliche Bearbeitungsmethoden sind in Tab. 2 zusammengestellt.

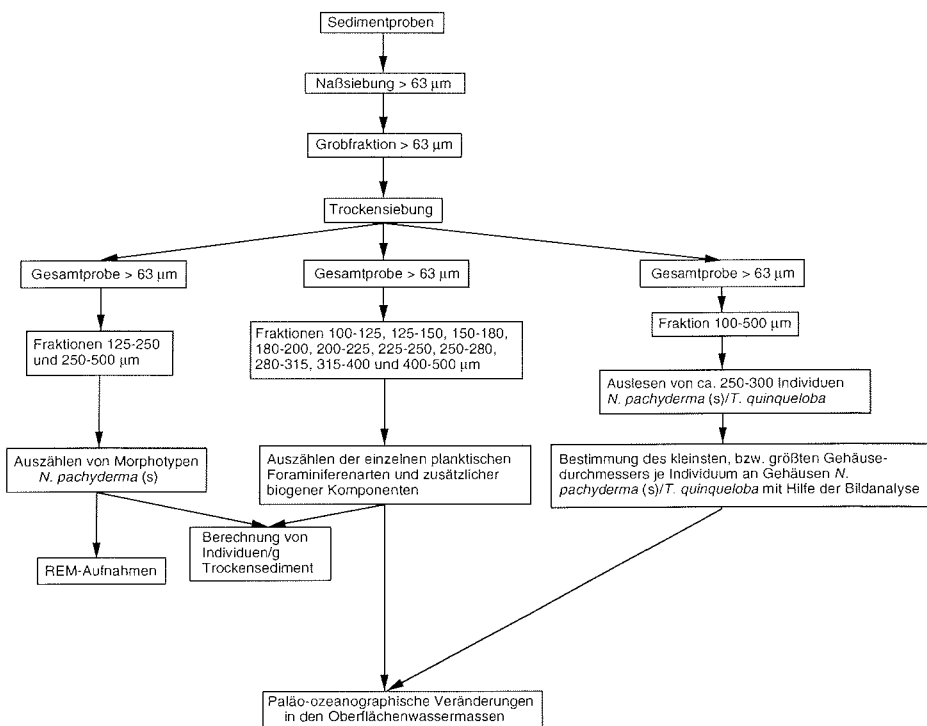


Abb. 5: Flußdiagramm der Probenaufbereitung und -bearbeitung.

4. Methodik

Kern-Nr.	Gerät	geogr. Breite (°)	geogr. Länge (°)	Wassertiefe (m)	Expedition	Quelle
Oberflächenproben						
Europäisches Nordmeer						
17725-1	GKG	77°27.4'N	4°34.5'E	2577	Meteor 13	Gerlach & Graf, 1991
21902-3	GKG	77°25.5'N	5°46.1'W	422	Polarstern ARK VII/1	Thiede & Hempel, 1991
21904-1	GKG	77°05.2'N	3°59.2'W	1795	Polarstern ARK VII/1	Thiede & Hempel, 1991
23454-2	GKG	76°45.0'N	8°12.0'E	2126	Meteor 21	Pfannkuche et al., 1993
23386-1	MUC	75°08.2'N	13°07.5'E	2170	Meteor 17	Suess & Altenbach, 1992
21906-2	GKG	76°50.10'N	02°09.10'W	2939	Polarstern ARK-VIII/1	Thiede & Hempel, 1991
23457-3	GKG	76°38.20'N	06°24.30'E	2259	Meteor 21/4	Pfannkuche et al., 1993
23459-2	GKG	75°52.54'N	05°28.98'E	2574	Meteor 21/4	Pfannkuche et al., 1993
23059-2	GKG	70°18.3'N	03°07.3'W	2283	Meteor 2/1	Gerlach et al., 1986
PS1243-2	GKG	69°22.5'N	06°32.4'W	2716	Polarstern ARK II/4	Augstein et al., 1984
23068-2	GKG	67°50.00'N	01°30.10'E	2228	Meteor 2/1	Gerlach et al., 1986
23069-2	GKG	67°39.90'N	01°36.00'E	1894	Meteor 2/1	Gerlach et al., 1986
23072-2	GKG	67°00.00'N	03°24.80'E	1400	Meteor 2/1	Gerlach et al., 1986
23037-2	GKG	65°30.90'N	00°06.70'W	3062	Meteor 2/1	Gerlach et al., 1986
23414-6	GKG	53°32.20'N	20°17.40'W	2201	Meteor 17/2	Suess & Altenbach, 1992
Südantlantik						
PS2557-2	MUC	36°57.3' S	21°47.0' E	3371	Polarstern ANT XI/4	Kuhn et al., in prep.
PS2560-3	MUC	40°34.8' S	25°35.3' E	2641	Polarstern ANT XI/4	Kuhn et al., in prep.
PS2489-9	MIC	42°53.3' S	08°58.2' E	3799	Polarstern ANT XI/2	Gersonde et al., 1995
PS2564-2	MUC	45°08.0' S	35°54.1' E	3032	Polarstern ANT XI/4	Kuhn et al., in prep.
PS2567-1	MUC	46°56.1' S	06°36.1' E	4101	Polarstern ANT XI/4	Kuhn et al., in prep.
PS2610-2	MUC	50°40.7' S	40°07.3' E	3579	Polarstern ANT XI/4	Kuhn et al., in prep.
PS2569-1	MIC	51°15.8' S	03°35.7' E	3333	Polarstern ANT XI/4	Kuhn et al., in prep.
PS2607-1	MIC	51°53.4' S	41°31.3' E	2859	Polarstern ANT XI/4	Kuhn et al., in prep.
PS2570-1	MIC	52°19.8' S	01°17.0' E	2575	Polarstern ANT XI/2	Gersonde et al., 1995
PS2606-3	MUC	53°13.3' S	40°52.1' E	2552	Polarstern ANT XI/4	Kuhn et al., in prep.
PS2598-1	MIC	64°41.2' S	33°45.9' E	2787	Polarstern ANT XI/4	Kuhn et al., in prep.
PS2587-1	MUC	68°43.1' S	12°51.4' E	2335	Polarstern ANT XI/4	Kuhn et al., in prep.
PS2585-1	GKG	69°59.3' S	12°41.9' E	543	Polarstern ANT XI/4	Kuhn et al., in prep.
Kerne						
PS2185-3	GKG	87°32.0' N	144°22.9' E	1051	Polarstern ARK VIII/3	Fütterer et al., 1992
21535-8	KAL	78°44.8' N	01°52.8' E	2557	Polarstern ARK IV/3	Thiede et al., 1988
23059-3	KAL	70°18.30'N	03°07.40'W	2281	Meteor 2/1	Gerlach et al., 1986
PS1243-1	SL	69°22.3'N	06°32.1'W	2710	Polarstern ARK II/4	Augstein et al., 1984
PS2082-1	SL	43°13.2'S	11°44.3'E	4610	Polarstern ANT IX/4	Bathmann et al., 1992
PS1388-3	SL	69°02.0'S	05°55.0'W	2526	Polarstern ANT IV/3	Fütterer et al., 1987
GKG = Großkastengreifer MUC = Multicorer MIC = Minicorer SL = Schwerelot						

Tabelle 1: Übersicht über die bearbeiteten Proben im Arktischen Ozean, Europäischen Nordmeer, Nord- und Südantlantik.

4. Methodik

Kern-Nr.	Gerät	Bildanalyse	Subfraktions- analyse	Grobfraktions- analyse	Morphotypen	REM-Auf- nahmen
Oberflächenproben						
Europäisches Nordmeer						
17725-1	GKG	x				
21902-3	GKG	x				
21904-1	GKG	x				
23454-2	GKG	x				
23386-1	MUC	x				
21906-2	GKG			x	x	
23457-3	GKG			x	x	
23459-2	GKG			x	x	
23059-2	GKG			x	x	
PS1243-2	GKG			x	x	
23068-2	GKG			x	x	
23069-2	GKG			x	x	
23072-2	GKG			x	x	
23037-2	GKG			x	x	
23414-6	GKG			x	x	
Südatlantik						
PS2557-2	MUC	x		x	x	
PS2489-9	MIC			x	x	
PS2560-3	MUC	x				
PS2564-2	MUC	x				
PS2567-1	MUC	x				
PS2569-1	MIC	x				
PS2570-1	MIC			x	x	
PS2585-1	GKG	x		x	x	
PS2587-1	MUC	x		x	x	
PS2598-1	MIC	x		x	x	
PS2606-3	MUC	x		x	x	
PS2607-1	MIC	x				
PS2610-2	MUC	x				
Kerne						
PS2185-3	GKG	x	x	x	x	x
21535-8	KAL	x	x			
23059-3	KAL	x	x			
PS1243-1	SL			x	x	x
PS2082-1	SL	x	x	x	x	x
PS1388-3	SL	x	x	x	x	x
GKG = Großkastengreifer						
MUC = Multicorer						
MIC = Minicorer						
SL = Schwerelot						

Tabelle 2: Übersicht über die Probenbearbeitung.

4.2 Größenanalysen an der Gesamtfraktion 100-500 µm

Das Probenmaterial wurde über 63 µm Standardsieben naßgesiebt, anschließend bei 40 °C getrocknet und zunächst in die Fraktionen 63-125, 125-250 und 250-500 µm unterteilt (Abb. 5). Für die Größenanalysen wurden diese Standardfraktionen weiter in 11 Einzelfraktionen 100-125, 125-150, 150-180, 180-200, 200-224, 224-250, 250-280, 280-315, 315-355, 355-400 und 400-500 µm trockengesiebt. Je Einzelfraktion wurden nach Möglichkeit 200 bis 300 Individuen gezählt. Anhand der Auszählraten konnte mit den Gesamttrockengewichten der Fraktion >63 µm Konzentrationen planktischer Foraminiferen (Individuen/g Trockensediment) ermittelt werden. Dabei wurden auch die kleinsten untersuchten Subfraktionen 100-125 µm und 125-150 µm in die mikropaläontologischen Untersuchungen einbezogen, um zu klären, wie groß der Anteil kleiner Individuen von *N. pachyderma* (s) und (d) in diesen Fraktionen ist und ob das bisher untersuchte Standard-Größenspektrum >150 µm auf diese Fraktionen auszudehnen ist. Vor allem Untersuchungen an rezenten Individuen von *N. pachyderma* (Berberich, 1996) zeigen, daß eine hohe Anzahl von Individuen bei <150 µm auftritt. Die Bearbeitung der Fraktion 100-125 µm bereitete hinsichtlich der taxonomischen Zuordnung der Individuen in dieser Fraktion nur wenig Schwierigkeiten. Nur maximal 5 % der ausgezählten Individuen konnten als juvenile Formen in den Fraktionen 100-125 µm und 125-150 µm keiner bestimmten planktischen Foraminiferenart zugeordnet werden.

Zusätzlich zu den Subfraktionsanalysen wurden in den beiden standardmäßig untersuchten Fraktionen 125-250 µm und 250-500 µm Faunenanalysen und Analysen einzelner Phänotypen von *N. pachyderma* vorgenommen, um die unterschiedliche Verteilung dieser Individuen innerhalb dieser Größenbereiche zu dokumentieren.

4.3 Größenmessungen mit der halbautomatischen Bildanalyse an Gehäusen von *N. pachyderma* (s)

Für die Bestimmung des mittleren Gehäusedurchmessers wurden je Probe ca. 300 Individuen von *N. pachyderma* (s) aus der Fraktion 100-500 µm ausgelesen und mittels der halbautomatischen Bildanalyse sowohl an Apikal- als auch an der Umbilikalseite der kleinste und größte Gehäusedurchmesser aller Individuen ermittelt. Dabei wurden vor allem bei Messungen an der Apikalseite von Individuen Unterschiede in den Größenmessungen erwartet, da die Individuen auf der Umbilikalseite wegen ihrer trochospiralen Aufrollung mehr oder weniger gekippt sind. Die Messungen ergaben jedoch, daß bei der Ermittlung des Größendurchmessers auf der Apikal- und Umbilikalseite nur maximal 5 % Abweichung besteht. Die Größenmessungen wurden dabei mit einem Spezialbinokular durchgeführt, an das eine Videokamera angeschlossen war.

4.4 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen

Aus einzelnen Proben wurden 20 bis 30 Individuen verschiedener Phänotypen von *N. pachyderma* (s) (Wurstkammer-, Kümmerform- und aberrante Individuen) und Individuen anderer planktischer Foraminiferenarten ausgelesen und in Zeilen auf einem REM-Träger angeordnet, um das spätere Auffinden von Einzelindividuen zu erleichtern. Die Individuen wurden auf mit Kohle beschichteten selbstklebenden REM-Trägeroberflächen aufgeklebt, konnten aber nach ihrer Fixierung nicht mehr bewegt bzw. abgelöst werden. Die zuvor mit Aceton gereinigten REM-Träger wurden anschließend mit Gold-Palladium-Kohlenstoff bedampft.

5. STRATIGRAPHIE

5.1 Datenmaterial

Die Erstellung des stratigraphischen Datenmaterials und der jeweils untersuchte Zeitraum in den Sedimentkernen wird aus Tab. 3 ersichtlich. Den Altersmodellen der Isotopenkurven liegen die Altersfixpunkte von Martinson et al. (1987) zugrunde. Die Kerne PS2076, PS1754 und PS1768, bearbeitet von Niebler (1995), wurden ebenfalls nach den Altersfixpunkten von Martinson et al. (1987) stratigraphisch eingestuft.

Kernbez.	Meeresgebiet	Datierungs- methode	untersuchter Zeitraum (ka)	Quelle
PS2185-3	Arktischer Ozean	AMS	0-77	Nørgaard-Pedersen, 1997; Spielhagen, unveröffentl. Daten
21535-8	Framstraße	$\delta^{18}\text{O}$	120-140	Köhler, 1991 (nach Imbrie et al., 1984)
23059-2	Europäisches Nordmeer	AMS AMS	0-60	Spielhagen, unveröffentl. Daten Vogelsang, 1990; Bauch, 1993
23059-3	Europäisches Nordmeer	$\delta^{18}\text{O}$	120-140	Vogelsang, 1990 (nach Martinson et al., 1987)
PS1243-2	Europäisches Nordmeer	AMS	0-36	Birgisdottir, 1990; Bauch, 1993
PS1243-1	Europäisches Nordmeer	$\delta^{18}\text{O}$	36-140	Birgisdottir, 1990; Bauch, 1993; Bauch, unveröffentl. Daten (nach Martinson et al., 1987)
PS2082	Südatlantik	$\delta^{18}\text{O}$	0-140	Mackensen et al., 1994
PS1388	Weddellmeer	$\delta^{18}\text{O}$	0-140	Grobe & Mackensen, 1992 (nach Imbrie et al., 1984; Martinson et al., 1987)

Tabelle 3: Übersicht über die Stratigraphie der bearbeiteten Sedimentkerne.

5.2 Altersmodelle/lineare Sedimentationsraten

Die Sedimentationsraten von Kern 21535 aus der Framstraße zeigen eine geringe Sedimentation während der Interglaziale, nehmen aber im oberen Bereich der Isotopenstadien 6 und 2 sowie an den Terminationen II und I stark zu (Abb. 6, Daten aus Köhler, 1992; Spielhagen, unveröffentl. Daten). Die Sedimentationsraten sind in Kern PS2185 an der Südostflanke des Lomonosov-Rückens im zentralen Arktischen Ozean wesentlich niedriger als in der Framstraße (Abb. 6) (Daten aus Nørgaard-Pedersen, 1997). Höchste Werte treten hier zwischen 60 und 40 ka und im Holozän auf (ein detailliertes Alters-Tiefenmodell gibt Nørgaard-Pedersen, 1997).

Das Altersmodell für Kern PS1388 vom Kontinentalhang des östlichen Weddellmeeres (Abb. 6) in 2.517 m Wassertiefe zeigt mittlere Sedimentationsraten im Vergleich zu wesentlich

5. Stratigraphie

höheren Sedimentationsraten bei Sedimentkernen in geringerer Wassertiefe (Grobe & Mackensen, 1992). Höchste Sedimentationsraten treten in den unteren Abschnitten von Interglazialen und an den Terminationen II und I auf (Abb. 6) (Daten aus Grobe & Mackensen, 1992).

Die linearen Sedimentationsraten in Kern PS1243 (Europäisches Nordmeer) fallen von 140 ka bis 12 ka wesentlich geringer aus als in Kern PS2082 (Südatlantik), stimmen aber mit den Sedimentationsraten in Kern PS1388 (Weddellmeer) zwischen 120 ka und rezent gut überein (Abb. 6) (Daten aus Birgisdottir, 1991; Bauch, 1993).

Kern PS2082 an der Flanke des Agulhas-Rückens (Abb. 4b) südwestlich des südafrikanischen Kontinentalrandes weist die höchsten Sedimentationsraten in den untersuchten Sedimentkernen auf. Dabei herrschen in den Interglazialen relativ niedrige, in den Glazialen (vor allem Isotopenstadien 6 und 2) aber doppelt so hohe Sedimentationsraten vor (Abb. 6; Daten aus Mackensen et al., 1994). Mit 4.661 m Wassertiefe befindet sich dieser Kern zwischen der bei ca. 4.000 m Wassertiefe gelegenen Kalzit-Lysokline und der CCD, die bei etwa 5.000 m Wassertiefe liegt (Mackensen et al., 1994).

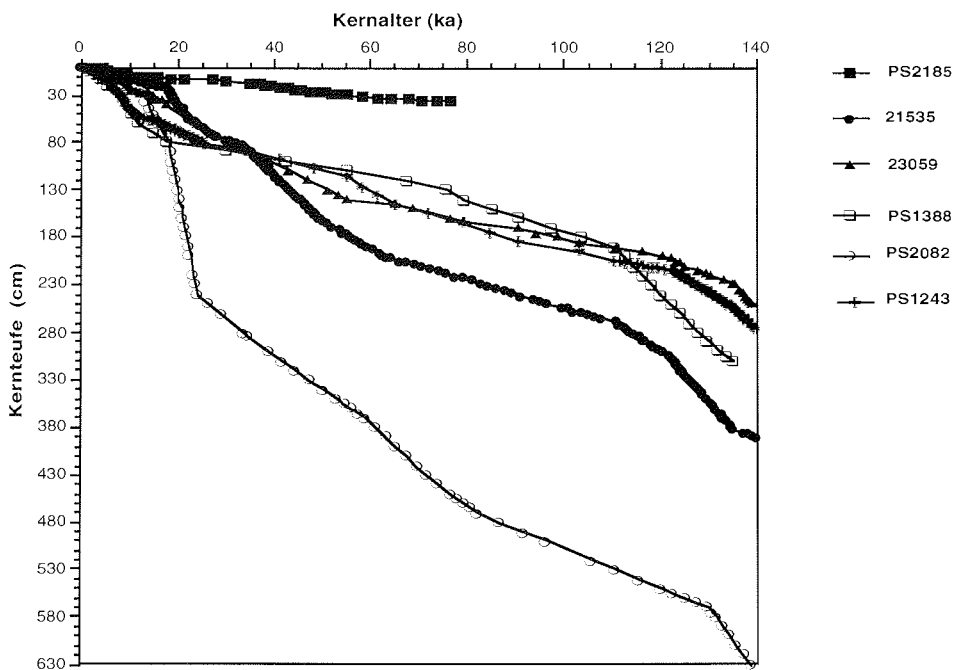


Abb. 6: Lineare Sedimentationsraten der untersuchten Sedimentkerne für den Zeitraum 0 bis 140 ka.

6. Verbreitung planktischer Foraminiferen hoher Breiten

In den untersuchten Sedimentkernen und Oberflächenproben wurden *Neogloboquadrina pachyderma* und *Turborotalita quinqueloba* morphologisch und biometrisch untersucht. Planktische Foraminiferen sind taxonomisch Protozoen (Einzeller), die zu den Rhizopoden (Wurzelfüßern) gehören (Rhumbler, 1911). Die Bestimmung erfolgte dabei nach dem Konzept von Kennett & Srinivasan (1983) und anhand der Gliederung und Beschreibung rezenter planktischer Foraminiferenarten nach Hemleben et al. (1989).

6.1 Verbreitung von *N. pachyderma*

***Neogloboquadrina pachyderma* (EHRENBERG) 1861**

Synonyme:

Aristispira pachyderma EHRENBERG 1861

Globigerina pachyderma (EHRENBERG) PARKER 1962

Globorotalia pachyderma (EHRENBERG) JENKINS 1967

Turborotalia pachyderma (EHRENBERG) BANDY 1972

Neogloboquadrina pachyderma (EHRENBERG) COLLEN & VELLA 1973

N. pachyderma (Tafel I, Abb. 1 bis 4; Tafel II, Abb. 1 bis 5; Tafel III, Abb. 1 bis 6) kommt als einzige planktische Foraminifere in den Polargebieten vor und stellt dort oft den wichtigsten karbonatischen Gehäuseträger. Sie tritt generell in zwei phänotypischen Varianten auf, *N. pachyderma* (s) und *N. pachyderma* (d), und stellt einen wichtigen planktischen Träger für das $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopensignal in hohen Breiten dar. Die Verhältnisse dieser beiden Phänotypen mit ihren unterschiedlichen Windungsrichtungen wurde schon frühzeitig für paläo-ozeanologische Interpretationen genutzt (Ericson, 1959; Kennett, 1968). *N. pachyderma* (d) tritt dabei bevorzugt in wärmeren Oberflächenwassermassen auf (Kennett, 1968) und wird nach dem biogeographischen Konzept der Verbreitungsmuster planktischer Foraminiferen (Tolderlund & Bé, 1971) der subpolaren Zone zugeordnet. *N. pachyderma* besitzt eine der größten morphologischen Variationsbreiten bei rezenten planktischen Foraminiferen überhaupt (Keller, 1978); ihre einzelnen Phänotypen wurden schon frühzeitig verschiedenen Arten zugeordnet (Cifelli, 1973). *N. pachyderma* tritt bipolar auf, vergleichende morphologische Untersuchungen an Individuen aus beiden Polargebieten wurden bisher nur in Ansätzen durchgeführt (Kennett, 1970). Rezente ökologische Datensätze erstellten für den Arktischen Ozean und das Europäische Nordmeer Carstens & Wefer (1992) und Berberich (1996) für das Weddellmeer. Die morphologische Variationsbreite dieser Art wurde eingehend von Keller (1968) und Reynolds & Thunell (1986) für den NE-Pazifik und Healy-Williams (1992) für den Nordatlantik und Südindik beschrieben. Unterschiedliche morphologische Merkmale spiegeln sich in den Isotopensignalen wider (Aksu & Vilks, 1988). Das rezente Verbreitungsgebiet von *N. pachyderma* erstreckt sich von den Polargebieten bis ca. 30° N auf der Nordhalbkugel und 30° S auf der Südhalbkugel (Tolderlund & Bé, 1971; Boltovskoy et al., 1996). Das Häufigkeitsmaximum von *N. pachyderma* in der Wassersäule liegt in den obersten 100 m, zur Reproduktion sinkt sie aber bis auf >200 m Wassertiefe ab und bildet dabei eine sekundäre Kalzitkruste aus (Hemleben et al., 1989; Berberich, 1996).

6.2 Verbreitung von *T. quinqueloba*

Turborotalita quinqueloba NATLAND 1938

Synonyme:

Globigerina atlantisae CIFELLI & SMITH 1970

Globigerina egelida CIFELLI & SMITH 1970

Globigerina exumbilicata HERMAN 1980

Das Vorkommen von *T. quinqueloba* (Tafel I, Abb. 4 und 5) als bestachelte planktische Foraminiferenart mit Symbionten ist hauptsächlich auf die photische Zone beschränkt (Bé et al., 1977; Hemleben et al., 1989). Ihre geographische Verbreitung reicht von den subpolaren Breiten bis in subtropische Gebiete (Bé & Tolderlund, 1971; Kennett & Srinivasan, 1983). Im westlichen Südatlantik liegt ihr Häufigkeitsmaximum in der subpolaren und transitionalen Zone (Boltovskoy et al., 1996). Detaillierte Untersuchungen an Planktonnetzfangen zeigen weiterhin, daß *T. quinqueloba* in eisfreien Regionen des Europäischen Nordmeeres ihr Häufigkeitsmaximum in Wassertiefen >100 m aufweist (Bock, 1990) und dort ihre Häufigkeit im Einflußbereich des Westspitzbergenstromes im Holozän bis zu 70 % beträgt (Bauch, 1993). An der Eiskante liegt dagegen ihr bevorzugtes Tiefenhabitat zwischen 50 und 100 m (Carstens, 1992). Eine bei bestachelten Foraminiferenarten häufig beobachtete zusätzliche Kalzifizierung der äußeren Gehäusewand konnte bei *T. quinqueloba* bisher nicht nachgewiesen werden (Hemleben et al., 1989). Aufgrund ihrer geringen mittleren Gehäusegröße (Carstens & Wefer, 1992) und der geringen Gehäusedicke ist sie anfällig gegenüber Karbonatlösung (Berger & Piper, 1972). Anhand detaillierter biometrischer Analysen wurden von Bauch (1993, 1994) höchste Konzentrationen von *T. quinqueloba* im Eem und im Holozän ermittelt und ihre bevorzugte Anpassung an wärmere subpolare Wassermassen auch innerhalb des Zeitraumes der letzten 500.000 Jahre bestätigt.

7. ERGEBNISSE

7.1 Morphologische Untersuchungen

7.1.1 *N. pachyderma* (s)

"Normalform"-Individuen

Die große morphologische Variationsbreite von *N. pachyderma* wurde bereits von früheren Bearbeitern eingehend beschrieben (Kennett, 1968; Keller, 1978). Die Morphologie von "Normalformen" *N. pachyderma* (s) wird auf Tafel I, Abb. 1 bis 4 dokumentiert. Dabei ist die Mündungsöffnung bei stark kalzifizierten Individuen sehr klein (Tafel I, Abb. 4), während sie bei Individuen aus dem Arktischen Ozean sehr breit ausgebildet sein kann (Tafel I, Abb. 2). Oft sind vor allem die Endkammern bei Individuen aus dem Weddellmeer, im Gegensatz zum Arktischen Ozean, eher rundlich aufgewölbt (Tafel I, Abb. 2). Individuen von *N. pachyderma* (s) (Tafel I, Abb. 1 und 2) und *N. pachyderma* (d) (Tafel I, Abb. 3 und 4) aus dem Arktischen Ozean und dem Weddellmeer ähneln sich hinsichtlich ihrer Gesamtgröße, Oberflächenmorphologie und Gestalt der Mündung stark.

Aufgrund einzelner morphologischer Merkmale, die vor allem Abweichungen am Gesamtgehäuse und an einzelnen Kammern betreffen, wurde *N. pachyderma* (s) in drei Phänotypgruppen unterteilt:

Wurstkammer-Individuen

Dieser Phänotyp ist durch seine wurstförmig verlängerten Endkammern gekennzeichnet. Dabei dient die Länge dieser "Wurstkammern" als Abgrenzungskriterium zu "normal" ausgebildeten Formen: Als Wurstkammer-Individuen werden Individuen bezeichnet, deren Endkammer mehr als doppelt so lang ausgezogen ist wie die nächstältere Kammer. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen deutlich, daß diese Wurstkammern ältere Kammern und z.T. die Windungen selbst überlappen (Tafel II, Abb. 2 und 5). Oft wachsen sie senkrecht zur bisherigen Windungsrichtung. Meistens ist an einem Individuum nur eine Kammer als Wurstkammer ausgebildet, selten sind zwei oder mehr Kammern gleichzeitig wurstförmig ausgezogen: Hier sind dann die jüngeren Kammern stärker ausgezogen als ältere (Tafel II, Abb. 1a, b). Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen abnormales Gehäusewachstum (Tafel II, Abb. 1 bis 5) im Vergleich zum "normalen" Gehäusewachstum (Tafel I, Abb. 1 bis 4). Dabei zeigt sich, daß sich in den beiden Polargebieten morphologisch verschiedene Typen von Wurstkammer-Individuen finden lassen:

a) In Proben aus dem zentralen Arktischen Ozean (Kern PS2185) dominieren relativ lange Wurstkammern (Tafel II, Abb. 1a, b und 2). Diese Kammern können bis zu dreimal länger sein als die nächstälteren Kammern. Die sehr große Mündungsöffnung ist ein anderes charakteristisches Merkmal (Tafel II, Abb. 2).

b) Viele Wurstkammer-Individuen aus dem Weddellmeer (Kern PS1388) differieren in ihrer Morphologie stark von denen aus dem Arktischen Ozean: Die Wurstkammer-Individuen aus dem Weddellmeer sind aufgeblähter und besitzen ein niedrigeres Längen/Breiten-Verhältnis als vergleichbare Individuen aus dem Arktischen Ozean (Tafel II, Abb. 3).

Kümmerform-Individuen

Als Kümmerform-Individuen werden hier diejenigen Individuen von *N. pachyderma* (s) beschrieben, deren Endkammer kleiner als die nächstältere Kammer ist. Die Endkammer wird dann als Kümmerkammer bezeichnet (Berger, 1969; Olsson, 1973) (Tafel III, Abb. 1 und 2). Kümmerform-Individuen weisen unterschiedliche Größen auf (Tafel 4, Abb. 1 bis 4), wobei

7. Ergebnisse

im Arktischen Ozean Kümmerform-Individuen oft eine größere Kümmerkammer und einen höheren Kalzifizierungsgrad besitzen (Tafel III, Abb. 1) als im Südatlantik (Tafel III, Abb. 2). Es wurden auch Kümmerform-Individuen mit zusätzlichen Wurstkammern beobachtet.

Aberrante Individuen

Zum Phänotyp "aberrante" Individuen von *N. pachyderma* (s) wurden alle Individuen zusammengefaßt, deren morphologische Gestalt und Kammerausbildung wesentlich von der "normal" ausgebildeter Individuen abweicht und die sich nicht als Wurstkammer- oder Kümmerform-Individuen typisieren lassen. Besonders deutlich ausgebildete aberrante Individuen sind sog. "Zwillings-Individuen", die aber nur einen kleinen Anteil an dem gesamten morphologischen Formenschatz aberranter Individuen darstellen (Tafel III, Abb. 3 bis 6). Bei ihnen lassen sich zwei Typen unterscheiden:

- a) Zwillinge aus ungefähr gleichgroßen Einzelindividuen (Tafel III, Abb. 3 und 5): Beide Zwillinge weisen eine ähnliche Morphologie der Gehäuseoberfläche auf.
- b) Zwillinge aus verschieden großen Einzelindividuen (Tafel III, Abb. 4 und 6).

Daneben treten noch andere aberrante Individuen auf, bei denen nur einzelne Gehäuseteile von einer "normalen" Wachstumsform abweichen, z.B. Ausstülpungen einzelner Kammern.

7.1.2. *T. quinqueloba*

T. quinqueloba unterscheidet sich von *N. pachyderma* durch eine wesentlich kleinere Gehäusegröße (maximaler Gehäusedurchmesser 250 µm) (Tafel I, Abb. 5 und 6), durch kleinere tropfenförmig ausgezogene Kammern, wobei vor allem die Endkammer eine tropfenförmige Gestalt (Tafel I, Abb. 5) und an ihrer Apertur oft eine z.T. stark geschwungene Lippe aufweist (Tafel I, Abb. 6). Weitere Unterschiede sind die wesentlich flachere trochospirale Aufwölbung bei der Kammeraufrollung und die meist geringere Skulpturierung der Gehäuseoberfläche. Auch bei *T. quinqueloba* lassen sich wie bei *N. pachyderma* zwei unterschiedliche Phänotypen mit gegensätzlichen Windungsrichtungen unterscheiden.

7.2 Biometrische Analysen

7.2.1 Größenanalysen an *N. pachyderma* (s) in Oberflächenproben

Bei den Oberflächenproben wurde die Häufigkeit von *N. pachyderma* (s) in den entsprechenden Subfraktionen im Größenbereich 100-500 µm ermittelt (Abb. 7):

Die Oberflächenproben bilden ein W-E-Profil südlich der Framstraße und decken ein Gebiet vom zentralen nördlichen Europäischen Nordmeer bis zum Barentsschelf ab (Abb. 3b). *N. pachyderma* (s) konnte hier in der Gesamtfraktion 100-355 µm nachgewiesen werden. Der Größenbereich des Gehäusedurchmessers bleibt nicht konstant, sondern ändert sich beträchtlich (Abb. 7a):

Größte Gehäuse sind im zentralen nördlichen Europäischen Nordmeer mit bis zu 355 µm ausgebildet (Probe PS21902) (Abb. 3b), während weiter östlich Individuen in den Fraktionen 280-355 µm wesentlich geringere Häufigkeiten aufweisen (Proben PS21902, 17725). Hier kommen vor allem Individuen in den mittleren Fraktionen 180-224 µm mit bis zu 34 % Häufigkeit vor, während die maximale Häufigkeit von Individuen in den kleinen Fraktionen 100-150 µm maximal 13 % beträgt. Im Bereich des Barentsschelfes (Probe 23454) lassen sich Individuen in der kleinen Fraktion 100-150 µm nicht mehr nachweisen. Dafür sind Individuen in der Fraktion 280-355 µm mit bis zu 18 % Häufigkeit vertreten (Abb. 7a).

7. Ergebnisse

Oberflächenproben *N. pachyderma* (s)

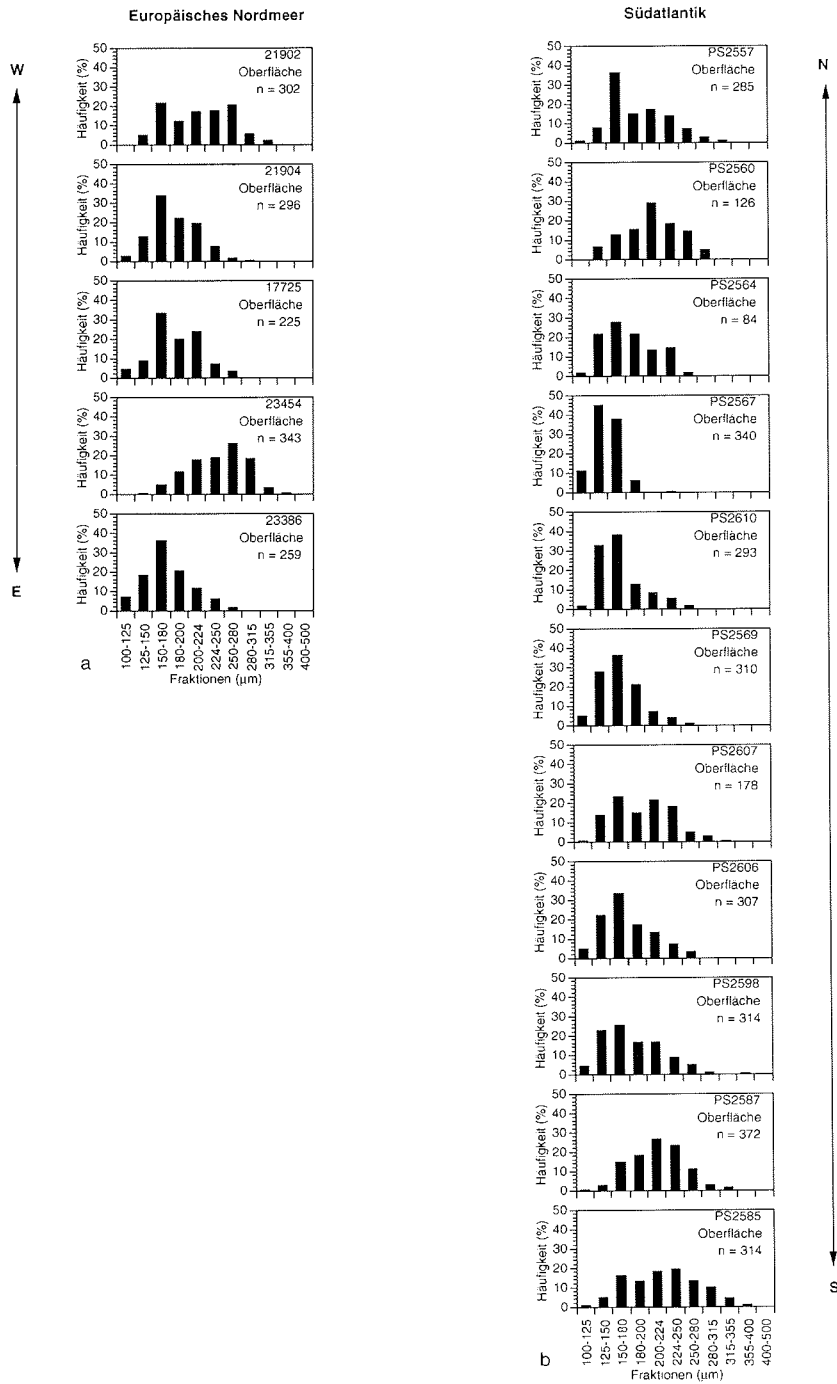


Abb. 7a, b: Größenanalysen an *N. pachyderma* (s) in Oberflächenproben des Europäischen Nordmeeres und des Südatlantiks (Häufigkeit in %).

7. Ergebnisse

Im Südatlantik ist entlang eines N-S-Profiles quer zu den ozeanographischen Fronten (Abb. 4b) in den Oberflächenproben kein eindeutiger Größen- bzw. Häufigkeitstrend bei Individuen von *N. pachyderma* (s) festzustellen (Abb. 7b):

Insgesamt konnte *N. pachyderma* (s) in der Fraktion 100-400 μm in stark wechselnden Häufigkeiten nachgewiesen werden. Im Bereich der Wassermassen des Agulhas-Stromes (Abb. 4a) (Proben PS2557, PS2560) (Abb. 4b) kommen Individuen bevorzugt in mittleren Gehäusegrößen von 125-315 μm mit maximal 37 % Häufigkeit vor. Im Bereich zwischen der Subantarktischen Front und der Antarktischen Polarfront nehmen die Gehäusegrößen dann stark ab, die meisten Individuen finden sich hier in den Fraktionen 125-200 μm (Probe PS2564) bzw. 125-180 μm (Probe PS2567). Südlich der Antarktischen Polarfront in der Region des Conrad-Rückens (Probe PS2606) und vor dem antarktischen Kontinent nimmt der Größenbereich und die Häufigkeit an Individuen in den größeren Fraktionen sukzessive zu, bis am antarktischen Kontinentalhang 14 % Individuenhäufigkeit in der Fraktion 250-355 μm erreicht wird (Probe PS2585) (Abb. 7b).

7.2.2 Größenanalysen an *N. pachyderma* (s) in Sedimentkernen

Die Größenanalysen an Kern PS2185 (Arktischer Ozean) im Zeitraum 49,32 ka bis 2,56 ka zeigen, daß Individuen von *N. pachyderma* (s) in diesem Zeitraum in den Fraktionen 100-315 μm auftreten und dieser Größenbereich praktisch konstant ist (Abb. 8a). Die Konzentrationen von *N. pachyderma* (s) (Individuen/g Trockensediment) innerhalb der einzelnen Subfraktionen ist aber sehr variabel: Bei 49,32 ka treten die meisten Individuen mit maximal 1.600 Individuen/g noch in der Fraktion 125-224 μm auf, während ihre Konzentration in dieser Fraktion bis 18,27 ka bis auf etwa 320 Individuen/g abnimmt. Die Verteilung der Individuen in der gesamten untersuchten Fraktion wird aber ab 9,35 ka deutlich von hohen Gehäusekonzentrationen in der Fraktion 100-125 μm dominiert. Im Holozän nehmen diese Individuen dann in dieser Fraktion von 580 Individuen/g bei 9,35 ka bis auf 1.850 Individuen/g bei 2,56 ka zu. Die Konzentration von Individuen in der Fraktion 150-224 μm variiert jedoch im Holozän in nur geringerem Maße und schwankt zwischen maximal 370 Individuen/g bei 9,35 ka und 700 Individuen/g bei 2,56 ka. Die Konzentrationen von Individuen in der Fraktion 224-315 μm bleibt stark hinter der der kleineren Fraktion zurück und erreicht höchste Werte bei 49,32 ka mit 350 Individuen/g, niedrigste Konzentrationen dagegen mit maximal 35 Individuen/g bei 18,27 ka (Abb. 8a).

Im Vergleich zum Arktischen Ozean tritt bei den Größenanalysen im Weddellmeer (Kern PS1388) *N. pachyderma* (s) im gesamten untersuchten Größenspektrum von 100-500 μm auf (Abb. 9a). Die markantesten Unterschiede in den Fraktionsbereichen, in denen *N. pachyderma* (s) nachgewiesen werden konnte, bestehen hier zwischen dem glazialen Isotopenstadium 2 (14,95 ka) und dem Holozän (4,21 ka). Während bei 14,95 ka sehr große Individuen fast ausschließlich in der Fraktion 200-500 μm auftreten, lassen sich dagegen im Holozän hauptsächlich kleinere Individuen in der Fraktion 100-280 μm nachweisen (Abb. 9a). In Kern 21535 (Framstraße) finden sich Individuen an der Termination II (129,84 ka) und im Substadium 5.51 (122,22 ka) in der Fraktion 100-315 μm und weisen damit ein nur unwesentlich breiteres Größenspektrum auf als Individuen im Arktischen Ozean (Kern PS2185) im Holozän. Dagegen erstreckt sich die Gehäusegröße im Arktischen Ozean bei Individuen im obersten Abschnitt des Isotopenstadiums 4 und im unteren Bereich des Stadiums 3 über die gesamte untersuchte Fraktion 100-500 μm . Die Konzentrationen von *N. pachyderma* (s) in den untersuchten Fraktionen im Weddellmeer (Kern PS1388) schwanken sehr stark zwischen maximal 850 Individuen/g bei 112,7 ka und niedrigsten Werten mit <1 Individuen/g im Holozän (Abb. 9a).

Der Anteil kleiner Individuen in der Fraktion 100-150 μm ist mit maximal etwa 620 Individuen/g im Bereich der Grenze zwischen den Isotopenstadien 5/4 besonders hoch. Höchste

7. Ergebnisse

Konzentrationen an sehr großen Individuen wurden mit maximal 175 Individuen/g bei 14,95 ka nachgewiesen. Die Konzentrationen von *N. pachyderma* (s) nehmen im Holozän im Vergleich zu den geringsten überhaupt beobachteten Konzentrationen mit ca. 0,2 Individuen/g bei 12,05 ka auf maximal 95 Individuen/g bei 2 ka zu (Abb. 9a).

In Kern 23059 (Europäisches Nordmeer) wurde *N. pachyderma* (s) in der Fraktion 100-315 µm gefunden. Dieser Größenbereich blieb bei 125 ka und im Zeitabschnitt 15,86 bis 4,83 ka konstant (Abb. 10a).

Geringste Individuenkonzentrationen treten bei 14,25 ka (Isotopenstadium 2) mit 3.500 Individuen, höchste Konzentrationen dagegen im Holozän bei 5,62 ka mit 86.000 Individuen/g auf. Im Vergleich zur Individuenkonzentration in den Fraktionen 100-150 µm ist die Konzentration in der Fraktion 150-224 µm vor allem bei 125 ka und 15,86 ka sehr hoch. Im Gegensatz dazu ist der Anteil an Individuen in der Fraktion 100-125 µm bei 5,62 ka mit 86.000 Individuen am höchsten (Abb. 10a).

Bei Kern PS2082 (Südatlantik) (Abb. 11) wurden die Messungen wie bereits bei den Oberflächenproben mit der halbautomatischen Bildanalyse auf die 11 Fraktionen verteilt und die prozentuale Individuenhäufigkeit in jeder einzelnen Fraktion ermittelt.

N. pachyderma (s) wurde in den untersuchten Zeitabschnitten von 132,8 bis 110,7 ka und 18,38 bis 0,77 ka in der Fraktion 100-400 µm nachgewiesen (Abb. 11a). Dabei schwankt jedoch der Größenbereich in den Einzelproben sehr stark: Große Individuen in der Fraktion 250-355 µm zeigen sich bei 132,8 ka (oberster Bereich des Isotopenstadiums 6) mit nur maximal 2 %. Die Häufigkeit dieser Individuen in der Fraktion 250-355 µm erhöht sich auf maximal 10 % bei 122,66 ka (Substadium 5.51), hohe Anteile von Individuen an dieser Fraktion konnten außerdem nur noch rezent bei 0,77 ka mit maximal 12 % nachgewiesen werden. Sehr kleine Individuen in der Fraktion 100-125 µm hingegen treten nur im Isotopenstadium 2 bei 14,28 ka mit Häufigkeiten von bis zu 25 % auf und verschwinden völlig bei 0,77 ka. Höchste Häufigkeiten weisen Individuen in der Fraktion 125-200 µm auf: So erreichen Gehäuse in der Fraktion 150-180 µm bei 132,8 ka bis zu 50 % und bei 12,48 ka etwa 52 % Häufigkeit an den gesamten Gehäusen von *N. pachyderma* (s) (Abb. 11a).

7.2.3 Größenanalysen an *N. pachyderma* (d) in Sedimentkernen

N. pachyderma (d) wurde im zentralen Arktischen Ozean (Kern PS2185) in der Fraktion 100-315 µm nachgewiesen und entspricht damit dem Größenbereich von *N. pachyderma* (s) in diesen untersuchten Proben. Obwohl die Anzahl der ausgezählten Individuen (die Stichprobe n schwankt zwischen 51 und 75) hier wesentlich unter der der ausgezählten Exemplare von *N. pachyderma* (s) liegt, treten auch hier wie bei *N. pachyderma* (s) Individuen in der größeren Fraktion 180-280 µm bei 49,32 ka und 34,87 ka häufiger auf. Im Holozän steigt dagegen der Anteil bevorzugt in der Fraktion 100-180 µm von 30 auf maximal 67 Individuen/g bei 2,56 ka (Abb. 8b).

Auch bei Kern PS1388 (Weddellmeer) sind die Stichproben bei den Größenanalysen an *N. pachyderma* (d) mit n zwischen 10 und 83 im Vergleich zu den großen Stichproben bei *N. pachyderma* (s) in denselben Proben sehr gering. Insgesamt lassen sich Gehäuse in der gesamten untersuchten Fraktion 100-500 µm nachweisen. Im Isotopenstadium 4 (75,69 ka) sind die Individuen stark bimodal verteilt. Bei 2 ka treten die meisten Individuen in der Fraktion 150-200 µm auf (Abb. 9b).

N. pachyderma (d) kommt im Europäischen Nordmeer (Kern 23059) in der Fraktion 100-280 µm vor. Im Substadium 5.51 (125 ka) treten am häufigsten Individuen in den Fraktionen 100-125 µm mit maximal 770 Individuen/g und 180-224 µm (maximal 350 Individuen/g) auf. Im Isotopenstadium 2 nimmt die Anzahl der Individuen in der Fraktion 100-224 µm auf bis zu 155 Individuen/g ab. Die höchsten Konzentrationen an Individuen in der Fraktion 100-150 µm

7. Ergebnisse

können bei 5,62 ka nachgewiesen werden. Die höchsten Gehäusekonzentrationen von *N. pachyderma* (d) liegen mit 23.000 Gehäusen/g um das Vierfache niedriger als höchste vergleichbare Konzentrationen bei *N. pachyderma* (s) (Abb. 10b).

7.2.4 Größenanalysen an *T. quinqueloba* in Sedimentkernen

Der Größenbereich der Gehäuse in Kern 23059 (Europäisches Nordmeer) schwankt zwischen 100 und maximal 224 μm (Abb. 10c). Im Substadium 5.51 finden sich die meisten Individuen in der Fraktion 100-125 μm (6.000 Individuen/g), aber auch in den Fraktionen 125-180 μm treten mit maximal 2.500 Individuen/g sehr viele Exemplare auf. Innerhalb des Isotopenstadiums 2 konnten nur noch Individuen in der kleinsten Fraktion 100-125 μm nachgewiesen werden. Ihre Konzentration nimmt bei 15 ka bis auf ungefähr 550 Individuen/g ab. Im Holozän nimmt die Konzentration von *T. quinqueloba* besonders in den Fraktionen 100-150 μm stark zu und erreicht mit 75.000 Individuen/g bei 6,40 ka ihren maximalen Wert (Abb. 10c).

In Kern PS2082 (Südatlantik) finden sich die größten Gehäuse von *T. quinqueloba* in der Fraktion 200-224 μm . Die meisten Individuen treten in der Fraktion 125-150 μm mit bis zu 55 % Häufigkeit auf (Abb. 11b).

7. Ergebnisse

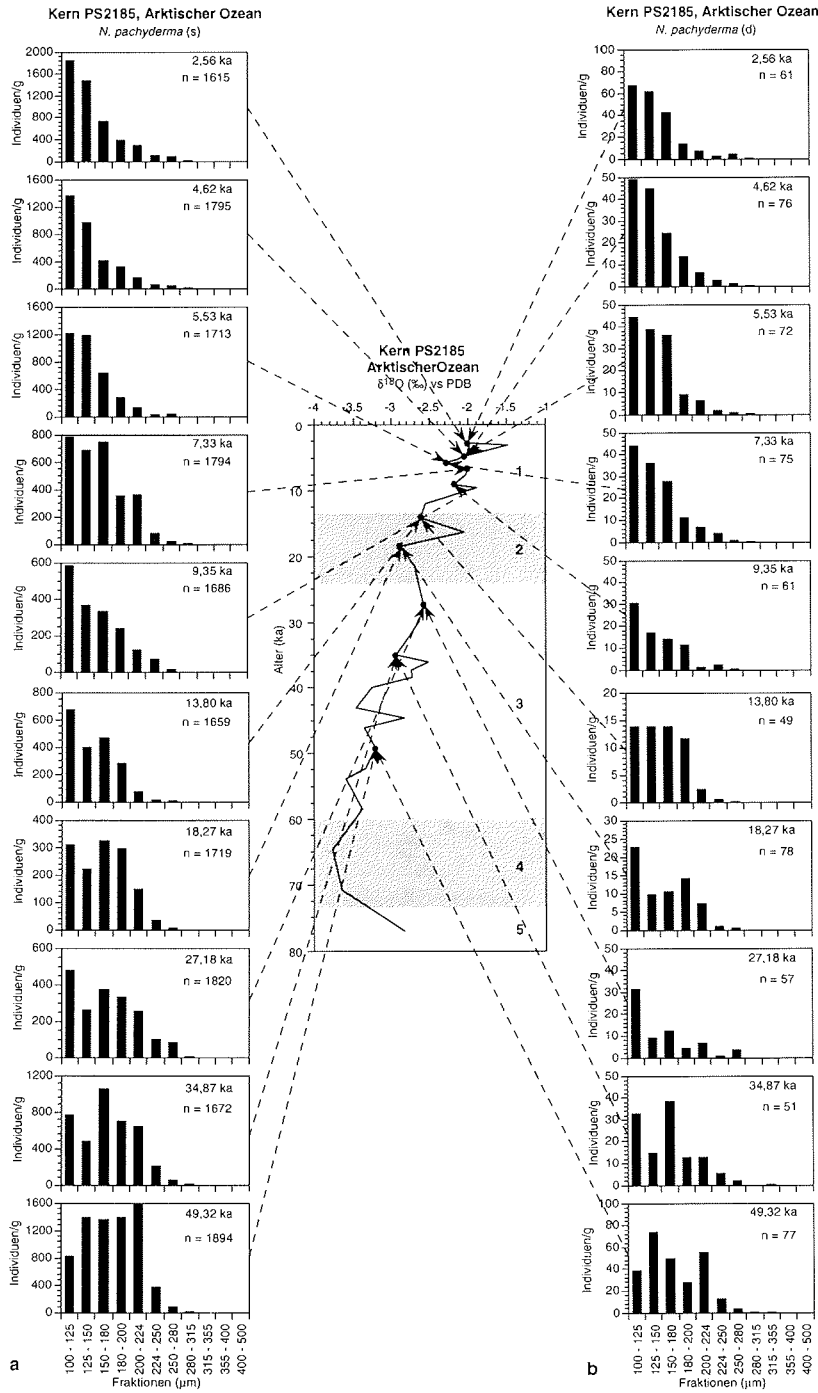


Abb. 8a, b: Größenanalysen an *N. pachyderma* (s)/(d) in Kern PS2185 (Arktischer Ozean) (Individuen/g Trockensediment) (n = Anzahl ausgezählter Individuen).

7. Ergebnisse

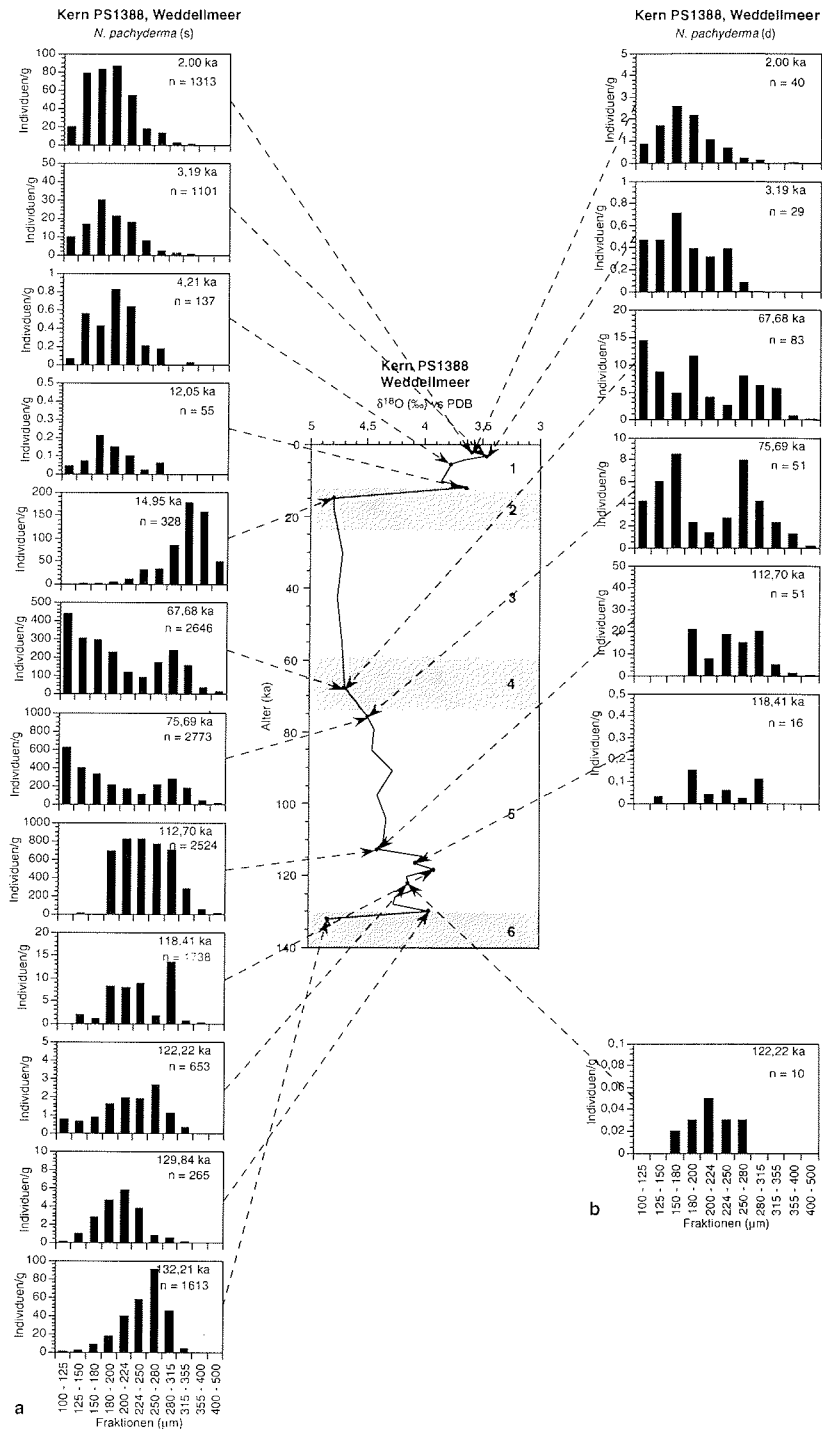


Abb. 9a, b: Größenanalysen an *N. pachyderma* (s)/(d) in Kern PS1388 (Weddellmeer) (Individuen/g Trockensediment) (n = Anzahl ausgezählter Individuen).

7. Ergebnisse

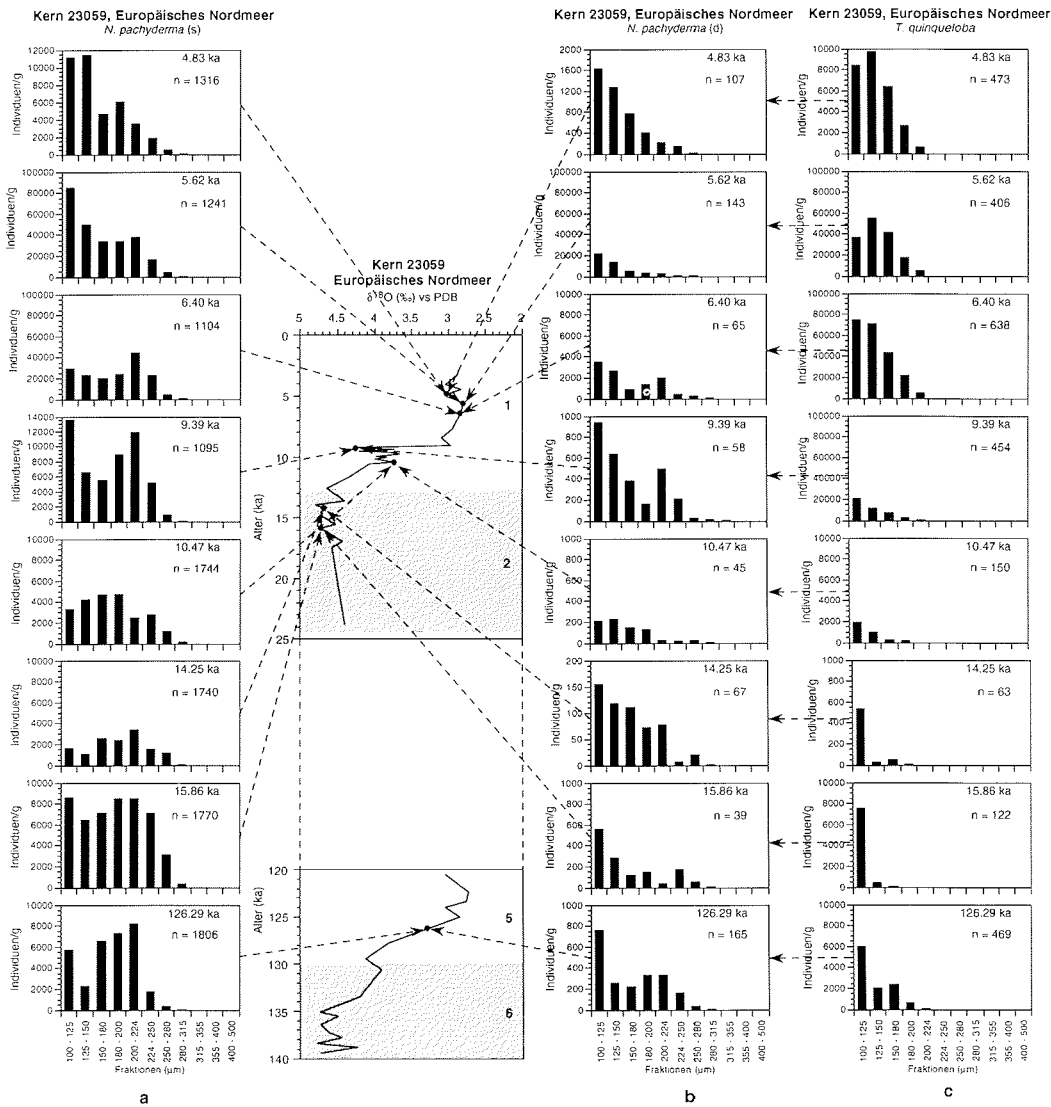


Abb. 10a-c: Größenanalysen an *N. pachyderma* (s)/(d) und *T. quinqueloba* in Kern 23059 (Europäisches Nordmeer) (Individuen/g Trockensediment) (n = Anzahl ausgezählter Individuen).

7. Ergebnisse

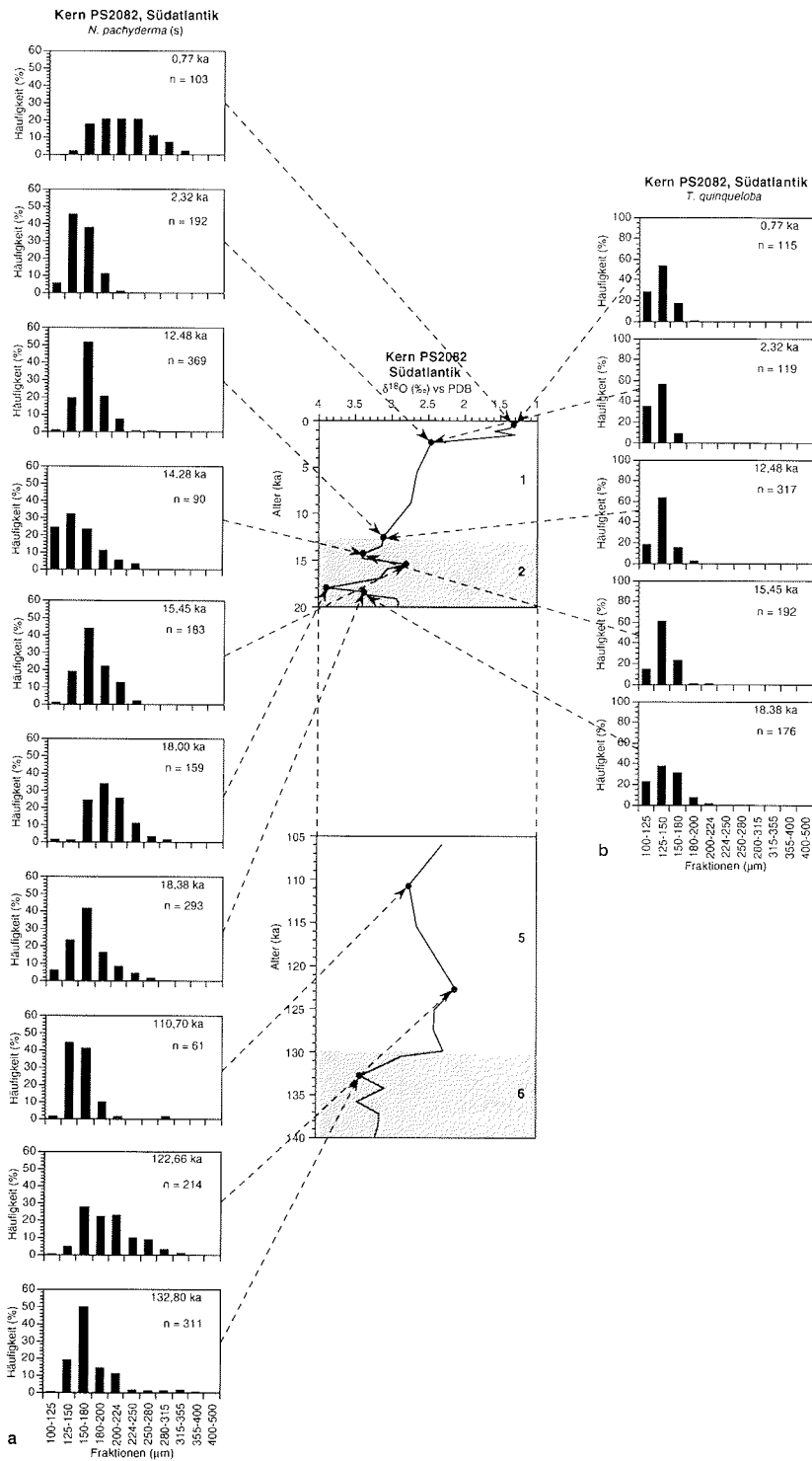


Abb. 11a, b: Größenanalysen an *N. pachyderma* (s) und *T. quinqueloba* in Kern PS2082 (Südatlantik) (relative Häufigkeit in %).

7. Ergebnisse

7.3 Bestimmung des Gehäusedurchmessers mit der halbautomatischen Bildanalyse

7.3.1 Mittlere Gehäusedurchmesser von *N. pachyderma* (s) und *T. quinqueloba* in den einzelnen Untersuchungsgebieten

Hier wurde der gesamte Größenbereich der Gehäuse von *N. pachyderma* (s) und *T. quinqueloba* in Oberflächenproben und Kernen im Vergleich zwischen Arktischem Ozean, Europäischem Nordmeer, Südatlantik und Weddellmeer dargestellt (Abb. 12).

Im zentralen Arktischen Ozean (Kern PS2185) liegen mittlere Gehäusedurchmesser von *N. pachyderma* (s) bei 170 bis 265 μm und weisen damit wesentlich geringere Werte auf als Gehäuse in Kern 21535 (Framstraße) (110 bis 370 μm Gehäusedurchmesser). Entsprechende Gehäuse aus dem Weddellmeer (Kern PS1388) erreichen mit 115 bis >500 μm die doppelte Größe und liegen mit ihren größten Gehäusen außerhalb der bearbeiteten Fraktion 100-500 μm . Die größten überhaupt gemessenen Gehäuse stammen aus dem Isotopenstadium 2 in Kern PS1388 ("Riesengehäuse" mit Durchmessern von 300 bis >500 μm) (Abb. 12).

Mittlerer Schalendurchmesser *N. pachyderma* (s) (μm)

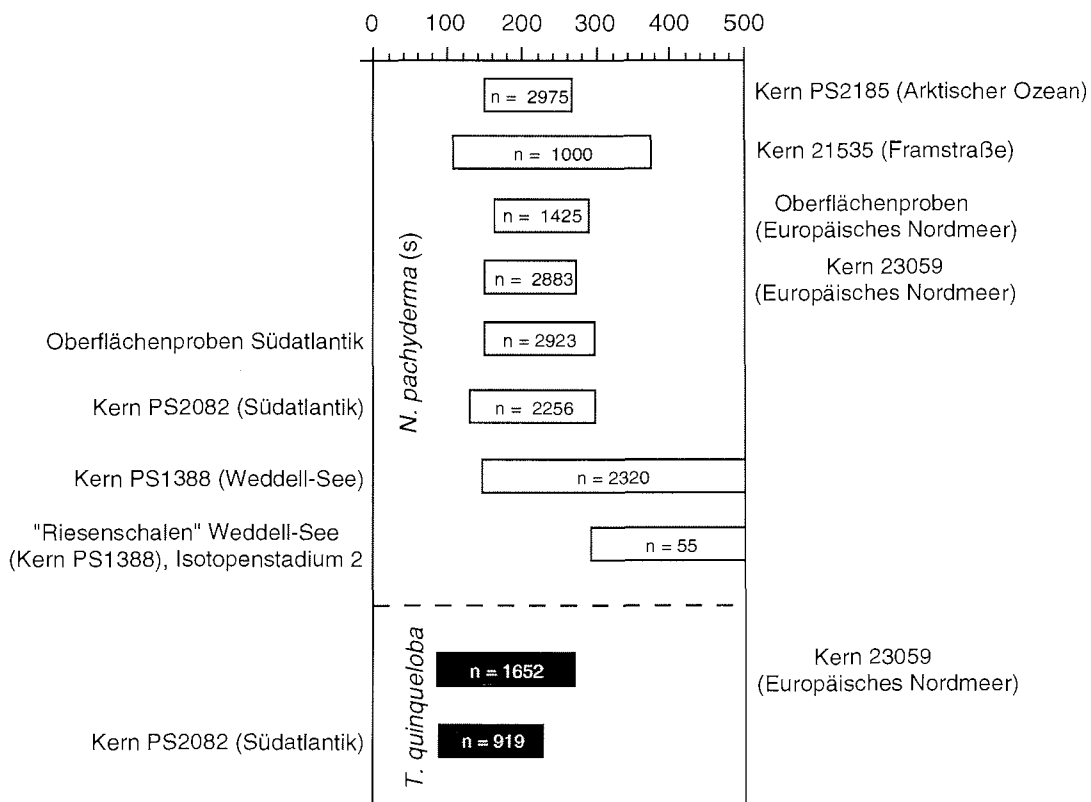


Abb. 12: Größenbereiche von allen Gehäusen *N. pachyderma* (s) und *T. quinqueloba* in Oberflächenproben und Sedimentkernen der Untersuchungsgebiete.

7. Ergebnisse

Der charakteristische Größenbereich der Gehäuse liegt in Oberflächenproben des Europäischen Nordmeeres zwischen 150 und 280 μm und damit nur geringfügig unter den Werten von Oberflächenproben aus dem Südatlantik (150 bis 300 μm). Gehäuse aus dem Europäischen Nordmeer (Kern 23059) sind mit einer mittleren Größe von 150 bis 270 μm geringfügig kleiner als vergleichbare Gehäuse im Südatlantik (Kern PS2082) (140 bis 300 μm).

Die Gehäusedurchmesser von *T. quinqueloba* sind mit einem Größenbereich von 80 bis 270 μm wesentlich kleiner als die von *N. pachyderma* (s). Dabei weisen Individuen aus dem Europäischen Nordmeer (Kern 23059) Größenbereiche zwischen 80 und 270 μm auf. Sie sind damit um 30 μm größer als vergleichbare Individuen aus dem Südatlantik (Kern PS2082) (Abb. 12).

7.3.2 Gehäusedurchmesser von *N. pachyderma* (s) in einzelnen Sedimentkernen

Gemessen wurde jeweils der kleinste und größte Gehäusedurchmesser von *N. pachyderma* (s) je Einzelprobe und der daraus ermittelte Größenbereich in den einzelnen Sedimentkernen dargestellt (Abb. 13a, b):

Im Arktischen Ozean liegt der Größenbereich von *N. pachyderma* (s) von 23 ka bis rezent zwischen 240 μm im mittleren Holozän und 150 μm im jüngeren Holozän. Größte Gehäusedurchmesser finden sich hier im Holozän mit 203 bis 218 μm (Abb. 13). Innerhalb des Isotopenstadiums 2 weisen die Gehäuse relativ konstante Größen auf, unterliegen dagegen im Holozän starken Schwankungen (160 bis 220 μm).

Gehäuse in Kern 21535 (Framstraße) weisen einen maximalen Gesamtgrößenbereich von 370 μm im obersten Abschnitt von Stadium 6, im Isotopenstadium 5 aber nur noch bis etwa 175 μm auf. Der gesamte Größenbereich liegt in diesem Kern also um über 100 μm höher als in Kern PS2185 (Arktischer Ozean) (Abb. 13a).

In Kern PS1388 (Weddellmeer) sind überwiegend größere Gehäuse von *N. pachyderma* (s) als im Arktischen Ozean zu finden. Hier liegen mittlere Gehäusedurchmesser zwischen 400 μm (Isotopenstadium 2) und 160 μm im Holozän. Auch hier nimmt der Gehäusedurchmesser im oberen Abschnitt von Stadium 6 ab und im unteren Bereich von Stadium 5 zu. Die weitaus größten Gehäusedurchmesser in allen Kernen wurden hier mit 400 μm und einem Größenbereich von >200 μm im Isotopenstadium 2 gefunden. Die Gehäuse werden an der Termination I und im Holozän kleiner (Gehäusegrößen zwischen 150 und 205 μm) (Abb. 13a). Die Abweichungen vom Gesamtschalendurchmesser zeigen bei Kern PS2185 kleine Gehäuse von *N. pachyderma* (s) im Isotopenstadium 2 und mittlere Gehäusedurchmesser im Holozän. Größte Gehäuse wurden mit 138 μm über dem Gesamtmittelwert aller Gehäuse aus dem Arktischen Ozean und der Framstraße im Isotopenstadium 6 in der Framstraße nachgewiesen. Die größten Gehäuse treten jedoch in Kern PS1388 (Weddellmeer) mit 150 μm über dem Gesamtmittelwert während des Isotopenstadiums 2 auf (Abb. 13a).

Die Sedimentkerne im Europäischen Nordmeer (Kern 23059) und im Südatlantik (Kern PS 2082) zeigen größte Gehäusedurchmesser im Isotopenstadium 6, bleiben jedoch kleiner als Gehäuse in der Framstraße und etwa gleichgroß wie vergleichbare Gehäuse im Weddellmeer (Abb. 13b). Kern PS2082 weist hier mit 90 bis 210 μm z.T. wesentlich kleinere Gehäusedurchmesser als Kern 23059 (150 bis 230 μm) im gleichen Zeitraum auf. Die ermittelten Gehäusegrößen nehmen in beiden Kernen innerhalb des Isotopenstadiums 5 weiter ab: Kern PS2082 weist die kleinsten in allen Kernen gemessenen Gehäusedurchmesser auf (90 bis 100 μm). Die Größenschwankungen innerhalb des Stadiums 2 bleiben bei Kern PS2082 sehr gering (130 bis 222 μm), während sie in Kern 23059 mit 150 bis 270 μm deutlicher ausgeprägt sind. Im Holozän nehmen die Gehäusegrößen im Europäischen Nordmeer stufenweise von 225 auf 160 μm ab, im Südatlantik läßt sich dagegen zunächst eine Größenabnahme, im obersten Bereich eine Größenzunahme um über 75 μm beobachten (Abb. 13b). Im Europäischen Nordmeer treten kleine Individuen von *N. pachyderma* (s) bevorzugt im

7. Ergebnisse

Holozän, größere Gehäuse dagegen in den Isotopenstadien 6 und 2 auf. Im Südatlantik (Kern PS2082) ist keine genaue Konzentration von großen und kleinen Individuen in Kalt- oder Warmphasen zu beobachten. Größte Gehäuse, die 130 μm größer sind als der Mittelwert von allen Gehäusedurchmessern in diesem Kern, finden sich im Isotopenstadium 6 (Abb. 13b).

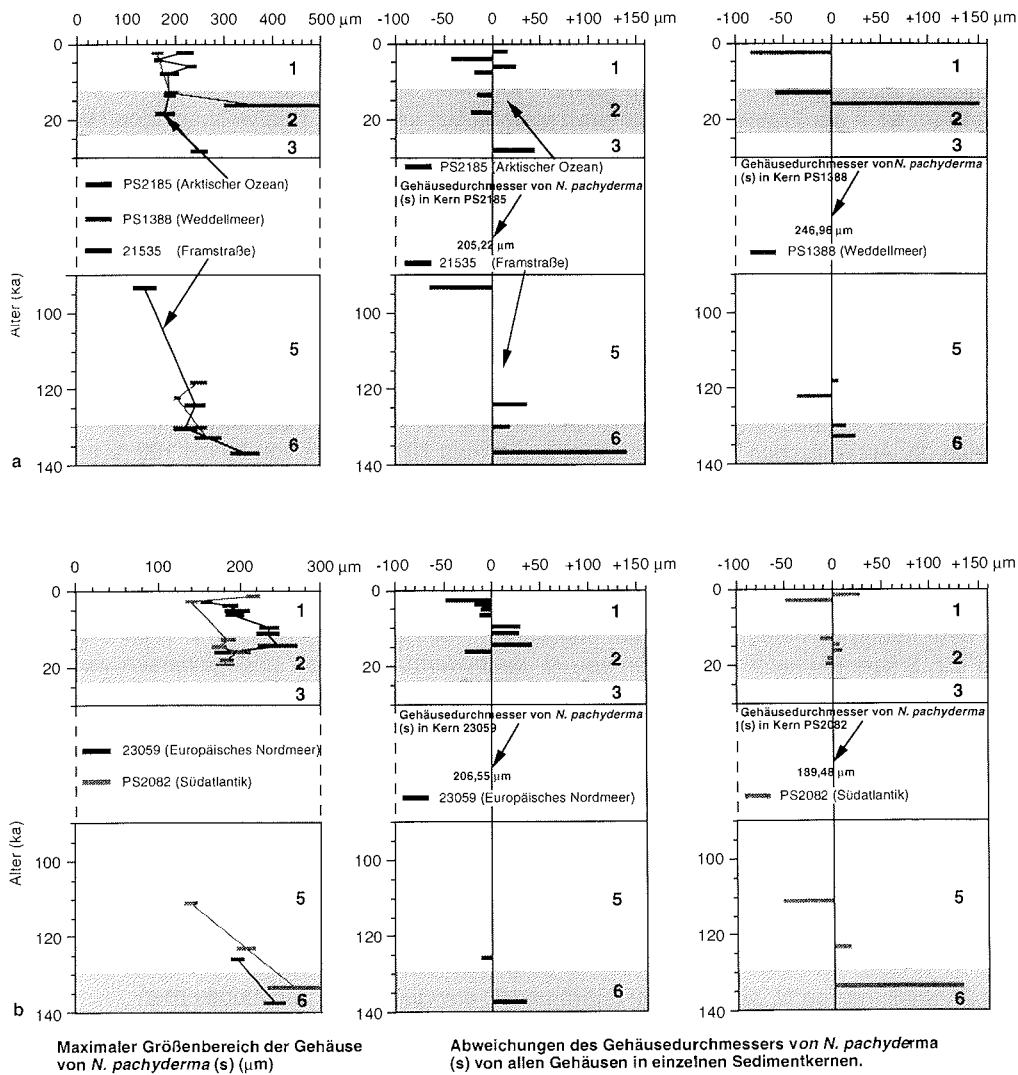


Abb. 13a, b: Schwankungen des Gehäusedurchmessers von *N. pachyderma* (s) in den bearbeiteten Sedimentkernen.

7.4 Auszählergebnisse in den Fraktionen 250-500 μm und 125-250 μm

7.4.1 Häufigkeiten von *N. pachyderma* (s)/(d) und *T. quinqueloba* in Oberflächenproben

N. pachyderma (s) tritt in der Fraktion 250-500 μm in Oberflächenproben des Nordatlantiks bei 53° N (Rockall-Plateau) mit 2 % Häufigkeit nur sehr selten auf. Sie erreicht im Europäischen Nordmeer in den untersuchten Proben bei 68° N ihre geringste Häufigkeit, die jedoch bis 76,8° N auf 95 % sukzessive zunimmt (Abb. 14a). In der Fraktion 125-250 μm sind im Nordatlantik bei 53,5° N mit 3 % nur wenige Individuen von *N. pachyderma* (s) vertreten, ihre Häufigkeit schwankt aber im Europäischen Nordmeer zwischen 35 und 87 %. *N. pachyderma* (d) ist in der Fraktion 250-500 μm zwischen 53° und 67,5° N in wechselnden Häufigkeiten zwischen 25 und 35 % vorhanden, geht aber ab 69° N auf 3 bis 5 % zurück. Die Häufigkeit von *N. pachyderma* (d) nimmt zwischen 67° und 69,3° N rapide von 40 bis auf 2 % ab. Auch in weiter nördlich gelegenen Proben läßt sie sich noch mit 2 % Häufigkeit nachweisen (Abb. 14a). In der Fraktion 125-250 μm verringert sich die Häufigkeit von *N. pachyderma* (d) von 32 % im Europäischen Nordmeer bis auf 3 % bei 76,8° N ab. *T. quinqueloba* ist in der Fraktion 250-500 μm im Nordatlantik und Europäischem Nordmeer sehr selten (1 bis 2 % Häufigkeit). Dagegen erreicht sie in der Fraktion 125-250 μm im Europäischen Nordmeer bei 68° N mit 40 % ihre höchsten Werte (Abb. 14a).

In Oberflächenproben des Südatlantiks wurde *N. pachyderma* (s) in der Fraktion 250-500 μm bei 37° S mit 2 % nachgewiesen. Zwischen 43° und 45° S fehlt sie vollständig, erreicht aber südlich der Antarktischen Polarfront zwischen 52° und 70° S Werte von 80 bis 100 % an den planktischen Foraminiferen. *N. pachyderma* (s) tritt hingegen in der Fraktion 125-250 μm auch bei 37° S sowie 43° und 43,5° S mit 4 bis 22 % auf. Südlich der Antarktischen Polarfront zwischen 53° und 70° S werden auch hier Werte zwischen 80 und 100 % erreicht, ähnlich den Häufigkeiten in der Fraktion 250-500 μm (Abb. 14b).

N. pachyderma (d) ist in der Fraktion 250-500 μm mit 30 % an den planktischen Foraminiferen sehr häufig vertreten, nimmt aber südlich der Subtropischen Front auf 2 % ab. Bei 43° und 45° S konnten keine Individuen von *N. pachyderma* (d) mehr nachgewiesen werden. Dagegen erscheinen sie südlich der Antarktischen Polarfront mit wechselnden Häufigkeiten zwischen 2 und 18 % (Abb. 16). In der Fraktion 125-250 μm wurde *N. pachyderma* (d) bei 35° S und 43° S mit Häufigkeiten von 8 bis 10 % nachgewiesen. Südlich der Antarktischen Polarfront fehlt sie entweder ganz oder ist nur mit sehr geringen Anteilen zwischen 1 und 3 % bei 53° S bzw. 68° S an den planktischen Foraminiferen vertreten (Abb. 14b).

T. quinqueloba kommt in der Fraktion 250-500 μm nur in der Nähe des antarktischen Kontinents mit 12 % vor. Ihre Häufigkeit beträgt in der Fraktion 125-250 μm bei 37° S bzw. 43° S 5 bis 30 % an der planktischen Foraminiferenfauna. Südlich der Antarktischen Polarfront ist sie mit 7 % bei 53° S und 17 % bei 70° S vertreten (Abb. 14b).

7.4.2 Verteilung von *N. pachyderma* (s)/(d) und *T. quinqueloba* in Sedimentkernen

Gehäusekonzentrationen von Individuen von *N. pachyderma* (s)

Höchste Konzentrationen von *N. pachyderma* (s) in der Framstraße (Kern 21535) liegen in der Fraktion 250-500 μm bei 1.600 Individuen/g Trockensediment im Substadium 5.51, im Arktischen Ozean (Kern PS2185) werden jedoch nur höchste Konzentrationen von 200 Individuen/g bei 40 ka erreicht. In der Fraktion 125-250 μm konnten dagegen in der Framstraße im Substadium 5.51 18.500 Individuen nachgewiesen werden, im Arktischen Ozean nur 3.000 Individuen/g bei 43 ka (Abb. 15a).

In Kern PS1388 (Weddellmeer) ist in der Fraktion 250-500 μm *N. pachyderma* (s) im Isotopenstadium 5 bei 114 ka am stärksten vertreten (4.150 Individuen/g). Die Konzentrationen nehmen aber innerhalb des Stadiums 5 bis auf 650 Individuen/g ab. Eine weitere Konzentra-

7. Ergebnisse

tionsabnahme vollzieht sich innerhalb der Isotopenstadien 3 bis 1. In der Fraktion 125-250 μm betragen die höchsten Konzentrationen 5.000 Individuen/g im Stadium 5 bei 113 ka und nehmen bis zum Holozän sehr stark ab (Abb. 15a).

Individuenkonzentrationen von *N. pachyderma* (s) liegen in Kern PS1243 (Europäisches Nordmeer) in der Fraktion 250-500 μm im Isotopenstadium 5 bei maximal 1.050 Individuen/g, höhere Werte werden nur im Isotopenstadium 2 (1.180 Individuen/g) erreicht (Abb. 15b). Geringste Konzentrationen treten im jüngsten Abschnitt des Isotopenstadiums 6 bei 137 und 133 ka, an den Stadiengrenzen 4/3 und 3/2 sowie an der Termination I auf. In der Fraktion 125-250 μm ist ein Konzentrationsmaximum innerhalb des Isotopenstadiums 5 bei 80 ka (18.700 Individuen/g) besonders deutlich ausgebildet. Zweithöchste Konzentrationen treten mit 14.500 Individuen/g im Holozän bei 1,5 ka auf. Konzentrationsminima fallen hier in den jüngsten Abschnitt von Isotopenstadium 6 bei 137 ka und in die Stadiengrenze 5/4 (Abb. 15b).

Kern PS2082 (Südatlantik) zeigt in der Fraktion 125-250 μm geringere Individuenkonzentrationen als Kern PS1243: Höchste Individuenkonzentrationen bei 80 ka (10.500 Individuen/g) fallen mit dem Konzentrationsmaximum in Kern PS1243 zusammen, ebenso wie minimale Konzentrationen bei 137 ka und an der Stadiengrenze 5/4 (Abb. 15b).

Häufigkeit von *N. pachyderma* (d)

Maximalwerte der Häufigkeit von *N. pachyderma* (d) (an den Gesamtindividuen von *N. pachyderma*) in der Fraktion 250-500 μm liegen in Kern PS2185 (Arktischer Ozean) im unteren Bereich des Sauerstoffisotopenstadiums 3 bei 48 ka (13,2 %). Die übrigen Werte schwanken im Zeitraum 76 ka bis heute von 0 bis 5 %. Kern 21535 (Framstraße) zeigt zwischen 139 und 119 ka Häufigkeiten von 3 %. Im Zeitraum 76 ka bis heute lassen sich in der Fraktion 125-250 μm Häufigkeiten von 0 bis 7 % finden, maximale Häufigkeiten treten in den mittleren Bereichen des Isotopenstadiums 3 und im Holozän auf. In der Framstraße liegen im Zeitraum 139 bis 119 ka nur im Substadium 5.51 Individuenhäufigkeiten bei 5 % (Abb. 16a).

Kern PS1388 (Weddellmeer) weist in der Fraktion 250-500 μm nur im Isotopenstadium 5 bei 92 ka Anteile von *N. pachyderma* (d) von 5 % auf, charakteristische Häufigkeiten liegen sonst zwischen 0 und 3 %. In der Fraktion 125-250 μm können erhöhte Anteile von *N. pachyderma* (d) in den Isotopenstadien 5 bei 103 ka (5 %) und 3 bei 55 ka mit 4,5 % lokalisiert werden (Abb. 16a).

Die Häufigkeit von *N. pachyderma* (d) in Kern PS1243 (Europäisches Nordmeer) in der Fraktion 250-500 μm schwankt zwischen 0 % in den Isotopenstadien 6 bei 137 ka und 3 bei 41 ka und 17 % im Substadium 5.51. Die Verteilung der Häufigkeitsmaxima weicht in der Fraktion 125-250 μm von der in der größeren Fraktion ab: Die am stärksten ausgeprägten Häufigkeitsmaxima treten hier im Isotopenstadium 6 bei 137 ka (9 %) und im Holozän bei 1,5 ka (11,5 %) auf. Es konnten jedoch keine so stark ausgeprägten Maxima in den Isotopenstadien 5 und 3 wie in der Fraktion 250-500 μm identifiziert werden (Abb. 16b).

In Kern PS2082 (Südatlantik) kommt *N. pachyderma* (d) in der Fraktion 125-250 μm im Substadium 5.51 mit 55 % Häufigkeit siebenfach häufiger vor als im Europäischen Nordmeer in dieser Fraktion. Weitere Maxima treten im Isotopenstadium 3 bei 34 ka (25 %) sowie im Holozän bei 2 ka (26 %) auf. Häufigkeitsminima konnten im Südatlantik an der Termination II (3 %) und an der Grenze der Isotopenstadien 5/4 (1,5 %) nachgewiesen werden (Abb. 16b).

7. Ergebnisse

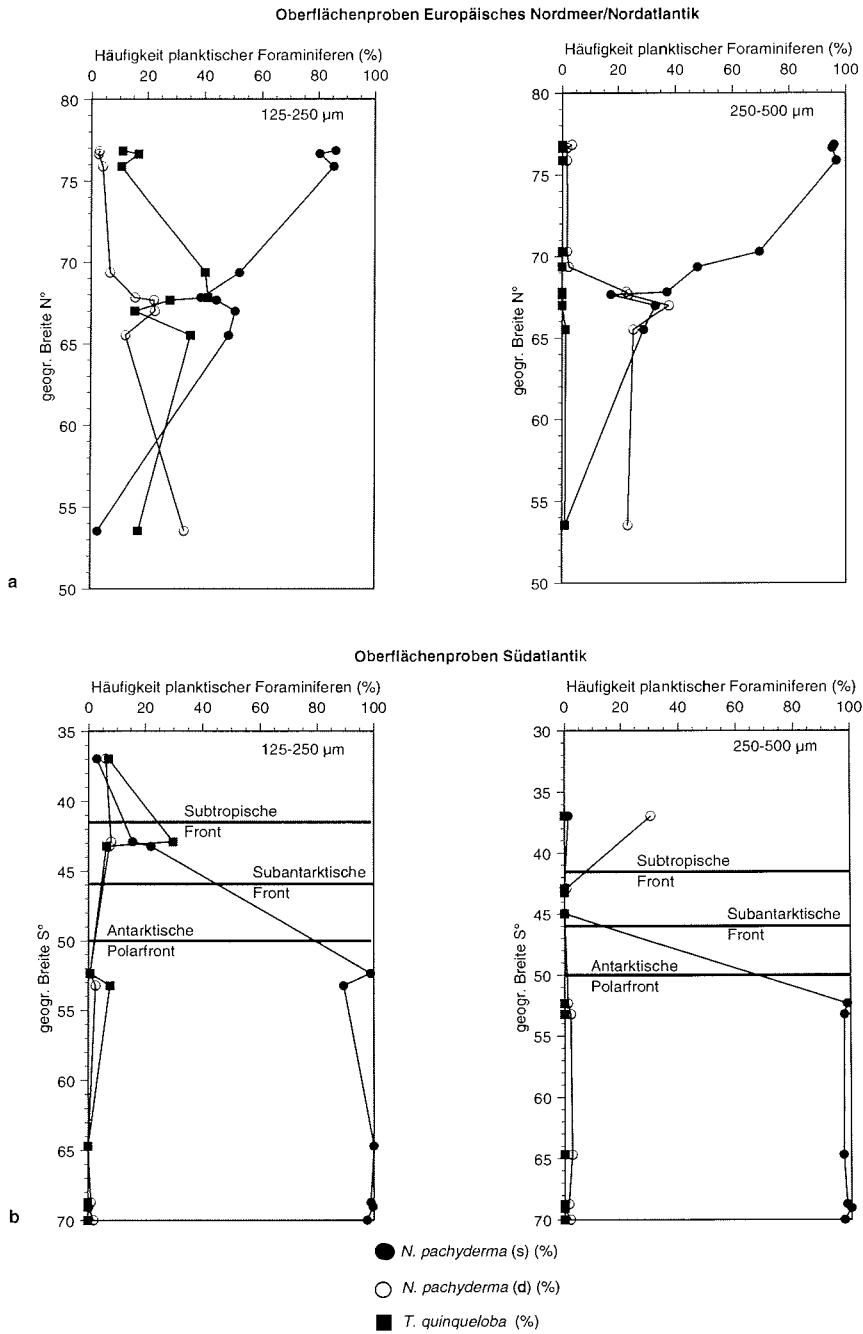


Abb. 14a, b: Häufigkeit von *N. pachyderma* (s)/(d) und *T. quinqueloba* im Europäischen Nordmeer/Nordatlantik und im Südatlantik (% an planktischen Foraminiferen) (Lage der Fronten im Südatlantik nach Belkin & Gordon (1996)).

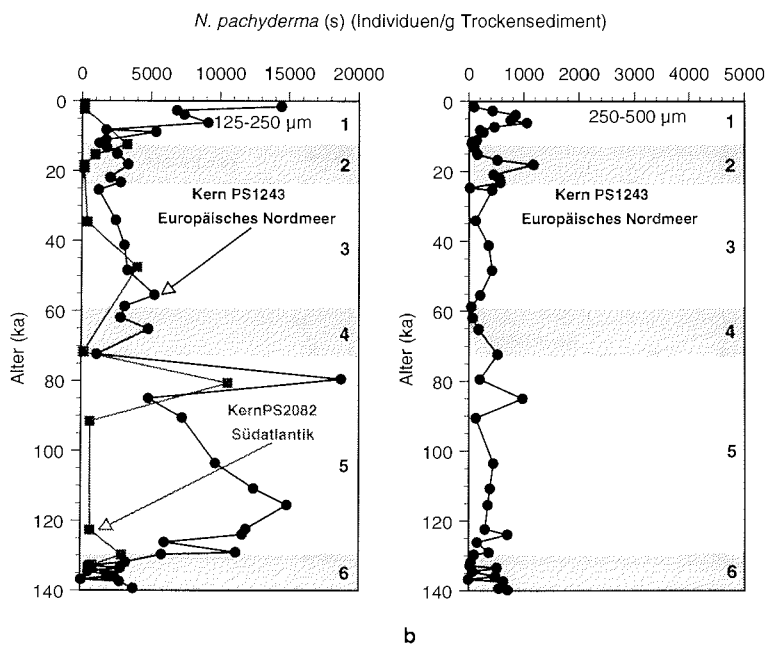
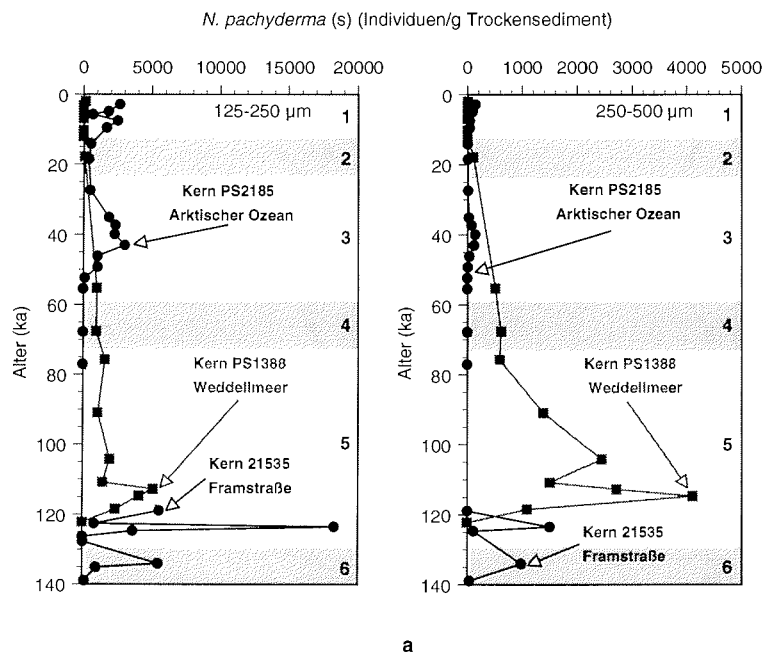


Abb. 15a, b: Konzentration von *N. pachyderma* (s) in den untersuchten Sedimentkernen (Individuen/g Trockensediment).

7. Ergebnisse

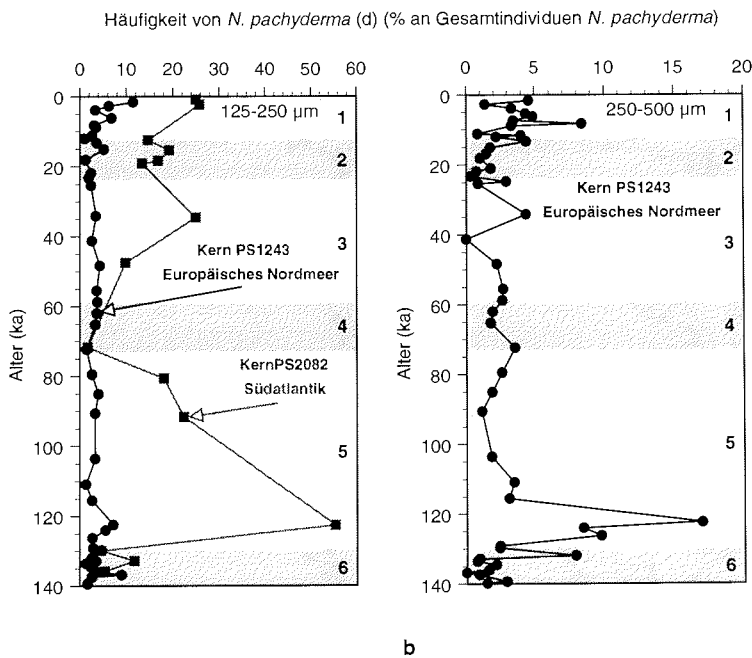
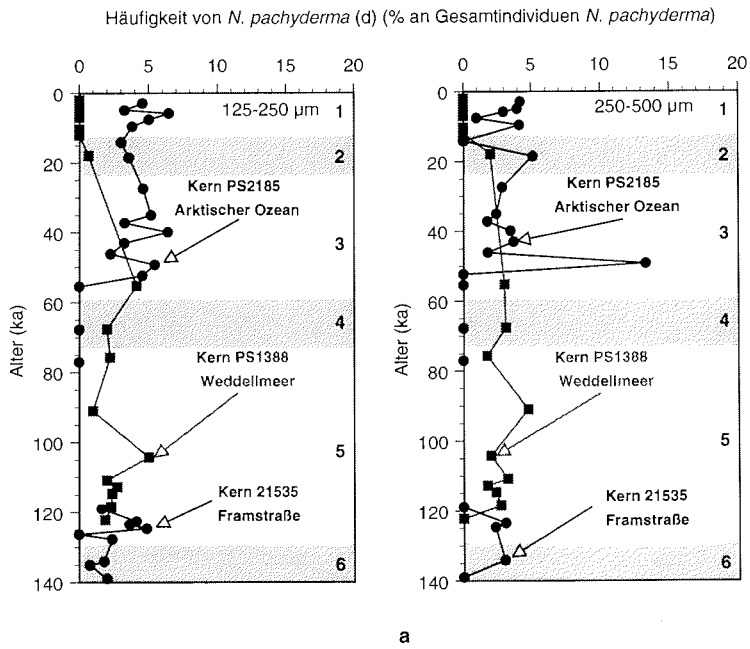


Abb. 16a, b: Relative Häufigkeit von *N. pachyderma* (d) an den Gesamtindividuen von *N. pachyderma* in den untersuchten Sedimentkernen (%).

7. Ergebnisse

Häufigkeit von *T. quinqueloba*

Die Häufigkeit von *T. quinqueloba* an den planktischen Foraminiferen erreicht in der Fraktion 125-250 μm im Europäischen Nordmeer (Kern PS1243) im Substadium 5.51 maximal 40 %, im Holozän steigt ihre Häufigkeit auf 81 %. Sehr geringe Werte treten an der Termination II, Stadiengrenze 3/2 und bei 11 ka auf (Abb. 17).

Kern PS2082 (Südatlantik) zeigt dagegen im Substadium 5.51 höhere Häufigkeiten (73 %), ein weiteres Maximum ist innerhalb des Stadiums 2 mit 43 % ausgebildet. Minimale Werte treten im jüngsten Abschnitt des Isotopenstadiums 6 bei 133 ka (3 %), im Stadium 5 bei 92 ka (5 %) und im Holozän (2 %) auf (Abb. 17).

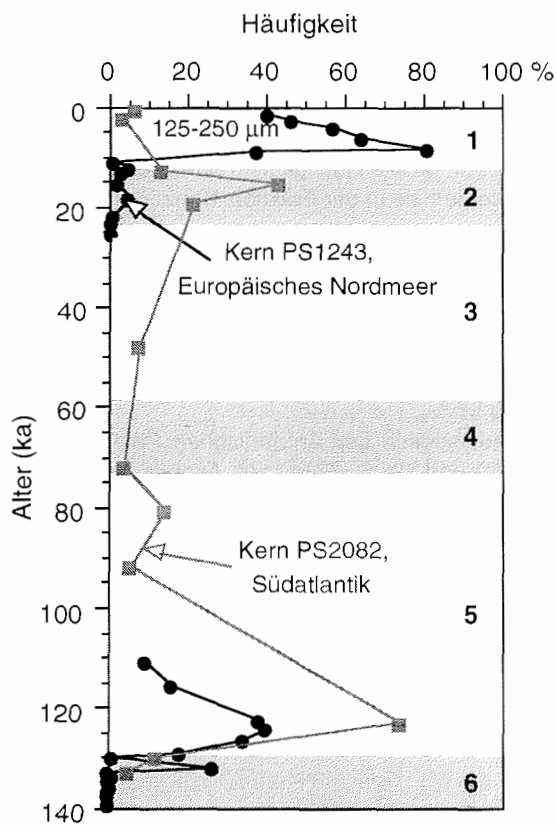


Abb. 17: Häufigkeit von *T. quinqueloba* in den Kernen PS1243 (Europäisches Nordmeer) und PS2082 (Südatlantik).

7. Ergebnisse

7.4.3 Häufigkeit von Phänotypen *N. pachyderma* (s) in Oberflächenproben

Die Oberflächenproben entlang eines Profiles von 53° S (Rockall-Plateau) bis 77° N (südlicher Bereich der Framstraße) weisen unterschiedliche Gehalte an Phänotypen *N. pachyderma* (s) auf. Dargestellt ist ihre Häufigkeit an den Gesamtindividuen von *N. pachyderma* (s) (Abb. 18a):

Wurstkammer-Individuen treten bei 53° N (Rockall-Plateau) mit 20 % in der Fraktion 250-500 µm auf. Ihr Anteil erhöht sich bei 68° N auf 40 %, nimmt dann aber bei 69° N und 70,5° N auf Werte von 10 bzw. 5 % ab. Bei 76° und 77° N konnten Anteile zwischen 10 und 15 % nachgewiesen werden. In der Fraktion 125-250 µm liegt ihre Häufigkeit mit Ausnahme von 50 % bei 53° N niedriger als in der Fraktion 250-500 µm. Ihr Anteil geht zwischen 66° und 69° N auf 4 bis 8 % zurück und schwankt nördlich 75° N zwischen 3 und 6 % (Abb. 18a).

Kümmerform-Individuen sind in beiden Fraktionen die häufigste Phänotyp-Gruppe: In der Fraktion 250-500 µm beträgt ihre Häufigkeit 4 % (bei 70,5° N) bis 43 % (bei 66,5° N). Sie sind auch in der Fraktion 125-250 µm mit 18 % (bei 76° N) bis 50 % (bei 53° N) am häufigsten vertreten.

Aberrante Individuen kommen in beiden Fraktionen nur selten vor: In der Fraktion 250-500 µm treten sie nicht in allen Proben auf, größte Häufigkeiten erreichen sie bei 53° N (5 %) und bei 68° N (17 %). Noch seltener werden sie in der Fraktion 125-250 µm mit maximal 3 % bei 68° N (Abb. 18a).

Im Südatlantik sind Wurstkammer-Individuen in der Fraktion 250-500 µm häufiger als in der Fraktion 125-250 µm und schwanken in ihren Häufigkeiten in der großen Fraktion zwischen 9 und 24 %, fehlen aber zwischen 43° und 45° S. Sie sind an der Fraktion 125-250 µm mit maximal 20 % beteiligt (Abb. 18b).

Kümmerform-Individuen sind in der Fraktion 250-500 µm wesentlich seltener (7 bis 11 %) als in der Fraktion 125-250 µm (13 bis 57 %).

Aberrante Individuen kommen nur südlich der Antarktischen Polarfront vor und weisen größte Häufigkeiten bei 69° S (7 %) und 70° S (77 %) auf. Auch in der Fraktion 125-250 µm konnten sie nur südlich der Antarktischen Polarfront nachgewiesen werden und erreichen bei 70° S gleiche Häufigkeiten (77 %) wie in der Fraktion 250-500 µm (Abb. 18b).

7. Ergebnisse

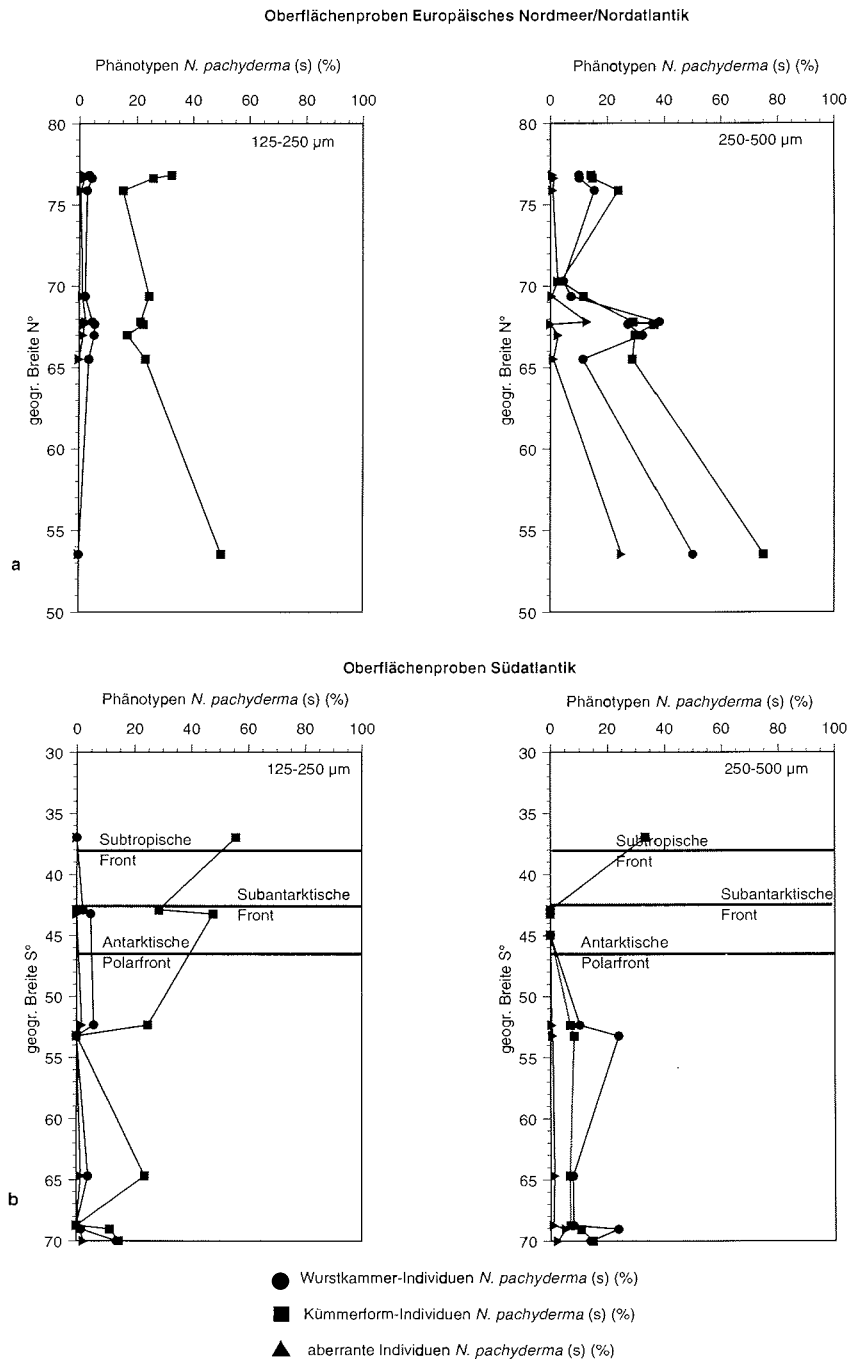


Abb. 18a, b: Häufigkeit von Phänotypen von *N. pachyderma* (s) im Europäischen Nordmeer/Nordatlantik und im Südatlantik (% an *N. pachyderma* (s)) (Lage der Fronten im Südatlantik nach Belkin & Gordon (1996)).

7. Ergebnisse

7.4.4 Phänotypen von *N. pachyderma* (s) in Sedimentkernen

Konzentration von Wurstkammer-Individuen

Die höchste Anzahl an Wurstkammer-Individuen von *N. pachyderma* (s) innerhalb der Fraktion 250-500 µm zeigt sich in der Framstraße im Substadium 5.51 mit maximal 60 bzw. 135 Individuen/g. In Kern PS2185 (Arktischer Ozean) liegt ihre Konzentration in der Fraktion 250-500 µm wesentlich niedriger: Erhöhte Werte treten hier im mittleren Abschnitt des Isotopenstadiums 3 auf (11 Individuen/g) (Abb. 19a). In Kern PS2185 fehlen im oberen Bereich des Stadiums 4 und an der Stadiengrenze 4/3 Wurstkammer-Individuen vollständig. Ihre Anzahl erhöht sich erst innerhalb des Isotopenstadiums 3, in dessen mittlerem Bereich höchste Gehäusekonzentrationen von 11 Individuen/g gefunden wurden. Am Ende von Stadium 3 nimmt die Anzahl an Wurstkammer-Individuen auf 1 Wurstkammer-Individuum/g im Stadium 2 ab, steigt aber während des Holozäns leicht auf 2,5 Individuen/g an. Die Konzentrationsverteilung der Wurstkammer-Individuen in der Fraktion 125-250 µm im Arktischen Ozean zeigt einen ähnlichen Verlauf wie in der Fraktion 250-500 µm, hier ist jedoch das Konzentrationsmaximum im Holozän mit 138 Individuen/g und damit den höchsten Wurstkammer-Individuenkonzentrationen im Arktischen Ozean überhaupt sehr deutlich ausgebildet (Abb. 19a).

Im Gegensatz zum Arktischen Ozean ist die Konzentration von Wurstkammer-Individuen im Weddellmeer mit 620 Wurstkammer-Individuen/g in der Fraktion 250-500 µm im Bereich des Substadiums 5.5 wesentlich höher (Abb. 19a). Ihre Konzentration nimmt danach ab, ein weniger ausgeprägtes Maximum tritt mit 170 Individuen/g im jüngsten Abschnitt von Isotopenstadium 5 auf. Während des Isotopenstadiums 4 nimmt die Konzentration wieder stark ab, bis sich im Stadium 3 die Individuenkonzentration auf einem niedrigen Niveau von 2 Wurstkammer-Individuen/g einstellt und an der Termination I und im Holozän Wurstkammer-Individuen nicht mehr vertreten sind. In der Fraktion 125-250 µm treten bei 113 ka mit 160 Individuen/g doppelt so hohe Konzentrationen wie in der Fraktion 250-500 µm auf. Das zweite Konzentrationsmaximum im jüngsten Bereich von Isotopenstadium 5 ist mit 117 Individuen/g deutlicher ausgeprägt als in der Fraktion 250-500 µm (Abb. 19a).

Wurstkammer-Individuen im Europäischen Nordmeer (Kern PS1243) treten in der Fraktion 250-500 µm im obersten Bereich des Isotopenstadiums 6 mit Konzentrationen von 0 bis 60 Individuen/g auf. An den Stadiengrenzen 4/3 und 3/2 und an der Termination I sind sie sehr selten. Häufigkeitsmaxima liegen dagegen in den Stadien 5 (85 Individuen/g), 2 (105 Individuen/g) und im Holozän (132 Individuen/g). Insgesamt liegt die durchschnittliche Konzentration von Wurstkammer-Individuen im Europäischen Nordmeer höher als vergleichbare Werte im Arktischen Ozean und dem Weddellmeer (Abb. 19b). In der Fraktion 125-250 µm sind wesentlich höhere Konzentrationen an Wurstkammer-Individuen vorhanden als in der Fraktion 250-500 µm: Konzentrationsmaxima befinden sich mit 445 Individuen/g bei 110 ka, mit 210 Individuen/g im oberen Abschnitt des Isotopenstadiums 5 und mit 330 Individuen/g im Holozän. Konzentrationsminima liegen hier im oberen Bereich des Isotopenstadiums 6 bei 137 ka, an den Stadiengrenzen 4/3 und 3/2 und an der Termination I (Abb. 19b).

Wurstkammer-Individuen von *N. pachyderma* (s) sind in Kern PS2082 (Südatlantik) innerhalb des jüngsten Abschnittes von Isotopenstadium 6 bei 137 ka (125 Individuen/g), im Isotopenstadium 3 bei 43 ka (65 Individuen/g) und im Isotopenstadium 2 (25 Individuen/g) am zahlreichsten. Konzentrationsminima befinden sich im Bereich des Stadiums 6 (133 ka), im jüngeren Bereich des Stadiums 5 zwischen 90 und 72 ka sowie im Holozän (Abb. 19b).

Häufigkeit von Wurstkammer-Individuen

Im Bereich der Framstraße (Kern 21535) sind Wurstkammer-Individuen in der Fraktion 250-500 µm mit maximal 2 % an den Gesamtindividuen von *N. pachyderma* (s) selten, werden aber im Arktischen Ozean (Kern PS2185) mit 22 % im Isotopenstadium 3 sowie mit 12 % im obersten Abschnitt des Isotopenstadiums 2 wesentlich häufiger. Die geringsten Individuen-

7. Ergebnisse

zahlen werden im Bereich des Isotopenstadiums 6 (0 %), im Stadium 2 (1 %) und im Holozän (2,5 %) beobachtet (Abb. 19c).

Im Substadium 5.51 weist Kern PS1388 in der Fraktion 250-500 μm sehr hohe Anteile von Wurstkammer-Individuen auf (62 %), weitere hohe Anteile kommen im obersten Bereich des Isotopenstadiums 5 (27 %), größte Häufigkeiten jedoch im Holozän (75 %) vor. In der Fraktion 125-250 μm schwankt ihre Häufigkeit zwischen 0 % im Holozän und 7,1 % im jüngsten Bereich des Stadiums 5 und ältesten Abschnittes von Stadium 4 (Abb. 19c).

Im Europäischen Nordmeer weisen in der Fraktion 250-500 μm durchschnittlich 12 % der Individuen von *N. pachyderma* (s) Wurstkammern auf. Dabei schwankt ihre Häufigkeit innerhalb der Isotopenstadien 5 bis 3 nur zwischen 7 und 16 %, Häufigkeitsminima treten im oberen Abschnitt von Isotopenstadium 6 bei 137 ka, im jüngsten Abschnitt des Isotopenstadiums 3 bei 25 ka und an der Termination I auf. Maxima finden sich im mittleren Bereich des Isotopenstadiums 5 bei 104 ka, im Stadium 3 mit 15 % bei 33 ka und im Holozän mit 17 % bei 6 ka. In der Fraktion 125-250 μm treten im Vergleich zur Fraktion 250-500 μm wesentlich geringere Häufigkeiten von Wurstkammer-Individuen mit 0 bis 5,5 % auf. Ihre Häufigkeitsmaxima liegen dabei mit 5 % im oberen Bereich des Isotopenstadiums 6, im mittleren Bereich von Stadium 5 (3,5 %) und in Stadium 3 (5,1 %). Deutlich ausgeprägte Häufigkeitsminima mit 0 % können im Stadium 6 bei 137 ka, im jüngsten Abschnitt von Stadium 5 bei 79 ka, im untersten Abschnitt von Stadium 2 bei 22 ka und im Holozän beobachtet werden (Abb. 19d).

Häufigkeiten von Wurstkammer-Individuen im Südatlantik (Kern PS2082) liegen im Durchschnitt 1 bis 2 % unter denen des Europäischen Nordmeeres. Häufigkeitsmaxima treten im Stadium 6 (6 %), im Substadium 5.51 (3,8 %), im Isotopenstadium 2 (5 %) und im Holozän (4,7 %) auf (Abb. 19d).

Konzentration von Kümmerform-Individuen

Die Konzentration an Kümmerform-Individuen von *N. pachyderma* (s) zeigt in den Fraktionen 250-500 μm und 125-250 μm in allen untersuchten Kernen grundsätzlich einen ähnlichen Verlauf wie die Konzentrationskurven der Wurstkammer-Individuen. Kümmerform-Individuen treten aber wesentlich häufiger auf als Wurstkammer-Individuen (Abb. 20a-d):

Höchste Konzentrationen an Kümmerform-Individuen in der Fraktion 250-500 μm finden sich in der Framstraße mit 300 Individuen im Bereich des Substadiums 5.51. Im Arktischen Ozean zeigen die Kümmerform-Individuen nur sehr geringe Konzentrationen im Isotopenstadium 3 bei 38 ka, fehlen dagegen fast vollständig im Holozän. In der Fraktion 125-250 μm sind Kümmerform-Individuen in Kern 21535 (Framstraße) 15mal häufiger als in der Fraktion 250-500 μm : Hier sind höchste Konzentrationen in der Framstraße mit 4.500 Individuen/g im Substadium 5.51 vorhanden. Im Arktischen Ozean treten im Vergleich zur Fraktion 250-500 μm zusätzlich erhöhte Konzentrationen an der Stadiengrenze 5/4 (1.400 Individuen/g) und im Holozän (1.900 Individuen/g) auf, ein geringer ausgeprägtes Maximum konnte bei 38 ka nachgewiesen werden (600 Individuen/g) (Abb. 20a).

Im Weddellmeer treten höchste Konzentrationen an Kümmerform-Individuen in der Fraktion 250-500 μm mit 185 Individuen/g bei 115 ka auf, ein weiteres schwächer ausgeprägtes Maximum befindet sich bei 105 ka (145 Individuen/g). Die Werte nehmen dann in den Isotopenstadien stufenweise ab, bis sie im Holozän bei 0 liegen. Die Häufigkeit von Kümmerform-Individuen ist in der Fraktion 125-250 μm bei 115 ka mit 4.600 Individuen/g 25fach höher als entsprechende Konzentrationen in der Fraktion 250-500 μm . Im Isotopenstadium 4 sinkt ihre Konzentration auf 400 Individuen/g ab und weist ihr Minimum im Holozän auf (Abb. 20a).

Im Europäischen Nordmeer lassen sich wesentlich höhere Konzentrationen an Kümmerform-Individuen als im Arktischen Ozean und dem Weddellmeer beobachten (Abb. 20b): Konzentrationsmaxima bestehen in der Fraktion 250-500 μm im Isotopenstadium 6 bei 138 ka (180

7. Ergebnisse

Individuen/g), im oberen Abschnitt von Isotopenstadium 5 bei 85 ka (265 Individuen/g), im Isotopenstadium 2 bei 18 ka (325 Individuen/g) und im Holozän (260 Individuen/g). Kümmerform-Individuen sind in der Fraktion 125-250 μm häufiger als in der Fraktion 250-500 μm : Minimale Werte werden im Isotopenstadium 6 bei 137 ka (Kümmerform-Individuen fehlen), an der Stadiengrenze 5/4 (200 Individuen/g), im jüngsten Abschnitt des Isotopenstadiums 3 (250 Individuen/g) und an der Termination I (200 Individuen/g) erreicht. Maximale Konzentrationen an Kümmerform-Individuen treten bei 115 ka (4.000 Individuen/g), im obersten Bereich des Isotopenstadiums 5 bei 80 ka (5.500 Individuen/g) und im Holozän (4.000 Individuen/g) auf (Abb. 20b).

Im Südatlantik (Kern PS2082) finden sich die meisten Gehäuse von Kümmerform-Individuen an der Termination II (1.200 Individuen/g), im jüngsten Abschnitt von Isotopenstadium 5 (4.300 Individuen/g) und an der Termination I (1.200 Individuen/g). Geringste Konzentrationen an Kümmerform-Individuen treten dagegen im Isotopenstadium 6 bei 133 ka, an der Stadiengrenze 4/3, im Isotopenstadium 2 und im Holozän auf (Abb. 20b).

Häufigkeit von Kümmerform-Individuen

Die Häufigkeit von Kümmerform-Individuen von *N. pachyderma* (s) an den Gesamtindividuen von *N. pachyderma* (s) schwankt in der Fraktion 250-500 μm in der Framstraße zwischen 0 und 18 %, im Arktischen Ozean dagegen zwischen 0 % bei 43 ka und 27 % im Stadium 3 bei 48 ka. In der Fraktion 125-250 μm sind Kümmerform-Individuen mit durchschnittlich 20 % doppelt so häufig wie in der Fraktion 250-500 μm . Die weniger stark ausgeprägten Maxima fallen mit entsprechenden Häufigkeitsmaxima in der Fraktion 250-500 μm zusammen. Ein zusätzliches Maximum läßt sich in dieser Fraktion aber im Holozän mit 34 % bei 5 ka nachweisen (Abb. 20c).

Im Weddellmeer beträgt die maximale Häufigkeit von Kümmerform-Individuen in der Fraktion 250-500 μm 22 % im Substadium 5.51. Im weiteren Verlauf der Isotopenstadien 5 bis 2 schwanken die Häufigkeiten nur noch zwischen 4 und 8 %. In der Fraktion 125-250 μm nimmt ihre Häufigkeit im Vergleich zu entsprechenden Werten in der Fraktion 250-500 μm leicht zu: Maxima lassen sich im Substadium 5.51 (15 %), bei 110 ka und im Holozän mit höchsten ermittelten Werten in dieser Fraktion von 26 % nachweisen (Abb. 20c).

Kümmerform-Individuen sind im Europäischen Nordmeer (Kern PS1243) mit durchschnittlich 25 % Häufigkeit in der Fraktion 250-500 μm vertreten und häufiger als vergleichbare Werte aus der Framstraße, dem Arktischen Ozean und dem Weddellmeer:

Maxima liegen im Stadium 5 bei 104 ka (37 %), im Stadium 3 bei 34 ka (35 %) und im obersten Bereich von Isotopenstadium 2 bei 13 ka (35 %). Individuen treten in der Fraktion 125-250 μm in ähnlichen Häufigkeiten wie in der Fraktion 250-500 μm auf (Abb. 20d).

Kern PS2082 (Südatlantik) zeigt in seinem Kurvenverlauf bei den Kümmerform-Individuen innerhalb der Fraktion 125-250 μm einen ähnlichen Häufigkeitstrend wie im Europäischen Nordmeer: Maxima liegen an der Termination II (43 %) und im Holozän (73 %), Minima dagegen bei 133 ka (25 %) und im Stadium 2 (15 %) (Abb. 20d).

7. Ergebnisse

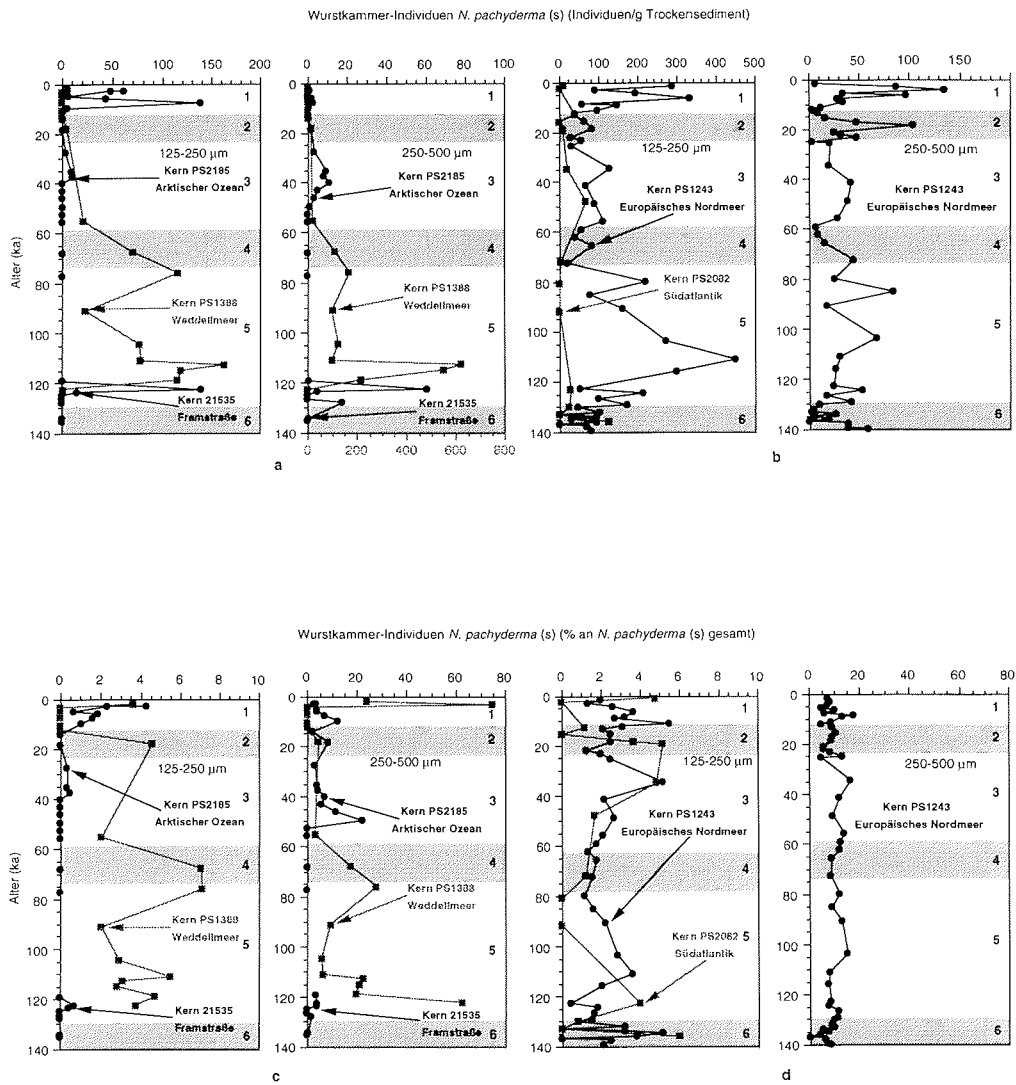


Abb. 19a-d: Wurstkammer-Individuen von *N. pachyderma* (s)
 a, b) Konzentrationen (Individuen/g Trockensediment)
 c, d) Häufigkeiten (%).

7. Ergebnisse

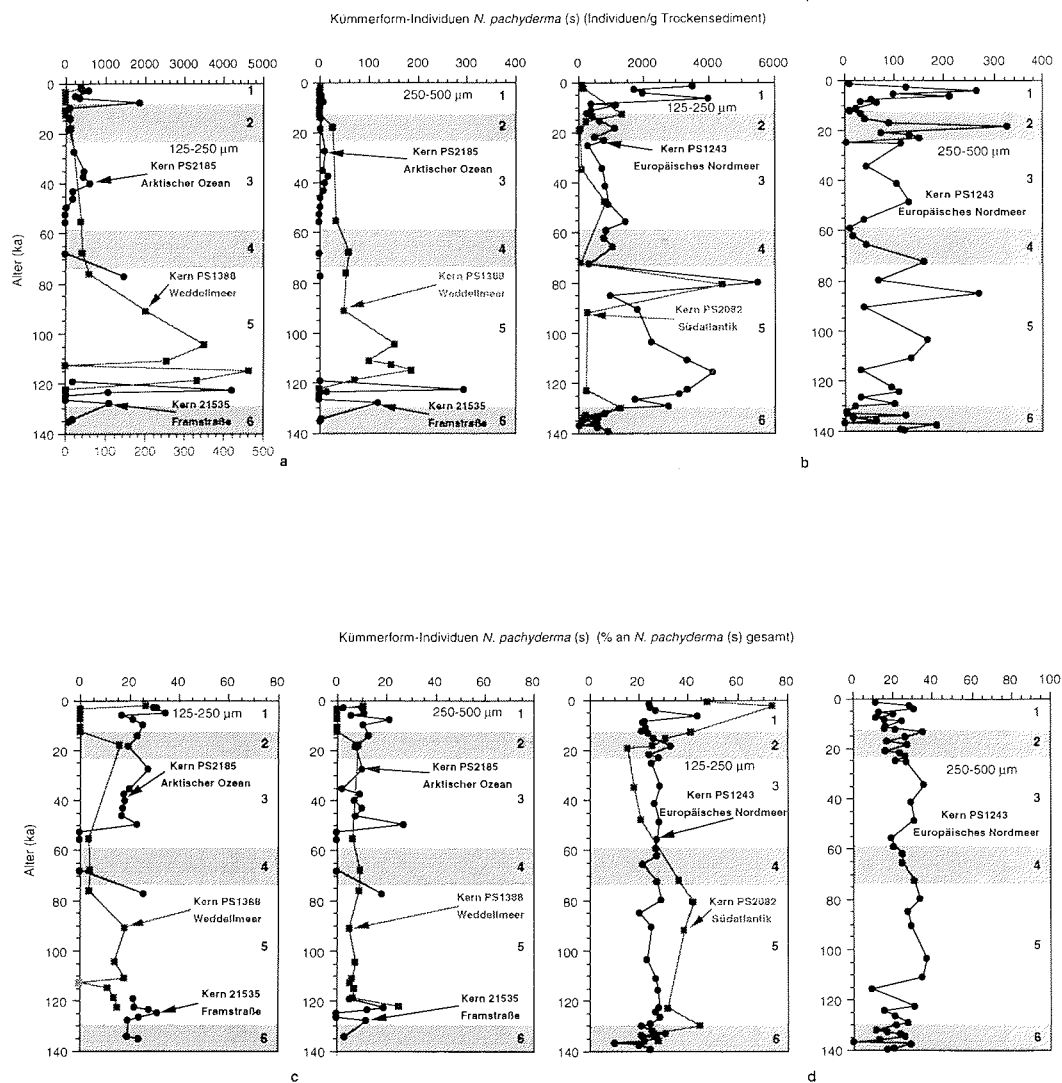


Abb. 20a-d: Kümmertform-Individuen von *N. pachyderma* (s)
a, b) Konzentrationen (Individuen/g Trockensediment)
c, d) Häufigkeiten (%).

7. Ergebnisse

Konzentration von aberranten Individuen

Die Konzentration von aberranten Individuen in der Fraktion 250-500 μm in der Framstraße ist im Substadium 5.51 mit maximal 45 Individuen/g am höchsten, während im zentralen Arktischen Ozean in der Zeitspanne 77 bis 2 ka die Konzentrationen nicht über 7 Individuen/g steigen. In der Fraktion 125-250 μm lassen sich dagegen wesentlich höhere Konzentrationen an aberranten Individuen beobachten: Maximale Werte in der Framstraße erreichen im Substadium 5.51 410 Individuen/g und liegen damit 9fach über entsprechenden Konzentrationen in der Fraktion 250-500 μm (Abb. 21a).

Im Weddellmeer sind Konzentrationen an aberranten Individuen in der Fraktion 250-500 μm bei 115 ka mit 125 Individuen/g am höchsten, nehmen dann aber mit einem leichten Maximum im jüngsten Abschnitt des Isotopenstadiums 5 (25 Individuen/g) zum Stadium 3 hin stark ab. Vom Stadium 3 bis 1 sind fast keine aberranten Individuen mehr vertreten. In der Fraktion 125-250 μm treten etwa doppelt so viele aberrante Individuen wie in der Fraktion 250-500 μm auf (Abb. 21a).

Individuenkonzentrationen an aberranten Individuen in Kern PS1243 (Europäisches Nordmeer) schwanken zwischen 0 und 70 Individuen/g und liegen damit wesentlich über den Konzentrationen im Arktischen Ozean (Abb. 21b). Höchste Konzentrationen treten im Isotopenstadium 5 bei 112 ka (20 Individuen/g) und im Holozän bei 5 ka (65 Individuen/g) auf. Konzentrationsminima über längere Zeitspannen (bis 9 ka Dauer) konzentrieren sich auf Kaltphasen (Isotopenstadien 6, 4 und 2). In der Fraktion 125-250 μm läßt sich das bevorzugte Auftreten von aberranten Individuen innerhalb warmer Zeitabschnitte deutlicher als in der Fraktion 250-500 μm nachweisen, da hier die Individuenzahlen/g wesentlich höher liegen: Kern PS1243 (Europäisches Nordmeer) zeigt hier höchste Konzentrationen im Substadium 5.51 (460 Individuen/g), der höchste Wert in den untersuchten Sedimentkernen, und im Holozän (190 Individuen/g). Im Isotopenstadium 6, an der Stadiengrenze 5/4 und an der Termination I treten geringste Individuenkonzentrationen auf (Abb. 21b).

Im Südatlantik konnten aberrante Individuen im Vergleich zum Europäischen Nordmeer nur in sehr geringen Konzentrationen beobachtet werden: In den Isotopenstadien 6, 4 und 2 sowie rezent wurden keine Individuen nachgewiesen. Erhöhte Konzentrationen treten in den Isotopenstadien 6 bei 137 ka (30 Individuen/g), 5 bei 92 ka (20 Individuen/g) und 3 bei 47 ka (20 Individuen/g) sowie an der Termination I (35 Individuen/g) auf. Damit liegen die Konzentrationen im Südatlantik um ein vielfaches unter entsprechenden Werten in Kern PS1243 (Europäisches Nordmeer) (Abb. 21b).

Häufigkeit von aberranten Individuen

Die Häufigkeitsverteilung von aberranten Individuen von *N. pachyderma* (s) an den Gesamtindividuen von *N. pachyderma* (s) zeigt in der Fraktion 250-500 μm in Kern 21535 (Framstraße) Anteile von 6,8 % im Isotopenstadium 5 bei 118 ka und in Kern PS2185 (Arktischer Ozean) Häufigkeiten bis zu 6 % im Stadium 3 bei 48 ka. Minima treten in der Framstraße bei 127 ka (0 %), im Arktischen Ozean im oberen Abschnitt des Isotopenstadiums 3 bei 28 ka (0,7 %) und im oberen Holozän bei 3 ka (0,5 %) auf. In der Framstraße (Kern 21535) liegen die Häufigkeiten in der Fraktion 125-250 μm deutlich unter vergleichbaren Werten in der Fraktion 250-500 μm : Höchste Individuenhäufigkeiten betragen im Substadium 5.51 2 %, im Arktischen Ozean sind ihre Häufigkeiten (bis zu 6 % bei 27 ka) mit denen in der Fraktion 250-500 μm vergleichbar. Das Maximum bei 27 ka in der Fraktion 125-250 μm fällt jedoch mit einem Minimum in der Fraktion 250-500 μm zusammen (Abb. 21c).

Aberrante Individuen aus dem Weddellmeer (Kern PS1388) liegen mit höchsten Anteilen im Holozän (5,2 %) unter maximalen Werten in der Framstraße im Stadium 5 und im Arktischen Ozean im Stadium 3. In der Fraktion 125-250 μm wurden Häufigkeiten in den Isotopenstadien 5 bis 2 von 0,4 bis 1,7 %, im Holozän dagegen bis zu 8,3 % ermittelt (Abb. 21c).

7. Ergebnisse

Die Häufigkeit aberranter Individuen in der Fraktion 250-500 μm beträgt im Europäischen Nordmeer (Kern PS1243) maximal 6,5 % bei 110 ka und entspricht damit maximalen Häufigkeiten in der Framstraße und dem Arktischen Ozean in dieser Fraktion (Abb. 21d). Zusätzliche Maxima treten im ältesten Bereich des Isotopenstadiums 3 bei 55 ka (6 %) und an der Termination I (6 %) auf. Häufigkeitsminima wurden im Isotopenstadium 6 bei 137 ka, im Isotopenstadium 2 bei 17 ka und im Holozän bei 5 ka festgestellt. In der Fraktion 125-250 μm liegen die Häufigkeiten aberranter Individuen mit Ausnahme des Isotopenstadiums 6 bei 137 ka (10 %) und einem sonstigen Häufigkeitsbereich von 0 bis 3,8 % niedriger als in der Fraktion 250-500 μm . Dabei zeigen sich weitere Häufigkeitsmaxima im Substadium 5.51 (4 %), im Stadium 2 (3,3 %) und im Holozän bei 10 ka (3,2 %) (Abb. 21d).

Aberrante Individuen erreichen im Südatlantik (Kern PS2082) in den Isotopenstadien 6 bei 137 ka (1,5 %) und 5 bei 92 ka (3,7 %) und an der Termination I (1,1 %) größte Häufigkeiten. Häufigkeitsminima treten im Substadium 5.51, im oberen Abschnitt des Isotopenstadiums 5 bei 80 ka, im Isotopenstadium 2 und im jüngsten Holozän auf (Abb. 21d).

7. Ergebnisse

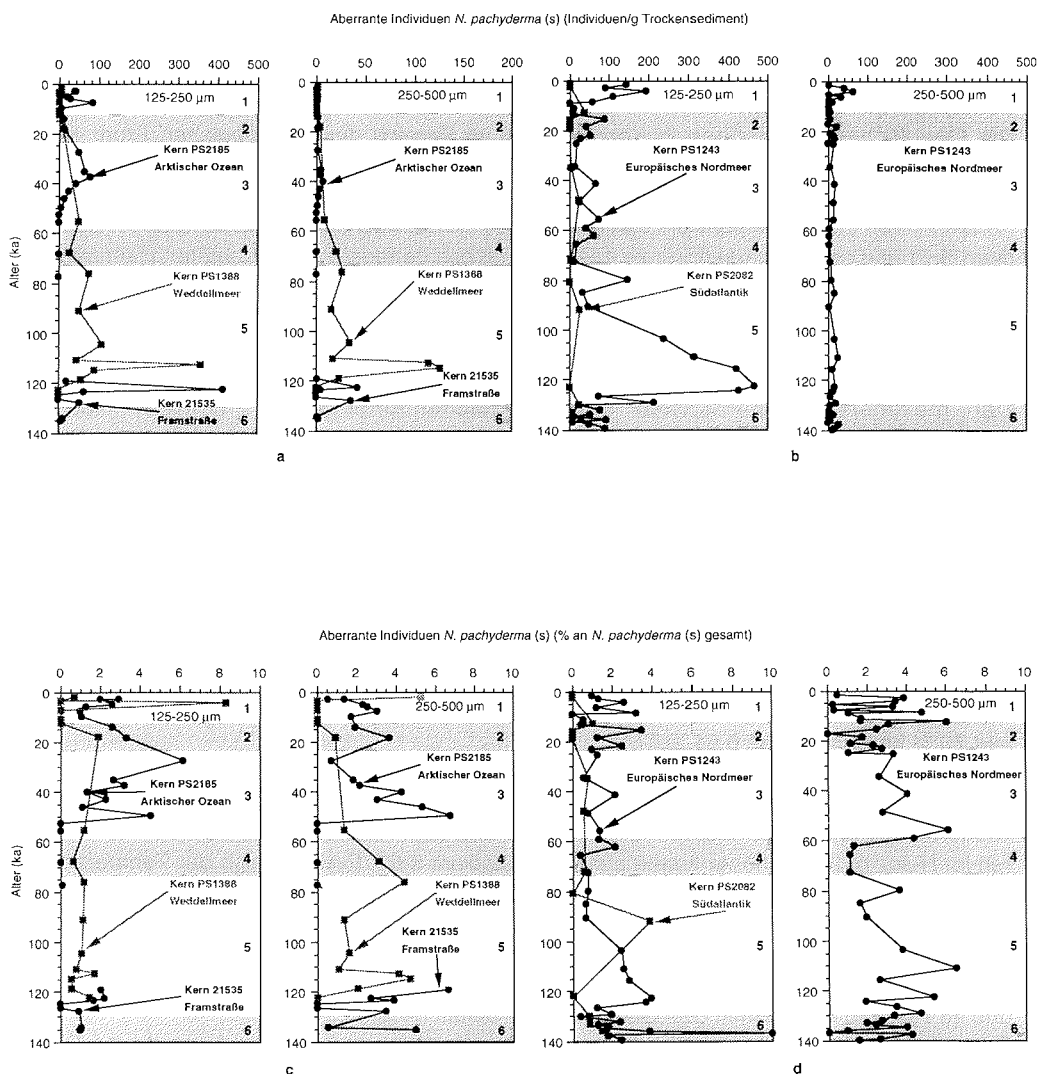


Abb. 21a-d: Aberrante Individuen von *N. pachyderma* (s)
 a, b) Konzentrationen (Individuen/g Trockensediment)
 c, d) Häufigkeiten (%).

7.5 Häufigkeitsschwankungen von *N. pachyderma* (s)/(d) und *T. quinqueloba* und Veränderung der Oberflächentemperaturen in Sedimentkernen des Südatlantiks

In Abb. 22a-d wurden die Oberflächentemperaturen, die von Niebler (1995) an planktischen Foraminiferen in Kern PS2076, von Brathauer (1996) an Radiolarien in Kern PS2082 und von Zielinski (1993) an Diatomeen in Kern 1768 ermittelt wurden, für den Zeitraum der letzten 140.000 Jahre dargestellt. Alle drei Temperaturberechnungen zeigen dabei die jeweiligen Sommertemperaturen an:

Die Oberflächentemperaturen in Kern PS2076 im Bereich der Subtropischen Front (Abb. 22a) weisen im Zeitraum der letzten 140.000 Jahre einen maximalen Temperaturhub von 7,8 °C auf. *N. pachyderma* (s) hat in Kern PS2076 einen Anteil an den gesamten planktischen Foraminiferen im Substadium 6.1 von maximal 20 %. Die höchsten Temperaturen im Substadium 5.51 und an der Stadiengrenze 4/3 fallen mit den geringsten beobachteten Häufigkeiten von *N. pachyderma* (s) zusammen.

N. pachyderma (d) ist mit maximal 30 % häufiger als *N. pachyderma* (s) und erreicht hier wie bei *N. pachyderma* (s) in Glazialen maximale Häufigkeiten (Abb. 22a). *T. quinqueloba* kommt bevorzugt in den Isotopenstadien 5 und 3 vor (5 bis 10 %).

Der maximale Temperaturhub der Oberflächentemperaturen in Kern PS2082 (subantarktische Zone) beträgt für die letzten 140.000 Jahre 9,3 °C (Abb. 22b, nach Daten aus Brathauer, 1996). Die höchsten Temperaturen treten im Substadium 5.51 mit 14,3 °C auf und liegen damit über den holozänen Maximaltemperaturen von 10,8 °C. Die niedrigsten Temperaturen in diesem Zeitraum liegen im Substadium 6.1 bei 5 °C und im Substadium 2.2 bei 5,7 °C, also um 0,7 °C höher als in 6.1. Entsprechende Häufigkeiten planktischer Foraminiferen zeigen vor allem in den Isotopenstadien 6 (maximal 73 %) und 4 (maximal 90 %) ein deutliches Vorherrschen von *N. pachyderma* (s). Die niedrigsten Werte liegen für *N. pachyderma* (s) im Substadium 5.51 (8 %) und im Holozän (18 %). *N. pachyderma* (d) erreicht in den Isotopenstadien 5, 3 und im Holozän Häufigkeiten von 10 %, während sie in den Kaltzeiten sehr selten oder überhaupt nicht nachzuweisen ist. *T. quinqueloba* tritt mit maximal 70 % im Substadium 5.51 auf (Abb. 22b).

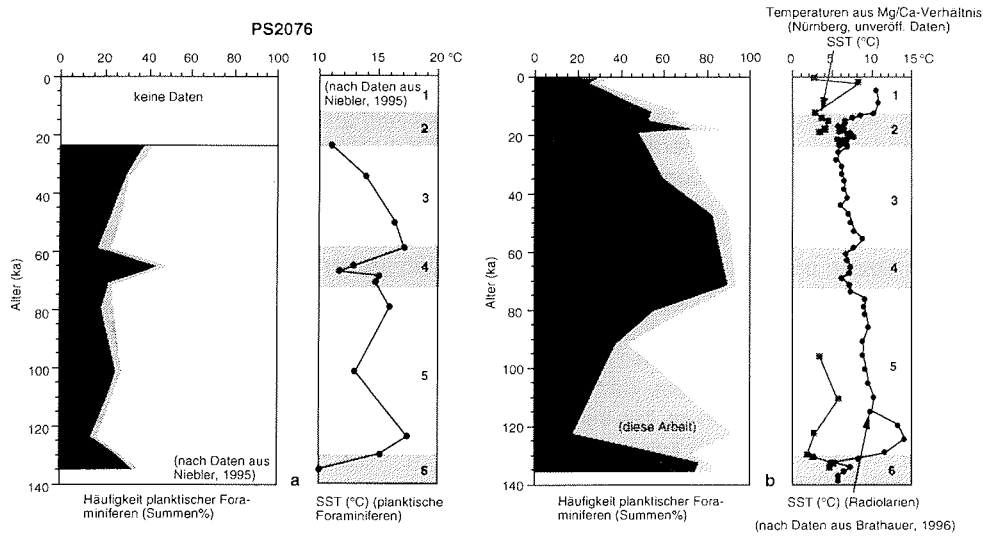
Kern PS1754 zwischen Polar- und Subantarktischer Front (Abb. 22c) zeigt Oberflächentemperaturen zwischen 2,5 und 8,3 °C (nach Daten aus Niebler, 1995). Ein Vergleich der Oberflächentemperaturen von Isotopenstadium 5.51 und dem Holozän zeigt, daß die Temperaturen im Holozän 2,3 °C höher liegen als im Substadium 5.51. Ein Vergleich der Temperaturen zwischen den Substadien 6.1 und 2.2 veranschaulicht die um 0,5 °C niedrigeren Temperaturen im Substadium 2.2. *N. pachyderma* (s) ist mit 40 % im Substadium 5.51 und im Holozän mit bis zu 100 % vertreten. *N. pachyderma* (d) spielt nur eine untergeordnete Rolle (0 bis 5 %). Ebenso ist *T. quinqueloba* mit ihrer Häufigkeit von 5 bis 10 % in den Isotopenstadien 5, 3 und im Holozän vor allem in den Glazialen sehr selten (Abb. 22c).

Da von Kern PS1388 keine Oberflächentemperaturdaten vorliegen, wurden die an Diatomeen ermittelten Oberflächentemperaturen aus Kern PS1768 (nach Daten aus Zielinski, 1993) für einen Vergleich mit den Häufigkeiten von *N. pachyderma* (s) und (d) aus Kern PS1388 herangezogen (Abb. 22d). Die Oberflächentemperaturen schwanken hier zwischen -1 °C im Substadium 6.1 und 3,2 °C im Holozän, ein im Vergleich zu den oben beschriebenen Kernen nur sehr geringer Temperaturhub von 4,2 °C. Die Temperaturen im Substadium 5.51 sind hier mit 2,5 °C um 0,7 °C niedriger als im Holozän. Dagegen liegen die niedrigsten Temperaturen im Substadium 6.1 und im Substadium 2.2 auf ähnlichem Niveau. Bei der entsprechenden Häufigkeitsverteilung von *N. pachyderma* ist keine Korrelation zu beobachten, vor allem im Substadium 5.51 sinkt der Anteil rechtsdrehender Individuen auf 1 %. Dennoch

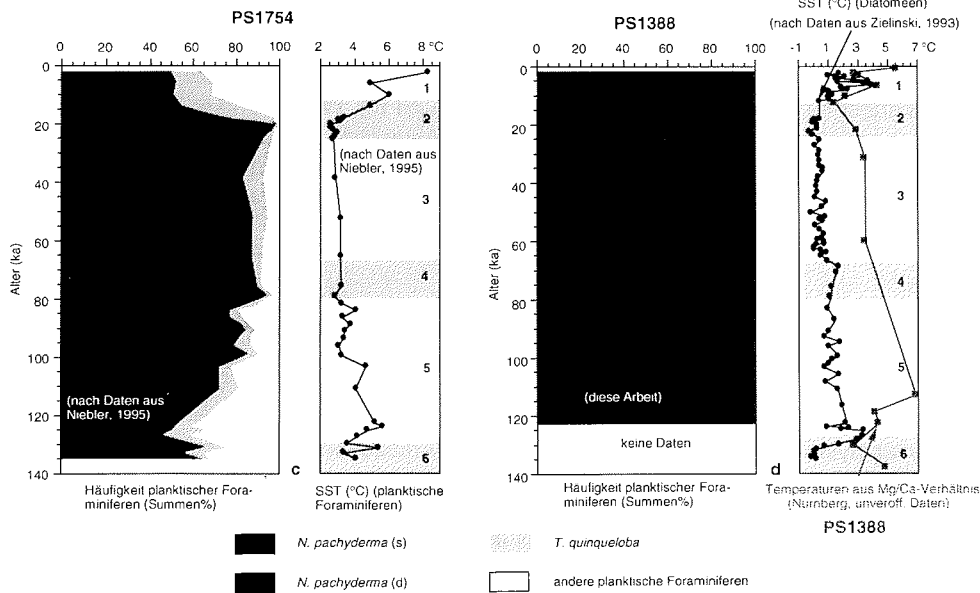
7. Ergebnisse

kann im Bereich der Isotopenstadien 5 bis 2 *N. pachyderma* (d) durchgehend identifiziert werden (Abb. 22d).

PS2082



(nach Daten aus Brathauer, 1996)



Temperaturen aus Mg/Ca-Verhältnis (Nürnberg, unveröff. Daten)

PS1388



Abb. 22a-d: Häufigkeit von *N. pachyderma* (s)/(d) und *T. quinqueloba* und Oberflächentemperaturen in Sedimentkernen des Südatlantiks (nach Daten aus Zielinski (1993), Niebler (1995), Brathauer (1996), Nürnberg (unveröffentl. Daten) und Daten aus dieser Arbeit).

8. DISKUSSION

8.1 Morphologische Untersuchungen an *N. pachyderma* (s)

Die Morphologie der Gehäuse von *N. pachyderma* (s) im Arktischen Ozean und im Weddellmeer zeigt nur graduelle Unterschiede hinsichtlich Gesamtgestalt und Einzelmerkmalen (Oberflächenstruktur, Kalzifizierung, Porendichte, Mündungsgröße und Kammergestalt, -größe und -zahl) von Individuen. Die vergleichenden Ergebnisse der morphologischen Untersuchungen dieser Arbeit stimmen gut mit den Ergebnissen von Kennett (1970) überein, der anhand morphologischer und biometrischer Untersuchungen *N. pachyderma* aus dem Arktischen Ozean und antarktischen Gewässern miteinander verglich. Zusätzliche Isotopenuntersuchungen von Healy-Williams (1992) zeigen eine vergleichbare isotopische Zusammensetzung von Gehäusen von *N. pachyderma* (s) aus dem Nordatlantik und Südatlantik sowie einen vergleichbaren Vitaleffekt.

Die morphologischen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit deuten darauf hin, daß die *N. pachyderma* (s)-Populationen im Arktischen Ozean, Europäischem Nordmeer und Südatlantik (siehe auch Kennett, 1970) keine verschiedenen Arten sind, sondern als Unterarten aufgefaßt werden können.

Sowohl im Arktischen Ozean als auch im Weddellmeer besitzt *N. pachyderma* (s) eine für sie typische hohe morphologische Bandbreite (Tafeln I bis III). Dabei zeigen gleichgroße Individuen aus diesen beiden Meeresbereichen keine grundlegenden Unterschiede hinsichtlich Kammeranzahl und Porendichte. Geringe Unterschiede in der Morphologie bei *N. pachyderma* (s) aus dem Weddellmeer und dem Arktischen Ozean in der Gesamtgestalt (rundlicher im Weddellmeer, Tafel I) und in der Form der Endkammer (aufgeblähter im Weddellmeer, Tafel I) deuten auf eine ähnliche Lebensweise hin. Charakteristisch für Gehäuse aus dem Arktischen Ozean ist eine wulstförmige Lippe, die auch von Kennett (1970) beschrieben wurde. In den beiden Meeresbereichen kommen grundsätzlich die drei in dieser Arbeit beschriebenen Phänotypgruppen vor (Tafeln II und III), Wurstkammer-Individuen mit stark verlängerten Kammern treten aber bevorzugt im Arktischen Ozean auf (Tafel II, Abb. 1 und 2). Die deutlich ausgeprägten Wurstkammern bei Gehäusen aus dem Arktischen Ozean können als Reaktion auf geringe Salinitäten in der Oberflächenmischwasserschicht angesehen werden.

8.2 Veränderung der Gehäusegröße und -morphologie als mögliche Reaktion auf unterschiedliche Umweltbedingungen

8.2.1 Lebensbedingungen von *N. pachyderma* (s)

Die Größenanalysen an *N. pachyderma* (s) aus dem Arktischen Ozean und dem Weddellmeer an 11 Fraktionen zwischen 100-500 µm zeigen:

- a) Die Konzentrationen von *N. pachyderma* (s) sind im Holozän im zentralen Arktischen Ozean (Kern PS2185) ca. 1.600fach höher als im Weddellmeer, während sie im Stadium 2 nur noch dreimal so hoch sind (Abb. 8a, 9a).
- b) Eine Verschiebung der Größenklassen ist nur im Weddellmeer deutlich zu beobachten, während im Arktischen Ozean die Gehäusegrößen weitgehend gleich bleiben, die Konzentrationen von *N. pachyderma* (s) aber stark schwanken (Abb. 8a, 9a): Die kleinen Individuen in den Subfraktionen 100-125 µm und 125-150 µm nehmen vom Isotopenstadium 2 zum Holozän stark zu. Große Individuen finden sich im Weddellmeer im Isotopenstadium 6. Indi-

8. Diskussion

viduen mit "Riesenwuchs" (Gehäusedurchmesser z.T. $>500 \mu\text{m}$) sind im Stadium 2 ausgebildet (Abb. 13a).

Malmgren & Kennett (1978) konnten bei der flachlebenden planktischen Foraminiferenart *Globigerina bulloides* (Hemleben et al., 1989) mittlere Gehäusedurchmesser zwischen 300 und $245 \mu\text{m}$ anhand zweier Kerne im Südpazifik ermitteln und sie mit den entsprechenden Isotopenkurven korrelieren. Danach weisen große Gehäuse auf kältere und kleinere Gehäuse auf wärmere Oberflächenwassermassen hin. Größenmessungen an *N. pachyderma* im Südpazifik zwischen 40° und 62°S (Malmgren & Kennett, 1972) ergaben keine generelle Zunahme der mittleren Gehäusegrößen mit zunehmender geographischer Breite und damit keine kälteren Oberflächenwassermassen. Ein Vergleich der Temperatur- und Salzgehalte im T/S-Diagramm an den Positionen der Oberflächenproben im Europäischen Nordmeer und Südatlantik nach Levitus (1982) zeigt, daß der Temperaturbereich in 100 m Wassertiefe in beiden Meeresregionen zwischen $-1,5^\circ \text{C}$ und $11,5^\circ \text{C}$ ungefähr übereinstimmt, im Südatlantik aber um bis zu 1 geringere Salzgehalte angetroffen werden als im Europäischen Nordmeer (Abb. 23a). Die Größe der Gehäusedurchmesser von *N. pachyderma* (s) weicht aber in den Oberflächenproben beider Meeresgebiete nur unwesentlich voneinander ab (Abb. 23b), so daß die Unterschiede im Salzgehalt nicht in den Gehäusegrößen von *N. pachyderma* (s) abgebildet werden. Deshalb dürften die sehr geringen Unterschiede in den Temperaturverhältnissen zu den ähnlichen Gehäusegrößen führen.

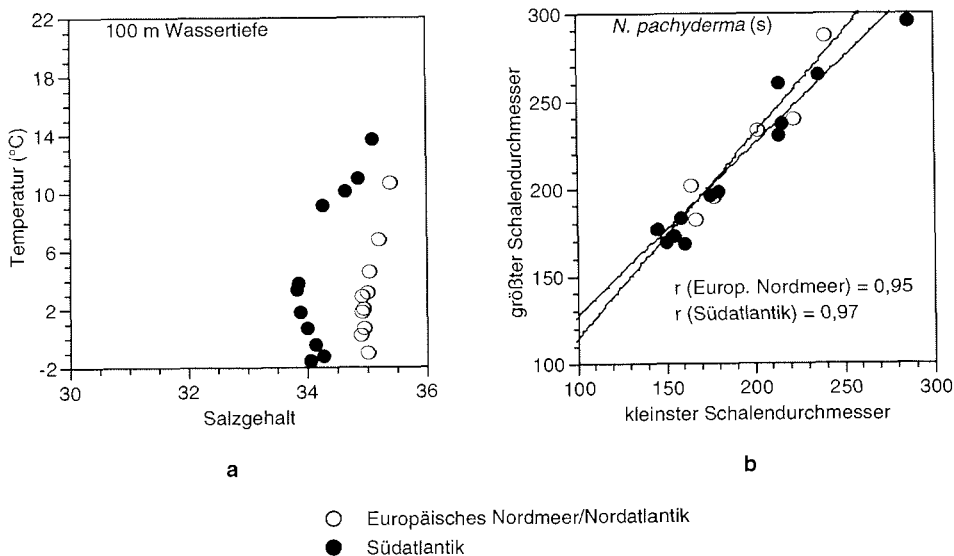


Abb. 23a, b: Vergleich der Temperatur- und Salzgehaltsdaten an den Positionen der bearbeiteten Oberflächenproben (nach Levitus(1982)) (a) mit den Schalendurchmessern von *N. pachyderma* (s) in den Oberflächenproben (b).

8. Diskussion

Die hohen Variationen im Größenbereich von *N. pachyderma* (s) in Kern PS1388 (Weddellmeer) im Gegensatz zu Kern PS2185 (Arktischer Ozean) deuten auf eine unterschiedliche Lebensweise hin: In Hälterungsversuchen von Spindler (1996) weist *N. pachyderma* im Meereis des Weddellmeeres bei stark erhöhten Salzgehalten z.T. sehr große Gehäuse auf und bildet - mit einer zeitlichen Verzögerung - genauso viele Kammern wie bei Individuen unter normalen Salzgehaltsbedingungen. Diese spezielle Anpassung an die extremen Salzgehalte im Meereis des Weddellmeeres (kurzfristig >40) (Spindler, 1996) und die wechselnde Anpassung an eine Lebensweise in der Wassersäule im Sommer und im Meereis im Winter (Berberich, 1996) könnte sich in den unterschiedlichen Größenbereichen in Kern PS1388 (Abb. 9a) widerspiegeln. Im Arktischen Ozean lebt *N. pachyderma* (s) grundsätzlich nur in der Wassersäule; Individuen in arktischem Meereis sind nur sehr selten nachgewiesen worden (Spindler, 1990, 1995). Hier ist für das Habitat bis maximal 200 m Wassertiefe (Bauch et al., 1997) eine ständige oder wechselnde Eisbedeckung von entscheidender Bedeutung: So wiesen Kohfeld et al. (1996) in einer Polynya vor Nordostgrönland nach, daß der *N. pachyderma* (s)-Fluß dort nur während des Sommermonats August bei eisfreien Bedingungen stattfindet. Donner & Wefer (1994) ermittelten dagegen sehr hohe Flußraten während der Sommermonate Januar bis März im Weddellmeer. Kern PS2185 liegt dagegen am Lomonosov-Rücken unter ganzjähriger Eisbedeckung (Abb. 2a). Die durchschnittliche Habitatstiefe von 80 m im nördlichen Nansenbecken, die von Bauch et al. (1997) anhand von Isotopenuntersuchungen an Planktonnetzfangen *N. pachyderma* (s) durchgeführt wurden, bildet dabei die untere Verbreitungsgrenze von höchsten Häufigkeiten, die von Kohfeld et al. (1996) vor Nordostgrönland festgestellt wurden. Diese Häufigkeiten von *N. pachyderma* (s) konnten mit dem Chlorophyll-Maximum korreliert werden. Im Arktischen Ozean dürfte deshalb bei ständiger Eisbedeckung die Dicke der Eisschicht und die Neuschneeauflage die Phytoplanktonproduktion in der darunterliegenden Wassersäule maßgeblich beeinflussen. Danach würden im Arktischen Ozean die Konzentrationen *N. pachyderma* (s) bei hohem Nahrungsangebot stark zunehmen, nicht aber die Gehäusegrößen: Im Isotopenstadium 3 und im Holozän treten hohe Individuenkonzentrationen auf, im Stadium 2 bei einer vermutlich sehr dicken kompakten Eisdecke und einer nur geringen Phytoplanktonproduktion nehmen die Individuenzahlen auf ein Bruchteil ab (Abb. 8a).

Neben dem Salzgehalt, der die Morphologie eines Individuums maßgeblich beeinflussen und zu überlangem Kammerwachstum (Wurstkammern) führen dürfte, ist vor allem das Nahrungsangebot für die Größe eines Individuums ein entscheidender Faktor (Spindler et al., 1984). Danach bestehen sowohl in der Verteilung der Gehäusegrößen als auch bei den Individuenkonzentrationen zwischen *N. pachyderma* (s) im Arktischen Ozean und im Weddellmeer klare Unterschiede: Die Größenspektren der mittleren Gehäusedurchmesser zeigen, daß im Weddellmeer im Vergleich zum Arktischen Ozean im Isotopenstadium 2 sehr große Individuen mit mittleren Gehäusedurchmessern von 400 µm auftreten (Abb. 13a). Eine zufriedenstellende Erklärung für dieses Phänomen scheint schwierig: Nach Grobe & Mackensen (1992) treten Lösungsprozesse im Glazial weitgehend zurück, da bei geringerer Produktivität die Lysokline bis auf 4.000 m Wassertiefe absinkt, also weit unter der Wassertiefe an der Kernposition von Kern PS1388 mit 2.531 m. In den Interglazialen steigt dagegen die Lysokline bis auf 2.000 m an, wodurch vor allem kleine Individuen bevorzugt weggelöst werden können (Berger & Piper, 1972). Berberich (1996) berichtet, daß sich große Individuen im Meereis anreichern, während kleinere Individuen durch Wellengang und das Herausspülen der Solelösung in die darunterliegende Wassersäule verfrachtet werden. Zudem können sich vor allem große Individuen bevorzugt mit ihren Rhizopodien an den Seitenwänden der Solekanälchen festhaften. Das Nahrungsangebot ist für *N. pachyderma* (s) im Meereis des Weddellmeeres ideal: Nach Dieckmann & Kipfstuhl (1995) sind die Lebensbedingungen für Algen im Meereis aufgrund des Schutzes vor Freßfeinden und eines konstant hohen

8. Diskussion

Lichteintrages sehr gut, so daß bei winterlichen Verhältnissen im Meereis eine hohe Konzentration von Eisalgen auftritt. Das Meereis bietet *N. pachyderma* Schutz vor Freißfeinden und, in Form von Eisalgen, ein reichhaltiges Nahrungsangebot (Spindler, 1995). Diese sehr großen Individuen reichern sich im Meereis des Weddellmeeres an und können dort weiterwachsen, was als "Überwinterungsstrategie" gedeutet wird (Spindler & Dieckmann, 1986). Damit könnten die "Riesenschalen" im Isotopenstadium 2 als spezielle Anpassung an die extremen Verhältnisse in den bis zu 1 mm großen Solekanälchen im Meereis (Dieckmann et al., 1991) aufgefaßt werden.

8.2.2 Lebensbedingungen von *N. pachyderma* (d)

Die Größenverteilung von *N. pachyderma* (d) im Arktischen Ozean ähnelt der von *N. pachyderma* (s). Bei *N. pachyderma* (d) nimmt die Konzentration der Individuen vom Isotopenstadium 2 bis zum Holozän in den Fraktionen 100-125 µm und 125-150 µm stark zu, während Gehäusegrößen zwischen 100-250 µm nur geringfügig variieren (Abb. 8b). Lebende Individuen von *N. pachyderma* (d) konnten von Carstens et al. (1997) im Bereich der Framstraße und von Carstens (unveröffentl. Daten) im Arktischen Ozean nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse deuten auf eine mögliche Verbreitung von einigen Individuen von *N. pachyderma* (d) im zentralen Arktischen Ozean hin. Im Europäischen Nordmeer weist jedoch *N. pachyderma* (d) ein unterschiedliches Größenspektrum auf als vergleichbare Individuen im Arktischen Ozean (Abb. 10a), d.h. bei einer möglichen Verfrachtung vom Europäischen Nordmeer in den zentralen Arktischen Ozean müßte sich die Größe der Gehäuse geändert haben oder die Individuen stammen nicht aus dem Europäischen Nordmeer. Vergleichende ontogenetische Untersuchungen über das Kammerwachstum zwischen *N. pachyderma* (s) und (d) aus dem Weddellmeer belegen ein ähnliches Habitat dieser beiden Phänotypen. Danach dürfte auch das Weddellmeer für *N. pachyderma* (d) als Verbreitungsgebiet in Frage kommen. Dies wird zusätzlich durch ein Vorkommen von *N. pachyderma* (d) von bis zu 5 % im Zeitraum 122 bis 20 ka im Weddellmeer belegt (Abb. 16a).

8.2.3 Anpassung von *T. quinqueloba* an unterschiedliche Oberflächenwassermassen

Bauch (1993, 1994) konnte anhand von detaillierten biometrischen Analysen an der subpolaren planktischen Foraminiferenart *T. quinqueloba* innerhalb der Fraktion 75-312,5 µm nachweisen, daß ihre Gehäuse im Isotopenstadium 2 durchschnittlich kleiner sind als im Holozän. Dabei fallen jedoch höchste Individuenzahlen von *T. quinqueloba* im holozänen Klimaoptimum nicht mit größten Gehäusedurchmessern an denselben Individuen zusammen (Bauch & Weinelt, 1997), ein Hinweis darauf, daß die Gehäusegröße nur ein Indiz für die Anpassung an das Habitat darstellt.

T. quinqueloba ist die häufigste planktische Foraminiferenart im Europäischen Nordmeer (Bauch, 1994) und tritt im Eem (Substadium 5.51) in höchsten Individuenzahlen auf. Obwohl *T. quinqueloba* als bestachelte planktische Foraminiferenart Symbionten trägt, und sie an die obersten 50 m der Wassersäule angepaßt ist (Hemleben et al., 1989; Carstens et al., 1997), deuten Planktonnetzfänge und Untersuchungen mit Sedimentfallen ein erheblich tieferes Vorkommen von *T. quinqueloba* unterhalb der Pyknokline an (Carstens, unveröffentl. Daten). Das erhöhte Auftreten von großen Gehäusen dokumentiert die optimale Anpassung an die relativ warmen Wassermassen des Norwegenstromes (Bauch, 1994). Selbst wenn mit der in dieser Arbeit bearbeiteten Fraktion 100-500 µm im Vergleich zu Bauch (1994) ein Großteil der Individuen von *T. quinqueloba* nicht erfaßt werden, konnten größere Gehäuse im Substadium 5.51 und im Holozän im Vergleich zum Isotopenstadium 2 nachgewiesen werden. Dabei sind die Gehäuse im Substadium 5.51 kleiner und ihre Konzentration liegt um ein Drittel niedriger als vergleichbare Gehäuse im Holozän (Abb. 10c). Die Analysen dokumentieren auch hier gute Lebensverhältnisse innerhalb der Wassermassen des Norwegenstro-

8. Diskussion

mes in den Stadien 5 und 1. Nach Bauch & Weinelt (1997) zeigen hohe Konzentrationen von *T. quinqueloba* deren Anpassung an normale Salzgehalte im Holozän.

Neben Temperatur und Salzgehalt der Oberflächenwassermassen dürfte aufgrund der Symbionten von *T. quinqueloba* die einstrahlende Lichtmenge von großer Bedeutung sein. In Hälterungsversuchen mit der bestachelten symbiontentragenden planktischen Foraminiferenart *Globigerinoides sacculifer* führten intensive Lichtmengen zu großen Gehäusedurchmessern (Spero & Lea, 1993). Danach könnte auch die eingestrahlte Lichtmenge, abhängig von der geographischen Breite, zu Veränderungen in der Gehäusegröße bei *T. quinqueloba* führen.

Die Häufigkeitsverteilung von *T. quinqueloba* im Südatlantik zeigt im Zeitraum vom letzten Glazial bis heute nur geringfügig größere Gehäuse bei 18 ka im Vergleich zum jüngsten Holozän, dafür jedoch eine deutliche Zunahme der Individuenhäufigkeit in der Fraktion 100-125 µm von 15 ka bis 0,77 ka (Abb. 11b). Im Südatlantik scheint folglich die Gehäusegröße hinter der Individuenhäufigkeit als Unterscheidungsmerkmal zwischen glazialen und interglazialen Bedingungen zurückzutreten. Eine Erklärung hierfür könnte in dem gleichförmigen noch spürbaren Einfluß warmer Wassermassen des Agulhas-Rückstromes im Holozän an dieser Kernposition sein (Abb. 4a). Winter & Martin (1990) belegten durch die Analyse kalkigen Nannoplanktons in Sedimentkernen nur geringfügige Schwankungen zwischen Warm- und Kaltphasen im Einstrom warmer Wassermassen des Agulhas-Stromes in den Südatlantik. Zusätzlich deuten nur geringfügige Schwankungen in den Oberflächentemperaturen in Kern PS2082 innerhalb der Isotopenstadien 4 bis 2 mit maximal 7 °C auf diese Bedingungen hin (Brathauer, 1996). Im Isotopenstadium 2 verlagerte sich die Subantarktische Front um etwa 2 bis 3° nach Norden und zog damit kältere Wassermassen des Subantarktischen Oberflächenwassers (Peterson & Whitworth, 1989) nach sich (Brathauer, 1996) (Abb. 4a). Bé & Hutson (1977) wiesen *T. quinqueloba* grundsätzlich der polar-subpolaren Vergesellschaftung planktischer Foraminiferen im südlichen Indischen Ozean zu und legten die nördliche Verbreitungsgrenze im Südpazifik in Oberflächenproben bei 40° S fest. Kern PS2076 mit nur sehr geringen Anteilen von *T. quinqueloba* von 2 bis 7 % (Abb. 22a) liegt nur geringfügig südlich dieser Verbreitungsgrenze (Niebler, 1995). Niebler (1995) nimmt an dieser Kernposition Schwankungen der Subtropischen Front von bis zu 3° im Vergleich zu ihrer heutigen Lage zwischen glazial-interglazialen Klimawechseln an. Damit dürfte *T. quinqueloba* an dieser Kernposition stark wechselnden Bedingungen unterschiedlicher Oberflächenwassermassen innerhalb der letzten 140.000 Jahren ausgesetzt gewesen sein: Während der Glaziale verschiebt sich dann die Subtropische Front nach Norden, die Oberflächenwassermassen werden vom kälteren, salzärmeren SASW (Subantarktisches Oberflächenwasser) (Lutjeharms et al., 1985) geprägt, in Interglazialen dagegen vom SACW (Südatlantisches Zentralwasser). Da *T. quinqueloba* jedoch vorzugsweise in subpolaren Wassermassen lebt (Bé & Hutson, 1977), tritt sie in Kern PS2076 nur sehr selten auf (Abb. 22a).

Boltovskoy et al. (1996) bearbeiteten planktische Foraminiferen in Planktonnetzfangen auf einem N-S-Profil im südwestlichen Südatlantik entlang der Ostküste von Südamerika. Sie ordneten dabei *T. quinqueloba* in die Kaltwasservergesellschaftungen planktischer Foraminiferen ein und ermittelten das nördlichste Vorkommen von *T. quinqueloba* im Südatlantik bei 30° S. Ihre Ergebnisse bestätigen die rezente Häufigkeit von *T. quinqueloba* von bis zu 8 % in Kern PS2082 bei 43° S (Abb. 22b). Anhand von Oberflächenproben läßt sich die südliche Verbreitungsgrenze von *T. quinqueloba* im Südatlantik bis 70° S verfolgen (Abb. 14b) und fällt damit in die polare Zone (Bé, 1977). Eine deutliche Häufigkeitszunahme nördlich 43° S (Abb. 14b) fällt mit der Lage der Subtropischen Front (Abb. 4a) zusammen. Die Grenzen ihrer Verbreitung in Oberflächenproben können nicht exakt festgelegt werden, ein bevorzugtes Auftreten zwischen 37° und 45° S ist aber wahrscheinlich. Dieses Häufigkeitsmaximum stimmt teilweise mit dem Verbreitungsmaximum lebender Individuen von *T. quinqueloba* aus

8. Diskussion

den obersten 50 m der Wassersäule zwischen 37 und 56° S im westlichen Südatlantik überein (Boltovskoy et al., 1996). Die höchsten Anteile von *T. quinqueloba* in Sedimentkernen des Südatlantiks wurden mit 60 % im Substadium 5.51 in Kern PS2082 gefunden, gekennzeichnet durch sehr hohe Oberflächentemperaturen von 13,8 °C (Abb. 22b) (Brathauer, 1996). Dort treten sie mit maximalen Individuenzahlen in den Isotopenstadien 5 und 3 auf. Besonders das Auftreten im Isotopenstadium 5, welches durch warme Oberflächenwassermassen gekennzeichnet ist (Abb. 22b) (Brathauer, 1996), läßt ihre Anpassung an interglaziale Bedingungen vermuten. Kern PS2082 liegt nach der Vergesellschaftung planktischer Foraminiferen biogeographisch in der subpolaren Zone (Bé & Hutson, 1977). Diese biogeographisch definierte Zone stimmt mit dem Vorkommen planktischer Foraminiferen in der subarktischen Zone im Nordatlantik überein (Bé, 1977), in die Kern 23059 fällt. Im Europäischen Nordmeer (Kern 23059) scheint *T. quinqueloba* vor allem die wärmeren Wassermassen des Norwegengstromes (Abb. 3a) als Habitat zu bevorzugen: So treten rezent größte Häufigkeiten von *T. quinqueloba* in der Fraktion 125-250 µm im Europäischen Nordmeer mit 15 bis 40 % an der planktischen Foraminiferenfauna im Bereich des Norwegen- und Westspitzbergenstromes zwischen 65,5 und 77° N auf (Abb. 14a). Sie spiegeln somit ihr bevorzugtes Auftreten in den relativ warmen Wassermassen des Norwegen- und Westspitzbergen-Stromes wider. Bauch (1993) konnte sehr hohe Individuenkonzentrationen auch im Vermischungsbereich zwischen der Atlantischen und Arktischen Domäne im Europäischen Nordmeer feststellen.

Mit diesen biometrischen Analysen läßt sich auch nachweisen, daß im Arktischen Ozean bei *N. pachyderma* (s) im Holozän sowie im Europäischen Nordmeer bei *N. pachyderma* (s) und *T. quinqueloba* in der "kleinen" Fraktion 100-150 µm vor allem im Isotopenstadium 2 und im Holozän hohe Individuenkonzentrationen auftreten (Abb. 8a, 10a, c). Der Nachweis von hohen Individuenkonzentrationen und ihren Schwankungen in dieser Fraktion ist deshalb so wichtig, weil in die Berechnung von Oberflächentemperaturen mittels planktischer Foraminiferen nur Individuen aus der Fraktion >150 µm eingehen (Pflaumann et al., 1996; eine Übersicht über frühere Arbeiten über Oberflächentemperaturen geben Pflaumann et al., 1996). Niebler (1995) setzte bei seiner Berechnung von Oberflächentemperaturen die Untergrenze der bearbeiteten Fraktion bei 125 µm an, um damit auch kleinwüchsige Arten wie *T. quinqueloba* in seine Berechnungen miteinbeziehen zu können. Die Fraktion 100-125 µm bleibt aber auch hier unberücksichtigt, innerhalb der gerade bei *T. quinqueloba* die Individuenkonzentration stark schwankt (Abb. 10c). Bauch (1994) wies in seinen biometrischen Untersuchungen nach, daß einige wenige Individuen von *T. quinqueloba* auch in der Fraktion 75-100 µm auftreten. Die Ergebnisse dieser Arbeit an *N. pachyderma* (s) in Kern PS2185 (Arktischer Ozean) (Abb. 8a) belegen, daß im jüngeren Holozän bei einer Vernachlässigung der Fraktionen 100-150 µm bei der Berechnung der Oberflächentemperaturen etwa 70 % (!) der Individuen unberücksichtigt gelassen werden. Eine Festlegung auf die Fraktion >150 µm bei der Transfer-Funktions-Methode (Imbrie & Kipp, 1971) scheint bei einer starken zeitlichen Variabilität des Größenspektrums, wie bei Kern PS1388 (Weddellmeer) ersichtlich, fraglich zu sein: Die Erfassung von Variationen der Gehäusegrößen und -konzentrationen anhand biometrischer Analysen (Bauch, 1993, 1994) sollten für die Berechnung von Oberflächentemperaturen wichtiger planktischer Foraminiferen bei verschiedenen Oberflächenwassermassen verstärkt durchgeführt werden. Dadurch würde ein möglichst großer Anteil der Individuen in die Berechnung miteinfließen und so die paläo-ozeanographische Aussagekraft der nach Imbrie & Kipp (1971) ermittelten Oberflächentemperaturen wesentlich erhöht werden.

8.3 Vergleich von SST-Oberflächentemperaturen und aus Mg/Ca-Verhältnissen ermittelten Oberflächentemperaturen an planktischen Foraminiferen im Südatlantik

Die hohen Oberflächentemperaturen in Kern PS2076 im Vergleich zu Kern PS2082 sind bedingt durch die Kernposition von Kern PS2076 nördlich der Subtropischen Front: Hier findet ein Temperatursprung von 5 °C zwischen der südlich gelegenen subantarktischen Zone und dem nördlich gelegenen subtropischen Wirbel statt (Gersonde & Hempel, 1990; Niebler, 1995). Die hohen Oberflächentemperaturen von Kern PS2076 scheinen im Vergleich zu denen aus Kern PS2082 sehr hoch, obwohl die tief in der Wassersäule lebende planktische Foraminiferenart *G. inflata* (>100 m) (Hemleben et al., 1989) in die Berechnungen bei Niebler (1995) miteingeht. Andererseits sollten hier größere Temperaturunterschiede als bei Kern PS2082 zu beobachten sein, da dieser Kern im Schwankungsbereich der Subtropischen Front liegt, die im Wechsel zwischen Glazialen und Interglazialen nach Niebler (1995) um 3° longitudinal schwankt. In die Berechnung der Oberflächentemperaturen in Kern PS1768 gingen hingegen nur flachlebende Diatomeen ein, deren Hauptverbreitungsgebiet in den obersten 50 m der Wassersäule liegt (Zielinski, 1993). Auch bei der Berechnung der Oberflächentemperaturen anhand von Radiolarien mit der Transfer-Funktions-Methode wurden tieferlebende Formen ausgeschlossen (Brathauer, 1996).

Der Vergleich der "Radiolarien-Oberflächentemperaturen" von Brathauer (1996) und den Mg/Ca-Verhältnissen an Gehäusen von *N. pachyderma* (s) ermittelten Temperaturen (Nürnberg, unveröffentl. Daten) zeigt sehr geringe "Mg-Temperaturwerte", die mit durchschnittlich 4 °C um 4,5 °C unter den "Radiolarien-Temperaturen" liegen. Nimmt man die mittlere Habitatstiefe von *N. pachyderma* (s) bei 100 m Wassertiefe an (Hemleben et al., 1989), so liegen die "Mg-Temperaturen" immer noch 4 °C unter den rezenten Temperaturen an dieser Kernposition in 100 m Wassertiefe (Levitus, 1982). Die "Mg-Temperaturen" im Bereich der Termination II liegen in Kern PS2082 um 7,5 °C niedriger als die Radiolarien-SST und erreichen im Isotopenstadium 5 die höchsten Werte bei 112 ka: Sie eilen damit den höchsten "Radiolarien-SST" im Substadium 5.51 um 10 ka voraus. Die "Mg-Temperaturen" stimmen dagegen im Isotopenstadium 2 gut mit den "Radiolarien-SST" überein, während sie im Holozän sehr starken Schwankungen von bis zu 9 °C unterworfen sind (Abb. 22b) (Nürnberg, unveröffentl. Daten).

In Kern PS1388 ergeben die Berechnungen aus Mg/Ca-Verhältnissen Temperaturen, die gut mit den Diatomeen-SST von Zielinski (1993) übereinstimmen, so z.B. an der Termination II und im Holozän (Abb. 22d) (Nürnberg, unveröffentl. Daten). Andere so berechnete Werte aus den Isotopenstadien 5, 3 und 2 zeigen im Vergleich zu den Diatomeen-SST um bis zu 5,2 °C höhere Werte. An der Position von Kern PS1388 und anhand der in ihm ermittelten *N. pachyderma* (s)/(d)-Verhältnisse (Abb. 22d) wären jedoch noch niedrigere Temperaturen als die von Zielinski (1993) ermittelten Diatomeen-SST zu erwarten.

Cronblad & Malmgren (1981) betrachteten die Mg-Konzentration unabhängig von der Wassertiefe und der Gehäusefragmentation planktischer Foraminiferen in Oberflächenproben. Die Ergebnisse von Nürnberg (unveröffentl. Daten) könnten aber auf eine Lösungsabhängigkeit der Mg-Konzentration in Gehäusen von *N. pachyderma* (s) hindeuten. Nach Nürnberg et al. (1996) erhöht sich die Mg-Konzentration in Gehäusen von *G. sacculifer* um 130 % bei einer Erhöhung der Wassertemperatur von 10 °C. Russell & Emerson (1996) konnten das U/Ca-Verhältnis mit dem Mg/Ca-Verhältnis korrelieren und wiesen auf eine mögliche Lösungsabhängigkeit des U/Ca- und damit auch des Mg/Ca-Verhältnisses hin. Brown & Elderfield (1996) stellten ein Modell vor, in dem sie eine von der Mg-Konzentration und Wassertiefe abhängige Lösung in Gehäusen der planktischen Foraminiferenarten *G. sacculifer* und *G. tumida* feststellten. Demnach wäre bei einer Wassertiefe von über 4.500 m im

8. Diskussion

Südatlantik, in der sich der Kern PS2082 befindet, bei einer nur geringen Mg/Ca-Konzentration von etwa 2 bis 3 mmol/mol in Gehäusen von *N. pachyderma* (s) (Nürnberg, 1995) eine deutliche Lösung von Mg zu erwarten (Nürnberg, unveröffentl. Daten). Unterstützt wird diese Beobachtung noch durch ein Modell der Gehäuselösung bei *G. sacculifer* von Lohmann (1995), in dem er zwischen Lösung am Primärkalzit und der sekundären Kruste unterschied. Danach werden Gehäuse umso weniger gelöst, je größer ihre Masse und je größer der Anteil an sekundärer Kalzitkruste ist. Da *N. pachyderma* (s) in Kern PS2082 Gehäusedurchmesser $<250 \mu\text{m}$ aufweist und eine starke sekundäre Kalzitkruste nur selten ausgebildet ist, müßten sie nach diesem Modell anfällig für Lösung sein. Die Berechnung von Paläotemperaturen aus dem Mg/Ca-Verhältnis in Gehäusen von *N. pachyderma* (s) wäre damit in den Kernen PS2082 und PS1388 unbrauchbar und läßt eine starke Überlagerung des Mg/Ca-Signals durch Lösungseffekte vermuten (Nürnberg, mündl. Mittlg.).

Zwischen den ermittelten Oberflächentemperaturen und der Häufigkeit von *N. pachyderma* (s), *N. pachyderma* (d) und *T. quinqueloba* besteht in Kern PS2076 eine enge Korrelation: Mit zunehmender Oberflächentemperatur vermindert sich die Häufigkeit planktischer Foraminiferen. So entspricht einer Häufigkeitszunahme von *N. pachyderma* (s) um 10 % eine Temperaturabnahme von 4,5 °C, bei *N. pachyderma* (d) und bei *T. quinqueloba* um jeweils 2 °C (Abb. 24a). Daraus wird ersichtlich, daß die Temperaturabhängigkeit in der Häufigkeitsverteilung von *N. pachyderma* (s) und (d) unterschiedlich ist und deshalb eine unterschiedliche Habitatstiefe in den Oberflächenwassermassen wahrscheinlich ist. *T. quinqueloba* zeigt dieselbe temperaturabhängige Häufigkeitsverteilung wie *N. pachyderma* (d), ein Hinweis auf ein ähnliches Habitat in den jeweiligen Oberflächenwassermassen (Abb. 24a).

In Kern PS2082 entspricht der Häufigkeitszunahme von *N. pachyderma* (s) um 10 % nur noch eine Temperaturabnahme um 0,7 °C, bei *T. quinqueloba* besteht hingegen eine nur schwach ausgeprägte Korrelation zwischen einer Häufigkeitszunahme von 10 % und einer Temperaturzunahme um etwa 0,8 °C (Abb. 24b). Dieses unterschiedliche Verhalten deutet auf eine unterschiedliche Habitatstiefe hin.

Auch in Kern PS1754 im Einflußbereich der Antarktischen Polarfront weist *N. pachyderma* (s) eine Korrelation zur Oberflächentemperatur auf: Eine Häufigkeitszunahme von 10 % entspricht hier einer Temperaturabnahme von 0,5 °C (Abb. 24c). Die Abhängigkeit der Häufigkeiten von *N. pachyderma* (s), *N. pachyderma* (d) und *T. quinqueloba* von den aus Transfer-Funktionen ermittelten Salzgehalten zeigt entweder eine nur sehr schwache (Kern PS2076) oder keine Korrelation (Kerne PS2082, PS1754) (Abb. 24a, c). Das bedeutet, daß das Vorkommen dieser planktischen Foraminiferenarten eher an veränderte Temperatur- als an wechselnde Salzgehaltsbedingungen gebunden ist.

8. Diskussion

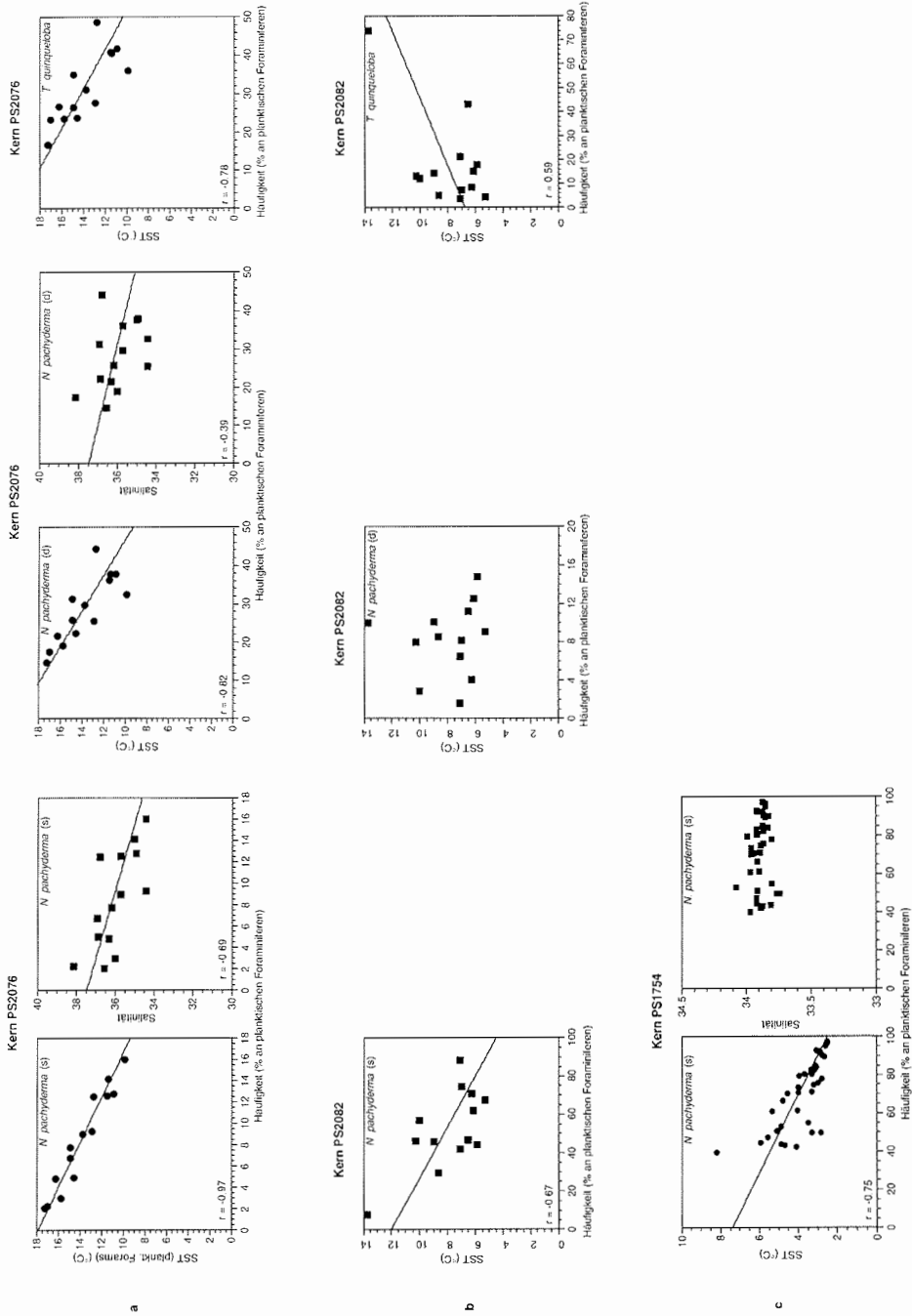


Abb. 24a-c: Korrelationen von Oberflächentemperaturen und Oberflächensalgehalten mit Häufigkeiten planktischer Foraminiferen in Sedimentkernen des Südatlantik (nach Daten aus Niebler (1995) und Brathauer (1996)).

8.4 Klimainduzierte Ursachen für die Entstehung von Phänotypen von *N. pachyderma* (s)?

8.4.1 Rezente Phänotypen von *N. pachyderma* (s) als Anzeiger unterschiedlicher Oberflächenwassermassen?

Die drei untersuchten Morphotypen weisen im Nordatlantik und Europäischem Nordmeer in den Oberflächenproben zwischen 53,5° und 77° N keine konstanten Häufigkeiten auf, sondern sind bei 53,5° N und zwischen 68° und 76° N am häufigsten (Abb. 18a). Wurstkammer- und Kümmerform-Individuen treten in der Fraktion 250-500 µm im Nordatlantik und Europäischen Nordmeer besonders in den warmen Wassermassen der Nordatlantischen Drift auf. Die sehr geringen Häufigkeiten von Wurstkammer-Individuen in der Fraktion 125-250 µm sprechen entweder für ein unterschiedliches Habitat kleiner und großer Individuen in der Wassersäule oder für einen Vitaleffekt, z.B. einen Alterungsprozeß, der nur bei älteren Individuen zur Ausbildung von Wurstkammern führt. Der hohe Anteil an Kümmerform-Individuen im Europäischen Nordmeer in der Fraktion 125-250 µm spricht gegen die hauptsächliche Entstehung von Kümmerkammern unter Reproduktionsstreß bei großen Individuen (Abb. 18a).

Im Südatlantik bevorzugt der Hauptanteil der Wurstkammer-Individuen in der Fraktion 250-500 µm die kalten Wassermassen des Antarktischen Zirkumpolarstromes (Orsi et al., 1995) südlich der Antarktischen Polarfront (Abb. 18b). Die hohen Anteile an kleinen Kümmerform-Individuen in der Fraktion 125-250 µm lassen ihre Entstehung in den wärmeren Oberflächenwassermassen des Südatlantischen Zentralwassers und des Subantarktischen Oberflächenwassers (Peterson & Whitworth, 1989) vermuten. Aberrante Individuen finden sich häufiger in beiden Fraktionen nur südlich 68,5° S in Oberflächenwassermassen mit saisonaler Packeisdecke (Abb. 4a). Dabei dürfte vor allem Nahrungsmangel ("Kannibalismus" in Spindler et al., 1984) innerhalb eines stabilen Wasserkörpers bei ihrer Entstehung eine große Rolle spielen.

8.4.2 Wurstkammer-Individuen von *N. pachyderma* (s) als Paläo-Anzeiger für salzarme Oberflächenwassermassen?

Carstens et al. (1997) konnten in einem W-E-Profil in der Framstraße anhand von Planktonnetzfangen nachweisen, daß höchste Individuenkonzentrationen von *N. pachyderma* am Packeisrand auftreten. Im Bereich der westlichen Framstraße mit den salzarmen Wassermassen des Ostgrönlandstromes liegen die höchsten Konzentrationen von *N. pachyderma* innerhalb der Wassersäule bei >100 m (maximal 200 Individuen/m³). Im Bereich der obersten 50 m Wassertiefe konnten dagegen nur bis zu 35 Individuen/m³ nachgewiesen werden, diese Wassermassen stellen also für *N. pachyderma* (s) ein weniger günstiges Habitat dar.

In den Sedimentkernen wurde untersucht, ob Wurstkammer-Individuen von *N. pachyderma* (s), deren Anteil in den polaren Kernen 7 bis 10 % an den Gesamtindividuen von *N. pachyderma* (s) beträgt, salzarme Oberflächenwassermassen als Habitat bevorzugen. Der größte Anteil an Wurstkammer-Individuen tritt in allen untersuchten Sedimentkernen in der Fraktion 250-500 µm auf, folglich bilden große Individuen bevorzugt Wurstkammern aus (Abb. 19c, d). Ihre Häufigkeit schwankt am stärksten in polaren Wassermassen zwischen Kalt- und Warmphasen, während ihre Häufigkeit im Europäischen Nordmeer von 140 ka bis rezent wesentlich geringeren Schwankungen unterworfen ist (Abb. 19d).

Da die Temperaturen der Oberflächenwassermassen im Südatlantik südlich der Polarfront nur um 4 °C zwischen Glazialen und Interglazialen schwanken (Zielinski, 1993), Schwankungen im Salzgehalt zu diesen Zeiten jedoch zwischen 31,2 und 35,8 erheblich sein können

8. Diskussion

(Niebler, 1995), werden vor allem Änderungen im Salzgehalt mit den wechselnden Häufigkeiten von Wurstkammer-Individuen in Zusammenhang gebracht. Auch die rezente Verteilung von Wurstkammer-Individuen zeigt in der Fraktion 250-500 μm südlich der Antarktischen Polarfront ein Maximum an Wurstkammern (Abb. 18b). Im Weddellmeer (Kern PS1388) bildet *N. pachyderma* (s) im Isotopenstadium 5 und im Holozän verstärkt Wurstkammern aus. Dies entspricht der heutigen Sommersituation im Weddellmeer, in dem bei hoher Phytoplanktonproduktion ein Häufigkeitsmaximum von *N. pachyderma* (s) in der Wassersäule zu finden ist (Berberich, 1996). Vor der abschmelzenden Packeiskante befindet sich eine mehrere Zehnermeter mächtige Schmelzwasserschicht (Berberich, 1996), an die sich die Wurstkammer-Individuen vermutlich anpassen können. Die höchsten Konzentrationen von *N. pachyderma* (s) wurden in einjährigem Meereis nachgewiesen (Spindler, 1995). Einjähriges Meereis wurde im Weddellmeer vermehrt in Interglazialen gebildet, während in Glazialen vorwiegend mehrjähriges Meereis entstand (Grobe & Mackensen, 1992), in dem, vergleichbar der rezente Eisdecke im Arktischen Ozean, nur wenige Individuen überleben können (Spindler, 1990). Nur in der Fraktion 125-250 μm kommen Individuen häufiger in den Glazialen 4 und 2 vor (Abb. 19c), was auf eine Anpassung an die kleinvolumigen Solekanälchen in mehrjährigem Meereis schließen läßt.

Im zentralen Arktischen Ozean rekonstruierte Nørgaard-Pedersen (1997) für das letzte Glaziale Maximum (vor 18-15 ^{14}C ka) im Bereich des Lomonosov-Rückens (Kernposition PS2185) Salzgehalte von >33 . An der Termination I steigt die Anzahl von Wurstkammer-Individuen (Abb. 19a) und der Salzgehalt fällt nach Nørgaard-Pedersen unter 33. Im späten Holozän liegt er bei 32,3 und korreliert mit Häufigkeitsmaxima von Wurstkammer-Individuen *N. pachyderma* (s) in der Fraktion 250-500 μm (Abb. 19c). Isotopenuntersuchungen von Nørgaard-Pedersen (1997) zeigen, daß *N. pachyderma* (s) im zentralen Arktischen Ozean in 50 m Wassertiefe in der salzarmen Deckschicht lebt (Bauch et al. (1997) ermittelten 80 m Wassertiefe). Dies legt die Vermutung nahe, daß die Ausbildung von Wurstkammern in direktem Zusammenhang mit dem geringen Salzgehalt der Oberflächenwassermassen steht. Maximale Häufigkeiten von Wurstkammer-Individuen von *N. pachyderma* (s) korrelieren nicht mit typischen Schmelzwasser-Ereignissen wie Schmelzwasser-Ereignis 3.31 bei 55,45 ka (Martinson et al., 1987) und Termination I_A (Abb. 19c). Das bevorzugte Habitat dieser Individuen ist also nicht in kurzlebigen Schmelzwasserkörpern während extremer Schmelzwasserereignisse, sondern in stabilen Schmelzwasserdeckeln zu suchen.

Im Europäischen Nordmeer (Kern PS1243) tritt der Hauptanteil aller Wurstkammer-Individuen von *N. pachyderma* (s) in der Fraktion 250-500 μm auf (Abb. 19d). Deshalb werden in Kern PS1243 die Häufigkeitsmaxima vorrangig in dieser Fraktion diskutiert und verschiedenen zeitlichen Ereignissen zugeordnet: Das Häufigkeitsmaximum von Wurstkammer-Individuen im Isotopenstadium 5 (104 ka) fällt mit sehr hohen Häufigkeiten von *N. pachyderma* (s) zusammen, während subpolare planktische Foraminiferenarten fast vollständig fehlen (Kellogg, 1980; Bauch, 1993). Spielhagen (1991) nimmt in diesem Zeitraum eine verstärkte Abkühlung und Vergletscherung zirkumarktischer Gebiete an und damit auch den verstärkten Transport von Eisbergen von der Framstraße ins Europäische Nordmeer. Ein Zusammentreffen dieser salzarmen Wassermassen mit den salzreichen Wassermassen der Nordatlantischen Drift kann an der Position von PS1243 zu einer Aussüßung der Oberflächenwassermassen geführt haben, die eine Entwicklung von Wurstkammer-Individuen begünstigt hätten. Die schweren O-Isotopenwerte im Stadium 3 lassen auf kühlere Oberflächenwassermassen schließen (Vogelsang, 1990). Fehlende Anteile der Subpolarfauna (Bauch, 1993) und nur geringe Konzentrationen von *N. pachyderma* (s) (Abb. 15b) deuten auf schlechte Lebensbedingungen für *N. pachyderma* (s), andere Ergebnisse auf eine saisonal vorhandene Eisdecke hin (Spielhagen, 1991; Birgisdottir, 1991). Auch hier könnte ein (regelmäßiges) Abschmelzen der Eisdecke zur Bildung von Wurstkammer-Individuen führen. Das

8. Diskussion

Häufigkeitsmaximum der Wurstkammer-Individuen im frühen Holozän bei 9,5 ka in der Fraktion 250-500 μm (Abb. 19d) fällt nach den Ergebnissen von Sikes & Keigwin (1996) aus dem NE-Atlantik mit dem Schmelzwasser-Ereignis von Termination I_B bei 9,7 ka zusammen und belegt direkt, daß salzarme Oberflächenwassermassen ein bevorzugtes Habitat von Wurstkammer-Individuen darstellen. Ein weiteres Maximum im Holozän bei 7,5 ka läßt sich mit einem von Bauch & Weinelt (1997) zusätzlich beschriebenen Ereignis bei 7,5 ka mit salzärmeren Wassermassen aus dem Bereich des norwegischen Schelfes verknüpfen. Das im Europäischen Nordmeer sehr deutlich ausgeprägte Schmelzwasser-Ereignis bei 12,4 bis 12,1 ka (Sarnthein et al., 1995) kann mit Häufigkeitsmaxima von Wurstkammer-Individuen in der Fraktion 125-250 μm korreliert werden und könnte eine unterschiedliche Anpassung von kleinen und großen Wurstkammer-Individuen an salzarme Oberflächenwassermassen belegen (Abb. 19d).

Im Südatlantik (Kern PS2082) kommen Wurstkammer-Individuen aufgrund ihrer geringen durchschnittlichen Schalengröße nur in der Fraktion 125-250 μm vor. Sie treten, anders als im Europäischen Nordmeer, im Substadium 5.51, rezent und auch in Glazialen (Isotopenstadien 6 und 2) auf. Eine Erklärung hierfür bietet die von Brathauer (1996) vermutete Verschiebung der Antarktischen Polarfront um 5° nach N: Dadurch würde Kern PS2082 in den Einfluß der kälteren, salzärmeren Wassermassen des Antarktischen Zirkumpolarstromes gelangen, in denen die Wurstkammer-Individuen dann bevorzugt gebildet würden (Abb. 19d).

Kümmersform- und aberrante Individuen von *N. pachyderma* (s) in den Fraktionen 250-500 μm und 125-250 μm sind mit ihren Häufigkeitsverteilungen denen der Wurstkammer-Individuen sehr ähnlich (Abb. 20c,d; Abb. 21c, d). Damit läßt sich ein gleichzeitiges maximales Auftreten aller drei Phänotypen im Arktischen Ozean, im Europäischen Nordmeer und im Südatlantik nachweisen und ihre Entstehung mit dem Milieu rezenter salzarmer Oberflächenwassermassen verknüpfen.

8.4.3 Entstehung von Wurstkammer-Individuen

N. pachyderma (s) toleriert sehr hohe Salzgehalte, so daß sie auch in den Solekanälchen im Meereis des Weddellmeeres überleben kann (Spindler & Dieckmann, 1986; Hemleben et al., 1989; Berberich, 1996). Sie befindet sich in den Solekanälchen nicht in einer Ruhephase, sondern behält ihre metabolische Aktivität im Meereis bei und ernährt sich dort von Meereisalgen (Ackley, 1987). Spindler (1996) bestätigte anhand von Hälterungsversuchen die extremen Salinitätstoleranzen von *N. pachyderma*. Hierbei nimmt die Gehäusegröße von *N. pachyderma* bei extremen Salzgehalten ab. Erstaunlich ist aber die Toleranz gegenüber starken Salzgehaltsschwankungen. Über die Toleranz von *N. pachyderma* gegenüber niedrigen Salzgehalten (<34) liegen dagegen noch keine gesicherten Daten vor. Carstens & Wefer (1992) ermittelten aus Planktonnetzfangen, daß die Verbreitung von *N. pachyderma* (s) im Arktischen Ozean im Bereich der salzarmen Mischwasserschicht innerhalb des Polaren Oberflächenwassers (oberste 10 bis 50 m Wassertiefe) in geringeren Wassertiefen liegt als im Europäischen Nordmeer. Diese Daten sprechen dafür, daß *N. pachyderma* (s) in Wasserkörpern mit nur geringem Salzgehalt durchaus überlebensfähig ist. Wurstkammer-Individuen von *N. pachyderma* (s) sind bisher aus Meereisproben des Weddellmeeres nicht beschrieben worden und dürften im Meereis des Arktischen Ozeans aufgrund des hohen Alters des Meereises und der damit verbundenen Kompression der Solekanälchen nur selten überlebensfähig sein (Spindler, 1995). Daher ist die Verbreitung und Bildung von Wurstkammer-Individuen in der Wassersäule bei geringen Salzgehalten wahrscheinlich. Eine Hypothese dafür ist, daß diese Individuen in Interglazialen vermehrt durch gelegentliche "Instabilitäten" des Süßwasserdeckels infolge seitlichen Eintrags oder Sturmereignissen in diese salzarmen Wassermassen "eingespült" werden und dort bei stabiler Schichtung längere Zeit verweilen (Abb. 25b). Dort können sich die länglichen Wurstkammern entwickeln, die im Vergleich zu

8. Diskussion

normal ausgebildeten Kammern eine größere Protoplasmamenge und damit verstärkte metabolische Aktivität aufweisen dürften (Spindler, mündl. Mittlg.). Ein direkter Nachweis von Individuen aus salzarmen polaren Oberflächenwässern bzw. ihre Hälterung bei geringen Salzgehalten könnte zur Klärung der Bildung der Wurstkammern beitragen.

8.4.4 Entstehung von Kümmerform-Individuen

Auch die Verteilung der Kümmerformen von *N. pachyderma* (s) (Abb. 20a-d, Tafel III, Abb. 1 und 2) deutet auf den Einfluß klimatisch bedingter Veränderungen der Oberflächenwassermassen hin. Olsson (1973) und Hemleben et al. (1989) weisen auf die Ausbildung von Kümmerkammern, die kurze Zeit nach der Gametogenese nach dem Ausstoß der Gamonten angelegt werden (Hemleben et al., 1989), als reproduktives Merkmal hin. Berberich (1996) beobachtete einen hohen prozentualen Anteil an kleineren Individuen von *N. pachyderma* (s) mit Kümmerkammern, was ihrer Meinung nach auf eine Bildung unter Umweltstreß hindeutet. Ergebnisse aus Hälterungsversuchen an anderen (subtropischen und tropischen) planktischen Foraminiferen ergeben ein unterschiedliches Bild: So berichten Bijma et al. (1990a), daß bei Hälterungsversuchen an *G. sacculifer*, *G. ruber*, *G. conglobatus*, *G. siphonifera*, *O. universa*, *N. dutertrei* und *G. menardii* unter extremen Temperatur- und Salzgehaltsbedingungen die Ausbildung einer Kümmerkammer seltener auftritt, sie also kein eindeutiges Merkmal für Umweltstreß darstellt. Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, daß in der Fraktion 125-250 µm in allen Sedimentkernen etwa 10fach mehr Individuen mit Kümmerkammern vorhanden sind als in der Fraktion 250-500 µm (Abb. 20a-d). Ihr massives Auftreten in der Fraktion 125-250 µm innerhalb enger Zeitspannen wie im Substadium 5.51 und im Holozän (Abb. 20a-d) spricht, wie auch schon von Hecht & Savin (1970) angedeutet wurde, für eine Bildung unter Umweltstreß (Abb. 25b). Die Häufigkeiten der großen Kümmerform-Individuen in der Fraktion 250-500 µm lassen sich dagegen nicht so eindeutig bestimmten Zeitabschnitten zuordnen (Abb. 20a-d). Daher ist ihre Entstehung unter Reproduktionsstress wahrscheinlich (Abb. 25b).

8.4.5 Entstehung von aberranten Individuen

Am außergewöhnlichsten sind bei diesen Formen sog. Zwillingindividuen (Tafel III, Abb. 3 bis 6), die wie andere aberrante Formen von Boltovskoy (1982) anhand von REM-Aufnahmen beschrieben worden sind. Die plausibelste Erklärung für das Auftreten der an der Gesamtzahl der aberranten Formen eher seltenen "echten" Zwillingformen ist, daß bei der sexuellen Fortpflanzung von *N. pachyderma* (s) zwei Gamonten gleichzeitig zu einer Zygote verschmelzen. Dieser Vorgang wäre jedoch rein zufallsbedingt und nicht an klimatisch induzierte Ereignisse gekoppelt. Da *N. pachyderma* (s) bevorzugt in Wassertiefen von z.T. >200 m reproduziert (Hemleben et al., 1989), müßten auch diese durch Reproduktion entstandenen Individuen in ähnlichen Wassertiefen anzutreffen sein (Abb. 25b).

Die überwiegende Anzahl der aberranten Individuen besteht jedoch aus "unechten" Zwillingformen oder Individuen mit Auswachsungen (Tafel III, Abb. 4 und 6), die bevorzugt im Substadium 5.51 und im Holozän auftreten, deren Konzentration jedoch weit unter der der Wurstkammer- und Kümmerform-Individuen liegt (Abb. 21a, b). Eine Hypothese für die Entstehung solcher Formen geben Spindler et al. (1984): Ist das Nahrungsangebot für *N. pachyderma* zu gering, werden auch Artgenossen eingefangen und gefressen. Nachgewiesen wurde dieser "Kannibalismus" in Hälterungsversuchen mit *G. sacculifer* (Spindler et al., 1984). Die eingefangenen "Beuteindividuen" würden dann von dem größeren "Freßindividuum" in den Wachstums- und Kalzifizierungsprozeß miteinbezogen.

Unter welchen Bedingungen könnte sich eine solche Nahrungssituation ergeben? Im Weddellmeer kommt es im Frühjahr in der durch abschmelzendes Packeis entstandenen Schmelzwasserschicht vor allem am Packeisrand zur Algenblüte. Zusätzlich verstärkt wird

8. Diskussion

sie durch eine "Impfung" dieser Wasserschicht mit Nährstoffen aus dem Eis und im Eis eingeschlossenen Algen (Scharek & Nöthig, 1995; Berberich, 1996). Aufgrund der fehlenden Durchmischung dieser Wassermassen bleibt das Vorkommen der Algen auf diese im Sommer 30 m mächtige Wassermasse beschränkt (Berberich, 1996). Das Auftreten von *N. pachyderma* (s) konzentriert sich aber auf Wassermassen mit höherem Salzgehalt, die im Sommer in Wassertiefen >30 m liegen (Berberich, 1996). Aufgrund des unzureichenden Nahrungsangebotes an Phytoplankton und damit auch an Diatomeen, der Hauptnahrungsquelle von *N. pachyderma* (Hemleben et al., 1989), kann es dann zum Kannibalismus bei artgleichen Individuen kommen, wobei hauptsächlich größere Individuen sich kleinere "einverleiben" (Spindler et al., 1984). Grundsätzlich können nicht bestachelte Foraminiferenarten nicht auf andere Nahrungsquellen wie Zooplankton ausweichen, da sie diese sich z.T. heftig bewegende Nahrung nicht wie bestachelte Arten festhalten können (Spindler et al., 1984). Eine solche für *N. pachyderma* (s) sehr ungünstige Nahrungssituation wäre in den Warmphasen (Interglazialen) gegeben, in denen über längere Zeiträume eine stabile geringmächtige Schmelzwasserschicht analog zur rezenten Situation im Sommer im Weddellmeer vorstellbar wäre (Abb. 25b). Im Winter bildet sich unter der geschlossenen Packeisdecke das salzarme und kalte maximal 100 m mächtige "Winterwasser" (T: bis -1,8 °C; S: <34,3), das während der Wintermonate einen stabilen Wasserkörper über dem wärmeren Tiefenwasser bildet (Berberich, 1996). Hier bildet im Sommer eine nur geringmächtige, aber sehr salzarme Schmelzwasserschicht, im Winter dagegen eine mächtige, dafür aber geringfügig salzreichere Oberflächenwassermasse (Winterwasser) (Berberich, 1996) das Habitat von *N. pachyderma* (s). Im Winter ist das Nahrungsangebot für *N. pachyderma* und ihre Konzentration innerhalb des Winterwassers sehr gering (Berberich, 1996), so daß ihr erhöhtes Auftreten im Meereis des Weddellmeeres dann als Überwinterungsstrategie aufgefaßt wird (Spindler & Dieckmann, 1986). Rezent konnten im Packeis bis zu 1.000 Individuen *N. pachyderma* geschmolzenes Meereis nachgewiesen werden (Dieckmann et al., 1991).

Das Auftreten von Phänotypen *N. pachyderma* (s) während glazialer Phasen (analog der rezenten Wintersituation im Weddellmeer) veranschaulicht Abb. 25a: Im Herbst werden viele Individuen im Eis eingeschlossen (Berberich, 1996) und leben dort in den Solekanälchen unter extrem hohen und stark wechselnden Salinitäten in einem der extremsten Lebensräume der Erde (Spindler, 1995). Da im Weddellmeer bis zu 90 % einjähriges Meereis auftritt (Spindler, 1995), werden die Individuen beim Abschmelzen des Meereises im nachfolgenden Frühjahr wieder in die darunterliegende Wassersäule freigesetzt (Berberich, 1996).

Aus dem Arktischen Ozean liegen hinsichtlich der Nahrungssituation nur vergleichsweise wenige Daten vor. Carstens & Wefer (1992) wiesen anhand von Planktonnetzfangen das Hauptvorkommen von *N. pachyderma* (s) im zentralen Arktischen Ozean in den obersten salzarmen Wasserschichten nach und beobachteten ein Abtauchen der Individuen zum Europäischen Nordmeer hin in tiefere Wassermassen.

8. Diskussion

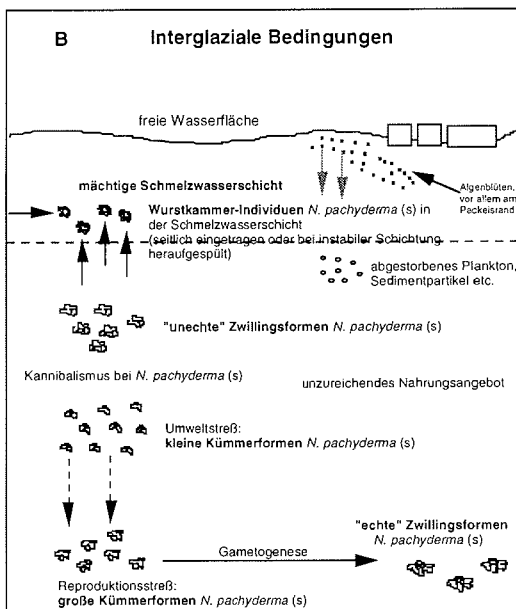
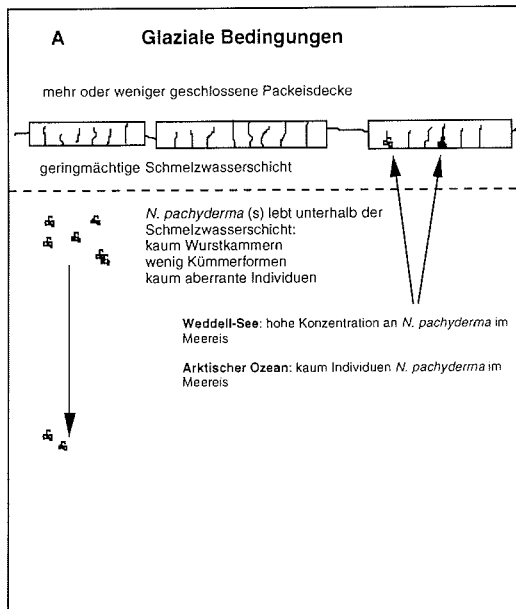


Abb. 25a, b: Schematische Skizze zur Verteilung von Phänotypen von *N. pachyderma* (s) in der Wassersäule im Arktischen Ozean und im Weddellmeer.

8.5 Biogeographische Verbreitung und Bipolarität von *N. pachyderma* (s) im Arktischen Ozean, Nord- und Südatlantik

N. pachyderma trat vor 35 Mio. Jahren erstmals auf (Bolli & Saunders, 1985). Meggers (1996) zeigte anhand von Größenmessungen, daß sich *N. pachyderma* mit relativ kleinen Individuen frühestens ab 1,8, wahrscheinlich aber erst ab 1,0 Mio. Jahren an polare Wassermassen angepaßt hat. Vor dieser Zeit, bis ca. 2,75 Mio. Jahren, gab es eine von *N. pachyderma* morphologisch nur schwer zu unterscheidende Art, *Neogloboquadrina atlantica*, die im Zeitraum 1,8 bis 1,0 Mio. Jahre morphologische Zwischenformen bildete (Meggers, 1996).

Die rezente biogeographische Verbreitung von *N. pachyderma* (s) in Oberflächensedimenten erstreckt sich im Atlantik von den Polargebieten bis zu 30° N und 30° S (Bé, 1977). Marine Organismen mit einer deutlichen Verbreitungslücke wie *N. pachyderma* (s) (Bé, 1977) werden als bipolar verteilt betrachtet (Ekman, 1967; van der Spoel & Pierrot-Bults, 1979). Zur Entstehung der rezenten bipolaren Verbreitung von *N. pachyderma* (s) lassen sich drei verschiedene Hypothesen aufstellen, deren Gültigkeit bislang nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte und deren Zutreffen hier geprüft wird:

1. *N. pachyderma* (s) kam ursprünglich nur in einem Polargebiet vor und verbreitete sich über den Äquator hinweg zum anderen Polargebiet. Die Populationen in den niederen Breiten sind dann aufgrund (tiefgreifender) Veränderungen der Oberflächenwassermassen in höhere Breiten zurückgedrängt worden. In den niederen Breiten kämen somit keine Individuen von *N. pachyderma* (s) mehr vor (Dodd & Stanton Jr., 1990) (Abb. 26b).

Diese Hypothese läßt sich im Atlantik nur dann sinnvoll anwenden, wenn ein Transport von *N. pachyderma* (s) mit Oberflächenströmungen vom Süd- in den Nordatlantik angenommen wird. Ein direkter Austausch zwischen den Polar- und Subpolargebieten des Nord- und Südatlantiks hingegen wäre allenfalls über das in Wassertiefen zwischen 2500 - >4000 m fließende Nordatlantische Tiefenwasser (NADW) möglich (Abb. 26b). Lebende Individuen von *N. pachyderma* (s) wurden in diesen Wassertiefen bisher nicht nachgewiesen. Diatomeen bilden für *N. pachyderma* die Hauptnahrungsquelle (Hemleben et al., 1989) und sind in ihrem Vorkommen auf die obersten 50 m der Wassersäule beschränkt (Zielinski, 1993). Ein Aufenthalt innerhalb des NADW würde aufgrund des fehlenden Nahrungsangebotes für *N. pachyderma* stark erschwert werden. Aufgrund des hohen Alters des antarktischen Eisschildes (van Andel et al., 1975) hätte sich *N. pachyderma* (s) nach dieser Hypothese zunächst an die polaren Verhältnisse in antarktischen Meeresbereichen angepaßt und wäre von dort aus über Oberflächenströmungen in den Nordatlantik transportiert worden. Dort konnte sich *N. pachyderma* (s) schließlich im vermutlich bereits im Miozän eisbedeckten Arktischen Ozean verbreiten (Wolf & Thiede, 1991). Diese Verbreitung hätte beim rezenten Verbreitungsmuster von *N. pachyderma* (s) eine südliche "alte" und eine nördliche "jüngere" Population zur Folge (Abb. 26b). Ohne die Annahme eines rezenten Austausches beider Populationen wären deutlichere morphologische Unterschiede zwischen diesen beiden Populationen zu erwarten als sie in dieser Arbeit nachgewiesen werden konnten.

2. *N. pachyderma* (s) als einzige "echte" polare planktische Foraminiferenart lebte ursprünglich in den kalten Oberflächenwassermassen beider Polargebiete und tauchte dann Richtung Äquator in tiefere Wassertiefen (z.B. unterhalb der Thermokline) ab. Nach dieser Hypothese hätte sich *N. pachyderma* (s) in den hohen Breiten unabhängig voneinander entwickelt und dann in tiefere Wassermassen niederer Breiten verbreitet (Abb. 26c).

8. Diskussion

Bei dieser Hypothese wird von einem deutlichen Temperatargegensatz zwischen hohen und niederen Breiten ausgegangen. Schließlich erfordert diese Hypothese zwei getrennte Populationen: Ihre Verbreitungsgebiete können sich zwar in niederen Breiten überlappen, ihre Individuen lassen sich aber bei entsprechend langer geographischer Isolation genetisch u.U. nicht miteinander vermischen. Durch diese Isolation wären mittels biometrischer Analysen und morphologischer Untersuchungen deutliche Unterschiede zu erwarten (Abb. 26c).

3. Die sog. "Relikt"-Hypothese (Abb. 26d) besagt, daß ursprünglich *N. pachyderma* (s) in den niederen Breiten vorkam und sich dann zu beiden Seiten des Äquators in die hohen Breiten sukzessive ausbreitete. Diese Auffassung wurde bereits von Bandy et al. (1967) vertreten. Im ursprünglichen Verbreitungsgebiet in den niederen Breiten würde *N. pachyderma* (s) durch die an wärmere Wassermassen besser angepaßte Art *N. dutertrei* aus derselben Gattung ersetzt werden (Hemleben et al., 1989). Diese Hypothese zur Entstehung der rezenten bipolaren Verteilung von *N. pachyderma* (s) würde die nur relativ geringen morphologischen und biometrischen Unterschiede von *N. pachyderma* (s) in Nord- und Südatlantik bei etwa zeitgleicher Ausbreitung in höhere Breiten plausibel erklären (Abb. 26d).

Für einen rezenten Austausch zwischen *N. pachyderma* (s) im Arktischen Ozean und Nord- und Südatlantik spricht eine hohe Übereinstimmung hinsichtlich morphologischer und geochemischer Eigenschaften ihrer Individuen (Tabelle 4):

Im Arktischen Ozean sind nur wenige Exemplare von *N. pachyderma* (s) in mehrjährigem Meereis nachzuweisen, während im Weddellmeer vor allem in neugebildetem Meereis im antarktischen Winter mehr Individuen von *N. pachyderma* (s) leben als in der Wassersäule darunter (Spindler, 1990; Spindler, 1995; Berberich, 1996). Die Phytoplanktonkonzentration im Meereis, die als Nahrungsgrundlage von *N. pachyderma* (s) von größter Bedeutung ist (Spindler & Dieckmann, 1986), stellt sich in beiden Meeresgebieten sehr unterschiedlich dar: Im Arktischen Ozean sind Eisalgen nur an der Packeisunterseite bzw. in den untersten Zentimetern der Eisschollen in höherer Konzentration vorhanden, während im Weddellmeer auch im mittleren Bereich höhere Konzentrationen an Phytoplankton im Meereis auftreten (Spindler, 1990, 1995). Die Phytoplanktonproduktion ist jedoch in beiden Meeresgebieten an der Packeisgrenze bei stabiler Wasserschichtung im Frühjahr am größten. Ergebnisse von Dieckmann (1995) deuten daraufhin, daß durch Nährstoffe im Meereis und Meereisalgen beim Abschmelzen des Meereises die darunterliegenden Wassermassen geimpft werden und dadurch hohe Phytoplanktonkonzentrationen ("Planktonblüten") in der Wassersäule verursacht werden.

Aufgrund der hier vorliegenden Ergebnisse können aber trotz dieser unterschiedlichen Lebensräume wesentliche Gemeinsamkeiten in der Morphologie und der Verteilung von *N. pachyderma* (s) im Arktischen Ozean und Nord- und Südatlantik festgestellt werden.

Biometrische Analysen ergeben, daß die Gehäuse von *N. pachyderma* (s) im Weddellmeer nur im Isotopenstadium 2 wesentlich größer sind als im Arktischen Ozean. In den Isotopenstadien 6, 5 und im Holozän zeigen sie dagegen gleiche Größentrends (Abb. 13a). Die morphologische Ausprägung von *N. pachyderma* (s) ist in beiden Meeresgebieten sehr ähnlich (Tafel I, Abb. 1 bis 4).

Die Populationen von *N. pachyderma* (s) entwickelten in allen Untersuchungsgebieten drei voneinander abgrenzbare Gruppen von Phänotypen, die in den letzten 140.000 Jahren ähnliche Verteilungen aufweisen (Tabelle 4; Abb. 19 bis 21). Auch Ergebnisse aus anderen Arbeiten deuten auf Gemeinsamkeiten von *N. pachyderma* (s) in Nord- und Südhemisphäre hin: So zeigt ein Vergleich der Mg/Ca-Verhältnisse an Gehäusen von *N. pachyderma* (s) aus Oberflächenproben, daß diese Verhältnisse im Nordatlantik nur wenig höher liegen

8. Diskussion

(Nürnberg, 1995). Da das Mg/Ca-Verhältnis maßgeblich von der umgebenden Wassertemperatur abhängt, jedoch unabhängig ist von Habitatseffekten (z. B. durch metabolische Aktivität) (Nürnberg, 1991), dürfte die starke Ähnlichkeit im Mg/Ca-Verhältnis zumindest auf eine vergleichbare Habitatstiefe beider Populationen in den Oberflächenwassermassen im Nord- und Südatlantik hindeuten.

Die jahreszeitliche Verteilung von *N. pachyderma* (s) in nördlichen und südlichen Breiten (Reynolds & Thunell, 1986; Donner & Wefer, 1994; Berberich, 1996; Kohfeld et al., 1996) zeigt eine starke zeitliche Übereinstimmung: In den Wintermonaten herrscht ein extrem niedriger Individuenfluß von *N. pachyderma* (s) vor, besonders in Gebieten unter zeitweiliger oder ständiger Eisbedeckung (Berberich, 1996; Kohfeld et al., 1996). Im Frühsommer treten dagegen die höchsten Flußraten auf. Sautter & Sancetta (1992) konnten einen Zusammenhang zwischen Diatomeen-Frühjahrsblüten und der darauffolgenden, zeitlich versetzten Vermehrung von *N. pachyderma* (s) belegen.

Diese Übereinstimmung hinsichtlich der Morphologie, Gehäusegeochemie und rezenter Lebensweise spielt für die biogeographische Verteilung von *N. pachyderma* (s) eine große Rolle: Eine plausible Erklärung für diese hohe Übereinstimmung bei morphologischen und geochemischen Merkmalen in Gehäusen von *N. pachyderma* (s) könnte in einem rezenten Austausch von lebenden Individuen vom Süd- in den Nordatlantik liegen (Abb. 27). Dabei wäre ein nordwärts gerichteter Transportweg über die Auftriebszelle vor Namibia denkbar, in deren Bereich eine erhöhte Anzahl von Individuen von *N. pachyderma* (s) im Vergleich zu den umgebenden Wassermassen auftritt (Niebler, 1995). Thiede (1983) wies *G. bulloides*, *G. glutinata* und *N. dutertrei* als die wichtigsten planktischen Foraminiferenarten in Auftriebszellen vor NW-Afrika nach. Dabei konnte er vor allem anhand der prozentualen Verteilung von *G. bulloides* und *N. dutertrei* aufzeigen, daß Auftriebszellen vor NW-Afrika ihre Hauptausdehnung in N-S-Richtung und eine Breite von nur ca. 50 km besitzen. Vor allem die Verteilung der planktischen Foraminiferenart *N. dutertrei* zeichnet diese Ausdehnung der Auftriebszellen besonders eindrucksvoll nach (Thiede, 1983).

Gibt es in den Auftriebszellen der niederen Breiten, z.B. vor NW-Afrika, isolierte Vorkommen von *N. pachyderma* (s), die "inselartig" nur hier und unter glazialen Bedingungen auftreten? Einen Hinweis darauf geben Naidu & Malmgren (1996), die das Vorkommen von *N. pachyderma* (s) in glazialen Sedimenten unter einer Auftriebszelle vor Oman nachwiesen, einem Gebiet, in dem *N. pachyderma* (s) rezent nicht vorkommt. Weitere Nachweise von *N. pachyderma* (s) in Auftriebsgebieten sollten zur Klärung der Frage beitragen, ob die Verbreitungslücke von *N. pachyderma* (s) im Atlantik in ihrer rezenten Ausdehnung auch während glazialer Phasen bestand oder aber einzelne "Fenster" für einen Austausch von *N. pachyderma* (s) offenließ.

Bipolare Verteilung von *N. pachyderma* (s):

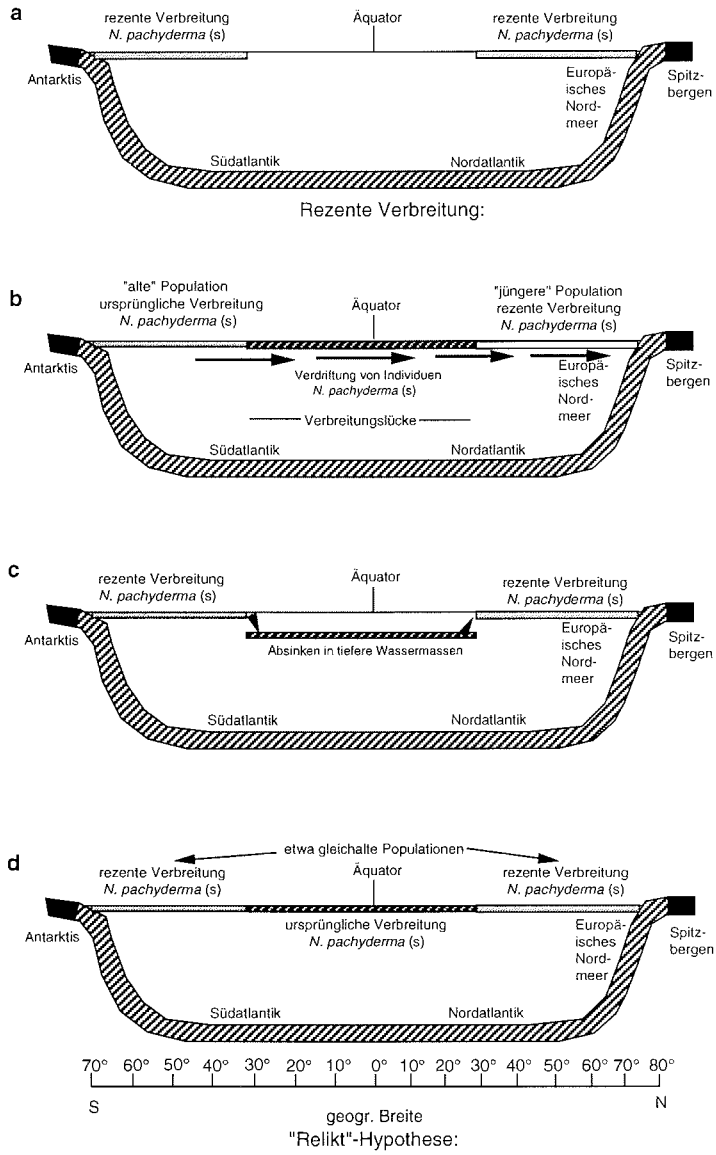


Abb. 26a-d: Schematische Darstellung von Hypothesen zur bipolaren Verteilung von *N. pachyderma* (s) im Atlantischen Ozean.

8.6 Zukünftige Forschungsansätze

Um die Bipolarität direkt nachweisen zu können, müßten DNA-Vergleiche an rezenten Individuen beider Populationen im Atlantik vorgenommen zu werden. Eine systematische Bearbeitung von *N. pachyderma* anhand eines N-S-Profiles von ODP-Bohrungen zwischen Nord- und Südatlantik könnte Aufschluß über den zeitlichen und räumlichen Ablauf biogeographischer Verteilungsmuster von *N. pachyderma* geben.

In Untersuchungen über bipolare Verbreitungsmuster planktischer Foraminiferen sollten auch subpolar verbreitete planktische Foraminiferen wie z. B. *T. quinqueloba* miteinbezogen werden. Auch andere planktische Organismengruppen wie Diatomeen, Radiolarien könnten mit bipolar verteilten Arten weitere Fragestellungen zu ihrer biogeographischen Verbreitung klären helfen. Neben bipolar verteilten Faunen aus dem Atlantik sollten auch pazifische Faunen hoher Breiten in die vergleichenden Untersuchungen miteinbezogen werden, um Unterschiede und Gemeinsamkeiten in ihrer biogeographischen Verteilung herauszustellen. Vor allem die Verteilung von planktischen Foraminiferen hoher Breiten in Auftriebsgebieten und ihr mögliches isoliertes Vorkommen könnte ein Schlüssel für das rezente Vorkommen entsprechender Individuen in hohen Breiten darstellen.

8. Diskussion

	Arktischer Ozean	Weddalsee	Europäisches Nordmeer	Südatlantik
Morphologie:				
Gestalt der Einzelkammern	eher länglich, ellipförmig	eher rundlich	eher länglich	eher rundlich
Lippen an Endkammer	undeutlich	deutlich	kaum vorhanden	undeutlich
Porengröße, -dichte	dicht	dicht	dicht	dicht
Kammerzahl in erster Windung:	max. 4	max. 4	max. 5	max. 5
Kalzifizierung	sehr deutlich	deutlich	schwach	sehr schwach
Biometrische Analysen:				
Mittlere Gehäusedurchmesser	ca. 150-260 µm "Piesennindividen" im Isopopsstadium 2	ca. 140-500 µm	ca. 150-270 µm	ca. 130-290 µm
Rundungsgrad der Schalen	relativ hoch	relativ hoch	etwas undeutlicher	etwas undeutlicher
Verteilung von Phänotypen: (an <i>N. pachyderma</i> gesamt)				
Phänotypen vorhanden	alle drei Phänotypen vorhanden	alle drei Phänotypen vorhanden	alle drei Phänotypen vorhanden	alle drei Phänotypen vorhanden
Häufigkeit von Wurstkammer-Individuen	max. 20 %	max. 70 %	max. 20 %	max. 4 %
Häufigkeit von aberranten Individuen	max. 7 %	max. 5,5 %	max. 6,5 %	max. 7,5 %
Häufigkeit von Kümmerform-Individuen	max. 35 %	max. 25 %	max. 43 %	max. 7,5 %
Ergebnisse aus anderen Arbeiten:				
Mt-Temperaturvergleich Nürnberg, 1995 (Nürnberg, unveröff. Daten)			Nordatlantik etwas höheres Niveau als im Südatlantik	etwas geringeres Niveau als im Nordatlantik
Morphologischer Vergleich (Kennett, 1970)	geringfügige Unterschiede zum antarktischen Bereich	geringfügige Unterschiede zwischen arktischem und antarktischem Bereich		
Isotopenmessungen an Morphotypen (Healy-Williams, 1992)			Gleicher Vitaleffekt wie im Südrindk	

Tabelle 4. Vergleichende Daten über *N. pachyderma* (s) im Nord- und Südatlantik.

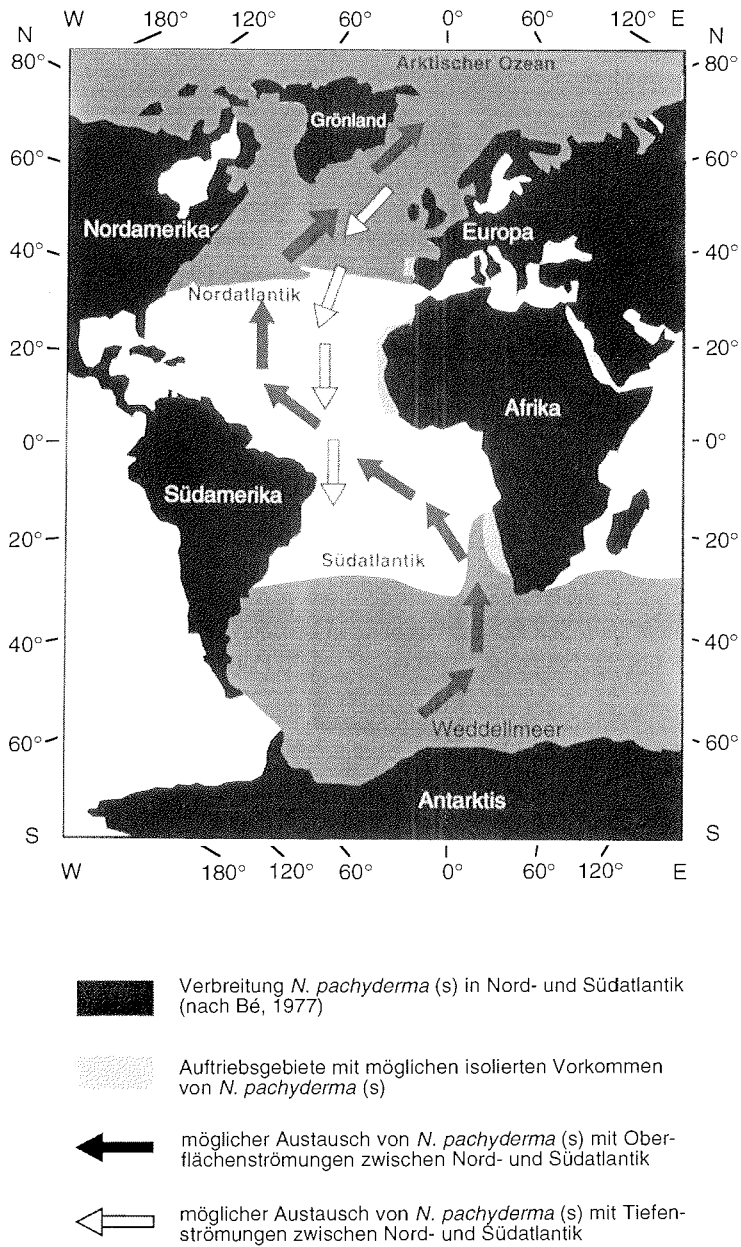


Abb. 27: Möglicher rezenter Austausch von bipolaren Populationen *N. pachyderma* (s) zwischen Nord- und Südatlantik.

9. SCHLUSSFOLGERUNGEN:

Bei einem Vergleich zwischen den Populationen von *N. pachyderma* (s) im Arktischen Ozean, Europäischen Nordmeer, Südatlantik und Weddellmeer bestehen nur geringe Unterschiede in der Gehäusemorphologie, die auf eine ähnliche Anpassung an polare Oberflächenwassermassen schließen lassen.

Biometrische Untersuchungen an *N. pachyderma* (s) ergeben deutliche Unterschiede in den Gehäusegrößen nur in den von polaren Wassermassen geprägten Sedimentkernen während Kaltphasen und können vor allem mit der unterschiedlichen Lebensweise von *N. pachyderma* (s) im Meereis des Weddellmeeres und in der Wassersäule im zentralen Arktischen Ozean erklärt werden.

Die Veränderlichkeit in den Gehäusegrößen und der Häufigkeit von *N. pachyderma* (s) dürfte vor allem an Temperaturschwankungen der Oberflächenwassermassen gekoppelt sein, wechselnde Salzgehalte spielen hierfür nur eine untergeordnete Rolle.

Konzentrations- und Größenschwankungen von Gehäusen von *N. pachyderma* (s) und (d) sowie von *T. quinqueloba* in der Fraktion <150 µm variieren in den Untersuchungsgebieten beträchtlich und bilden eine zusätzliche paläo-ozeanographische Informationsquelle für die Rekonstruktion von Oberflächentemperaturen.

N. pachyderma (d) kommt in geringen Konzentrationen in beiden Polargebieten während der letzten 140.000 Jahre vor und läßt auf eine Verbreitung in den Polargebieten schließen.

In beiden Populationen von *N. pachyderma* (s) läßt sich ein bisher nicht beschriebener neuer Phänotyp mit stark verlängerten, wurstförmigen Endkammern, den sog. "Wurstkammern" nachweisen.

Die Wurstkammer-Individuen treten in salzarmen Oberflächenwassermassen während interglazialer Phasen besonders häufig auf und stellen damit einen zusätzlichen Anzeiger für die Beschaffenheit von Oberflächenwassermassen in hohen Breiten dar.

T. quinqueloba besitzt in subpolaren Oberflächenwassermassen des Europäischen Nordmeeres und Südatlantiks während des Substadiums 5.51 und des Holozäns ihr Häufigkeitsmaximum und zeichnet vor allem im Bereich ozeanographischer Fronten den Einfluß unterschiedlicher Oberflächenwassermassen nach.

Morphologische und geochemische Ähnlichkeiten von Gehäusen von *N. pachyderma* (s) in Nord- und Südatlantik deuten auf einen rezenten Austausch beider Populationen hin. Am wahrscheinlichsten ist dabei ein Transport lebender Individuen vom Süd- in den Nordatlantik. Besonders isoliert vorkommende Individuen in Auftriebsgebieten könnten einen solchen Austausch begünstigen.

10. DANK

Herzlich möchte ich mich bei Herrn Prof. J. Thiede für die Vergabe der Arbeit bedanken. Weiterhin gilt mein Dank Dr. H. Bauch, der diese Arbeit betreute und der mir mit vielen Diskussionen beim Fortgang der Arbeit half. Dr. D. Nürnberg stellte mir Datensätze zur Verfügung und konnte mir vor allem bei Diskussionen über die Paläo-Ozeanographie des Südatlantiks behilflich sein. Herrn Prof. M. Spindler danke ich für eingehende Diskussionen über die Ökologie der planktischen Foraminifere *N. pachyderma*.

Probenmaterial stellten Dr. H. Bauch (GEOMAR), Dr. E. Vogelsang, Dr. H. Grobe und Dr. A. Mackensen (beide AWI Bremerhaven) zur Verfügung. Vor allem danke ich Dr. A. Mackensen, Dr. H. Grobe, Dr. J. Bijma und Dr. G. Kuhn (AWI Bremerhaven) für die unkomplizierte Zusammenarbeit und für Tips und Anregungen besonders hinsichtlich der ozeanographischen Verhältnisse im Südatlantik. Dr. D. Berberich konnte mir über die Lebensweise von *N. pachyderma* im Weddellmeer nützliche Anregungen geben.

Von der alten Bungalow-Crew seien vor allem Dr. H. Bauch, Dr. C. Hass, Dr. M. Kubisch-Popp, Dr. M. Antonow, C. Didié, J.-M. Wolfsdorf und J. Helmke genannt, die für eine gute Arbeitsatmosphäre sorgten.

Desweiteren möchte ich besonders Dr. S. Kinsey und Dr. P. Goldschmidt erwähnen, an die ich mich immer wenden konnte, wenn es um Übersetzungen ins Englische ging.

Die kritische Durchsicht früherer Fassungen dieser Arbeit übernahmen Dr. C. Hass, C. Didié und C. Willamowski.

A. v. Doetinchem sei vor allem für seine Aufmerksamkeit hinsichtlich meiner Arbeiten am REM gedankt, ebenso J. Heinze für die Entwicklung der REM-Aufnahmen.

Schließlich sei meinen Eltern und all denen gedankt, die mich in der Endphase unterstützt haben. Für die finanzielle Unterstützung danke ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

11. LITERATUR

- Aagaard, K. & Carmack, E.C. (1989). "The role of sea ice and other fresh water in the Arctic circulation." *Journal of Geophysical Research* **94** (C10): 14487-14498.
- Aagaard, K. & Carmack, E.C. (1994). "The Arctic Ocean and climate: a perspective." In: *The polar oceans and their role in shaping the global environment. Geophysical Monograph. Johannessen, O.M., Muench, R.D. and Overland, J.E. (eds.). Washington D.C., American Geophysical Union* **85**: 5-20.
- Aagaard, K., Coachman, L.K. & Carmack, E.C. (1981). "On the halocline of the Arctic Ocean." *Deep-Sea-Research* **28**: 529-545.
- Aagaard, K., Foldvik, A. & Hillman, S.R. (1987). "The West Spitsbergen Current: Disposition and water mass transformation." *Journal of Geophysical Research* **92** (C4): 3778-3784.
- Aagaard, K., Swift, J.H. & Carmack, E.C. (1985). "Thermohaline circulation in the Arctic Mediterranean Seas." *Journal of Geophysical Research* **90** (C3): 4833-4846.
- Abramov, V.A. (1994). "Sea ice variation and biological productivity in the Polar Basin." In: *Surface-sediment composition and sedimentary processes in the central Arctic Ocean and along the Eurasian Continental Margin. Kassens, H., Hubberten, H.W., Priamikov, S. and Stein, R. (eds.). Berichte zur Polarforschung* **144**: 55-68.
- Ackley, S.F. (1987). "Algal and foram incorporation into new sea ice." *Eos* **68** (50): 1736.
- Aksu, A.E. & Vilks, G. (1988). "Stable isotopes in planktonic and benthic foraminifera from Arctic Ocean surface sediments." *Canadian Journal of Earth Sciences* **25**: 701-709.
- Andersen, O.G.N. (1989). "Primary production, chlorophyll, light, and nutrients beneath the Arctic Sea ice." In: *The Arctic Seas. Herman, Y. (ed.). New York, Van Nostrand Reinhold*: 123-146.
- Anderson, L. & Dyrssen, D. (1989). *Chemical oceanography of the Arctic Ocean. In: The Arctic Seas. Herman, Y. (ed.). New York, Van Nostrand Reinhold Company*: 93-114.
- Arikawa, R. (1983). "Distribution and taxonomy of *Globigerina pachyderma* (Ehrenberg) off the Sariku coast, northeast Honshu, Japan." Unveröffentl. Dissertationsarbeit Tohoku University.
- Augstein, E., Hempel, G. & Thiede, J. (1984). "Fahrtbericht (cruise report) der "Polarstern"-Reise ARKTIS I, 1983." *Berichte zur Polarforschung* **17**: 1-192.
- Bandy, O.L., Frerich, W.E. & Vincent, E. (1967). "Origin, development and geologic significance of *Neogloboquadrina* Bandy, Frerichs, and Vincent, Gen. Nov." *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*. **18** (4): 152-157.
- Banner, F.T. & Blow, W.H. (1960). "The taxonomy, morphology and affinities of the genera included in the subfamily Hastigeriinae." *Micropaleontology* **6**: 19-31.
- Bathmann, U., Schulz-Baldes, M., Fahrbach, E., Smetacek, V., Hubberten, H.-W. & (Hrsg.) (1992). "Die Expeditionen ANTARKTIS IX/1-4 des Forschungsschiffes "Polarstern" 1990/91." *Berichte zur Polarforschung* **100**: 1-403.
- Bauch, D. (1995). "The distribution of $\delta^{18}\text{O}$ in the Arctic Ocean: Implications for the freshwater balance of the halocline and the sources of deep and bottom waters." *Berichte zur Polarforschung* **159**: 1-144.
- Bauch, D., Carstens, J. & Wefer, G. (1997). "Oxygen isotope composition of living *Neogloboquadrina pachyderma* (sin.) in the Arctic Ocean." *Earth and Planetary Science Letters* **146**: 47-58.

11. Literatur

- Bauch, H. (1993). "Planktische Foraminiferen im Europäischen Nordmeer - ihre Bedeutung für die paläo-ozeanographische Interpretation während der letzten 600.000 Jahre." Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313 der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel **40**: 1-108.
- Bauch, H.A. (1994). "Significance of variability in *Turborotalita quinqueloba* (Natland) test size and abundance for paleoceanographic interpretations in the Norwegian-Greenland Sea." Marine Geology **121**: 129-141.
- Bauch, H.A. (1997). "Paleoceanography of the North Atlantic Ocean (68°-76°N) during the past 450ky deduced from planktic foraminiferal assemblages and stable isotopes." In: Contributions to the micropaleontology and paleoceanography of the northern North Atlantic. Hass, H.C. and Kaminski, M.A. (eds.). Krakow, Grzybowski Foundation Special Publication **5**: 83-100.
- Bauch, H.A. & Weinelt, M.S. (1997). "Surface water changes in the Norwegian Sea during last deglacial and holocene times." Quaternary Science Reviews **15**: 1-10.
- Baumann, M. (1990). "Coccoliths in sediments of the eastern Arctic basin." In: Geological history of the polar oceans: Arctic versus Antarctic (NATO ASI Series C). Bleil, U. and Thiede, J. (eds.). Dordrecht, Kluwer Academic Publishers **308**: 437-445.
- Bé, A.W.H. (1977). "An ecological, zoogeographic and taxonomic review of recent planktonic foraminifera." In: Oceanic Micropaleontology. Ramsay, A.T.S. (eds.). London, Academic Press: 1-100.
- Bé, A.W.H., Hemleben, C., Anderson, O.R., Spindler, M., Hacunda, J. & Tuntivate-Choy, S. (1977a). "Laboratory and field observations of living planktonic foraminifera." Micropaleontology **23** (2): 155-179.
- Bé, A.W.H. & Hutson, W.H. (1977b). "Ecology of planktonic foraminifera and biogeographic patterns of life and fossil assemblages in the Indian Ocean." Micropaleontology **23** (4): 369-414.
- Belkin, I.M. & Gordon, A.L. (1996). "Southern Ocean fronts from the Greenwich Meridian to Tasmania." Journal of Geophysical Research **101** (2): 3675-3696.
- Berberich, D. (1996). "Die planktische Foraminifere *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg) im Weddellmeer, Antarktis." Berichte zur Polarforschung **195**: 1-193.
- Berger, W.H. (1969). "Kummerform foraminifera as clues to oceanic environments." Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists **53**: 706.
- Berger, W.H. & Piper, J.W. (1972). "Planktonic foraminifera: differential settling, dissolution, and redeposition." Limnology and Oceanography **17** (2): 275-287.
- Bijma, J., Faber, W.W.J. & Hemleben, C. (1990a). "Temperature and salinity limits for growth and survival of some planktonic foraminifera in laboratory cultures." Journal of Foraminiferal Research **20** (2): 95-116.
- Bijma, J., Erez, J. & Hemleben, C. (1990b). "Lunar and semi-lunar reproductive cycles in some spinose planktonic foraminifera." Journal of Foraminiferal Research **20** (2): 117-127.
- Birgisdóttir, L. (1991). "Die paläo-ozeanographische Entwicklung der Islandsee in den letzten 550.000 Jahren." Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313 der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, **34**: 1-112.
- Bock, I. (1990). "Bestand und Sedimentation von planktischen Foraminiferen im Europäischen Nordmeer." Unveröffentl. Diplomarbeit, Universität Kiel.
- Bolli, H.M. & Saunders, J.B. (1985). "Oligocene to Holocene low latitude planktic foraminifera." In: Plankton stratigraphy. Bolli, H.N., Saunders, J.B. and Perch-Nielsen, K. (eds.). Cambridge, Cambridge University Press: 155-262.

11. Literatur

- Boltovskoy, E. (1962). "Planktonic foraminifera as indicators of different water masses in the South Atlantic." *Micropaleontology* **8** (3): 403-408.
- Boltovskoy, E. (1982). "Twinned and flattened tests in planktonic foraminifera." *Journal of Foraminiferal Research* **12** (1): 79-82.
- Boltovskoy, E., Boltovskoy, D., Correa, N. & Brandini, F. (1996). "Planktic foraminifera from the southwestern Atlantic (30°-60°S): species-specific patterns in the upper 50 m." *Marine Micropaleontology* **28**: 53-72.
- Bönisch, G. & Schlosser, P. (1995). "Deep water formation and exchange rates in the Greenland/Norwegian Seas and in the Eurasian Basin of the Arctic Ocean derived from tracer balances." *Progress in Oceanography* **35**: 29-52.
- Brathauer, U. (1996). "Rekonstruktion quartärer Klimaänderungen im atlantischen Sektor des Südpolarmeeres anhand von Radiolarien." *Berichte zur Polarforschung* **216**: 1-163.
- Broecker, W.S. (1992). "The glacial world according to Wally." New York, Lamont-Doherty Geological Observatory of Columbia University: 89 pp.
- Brown, S. & Elderfield, H. (1996). "Variations in Mg/Ca and Sr/Ca ratios of planktonic foraminifera caused by postdepositional dissolution: evidence of shallow Mg-dependent dissolution." *Paleoceanography* **11** (5): 543-551.
- Carstens, J., Hebbeln, D. & Wefer, G. (1997). "Distribution of planktic foraminifera at the ice margin in the Arctic (Fram Strait)." *Marine Micropaleontology* **29**: 257-269.
- Carstens, J. & Wefer, G. (1992). "Recent distribution of planktonic foraminifera in the Nansen Basin, Arctic Ocean." *Deep-Sea Research* **39** (2): 507-524.
- Cifelli, R. (1961). "*Globigerina incompta*, a new species of pelagic foraminifera from the North Atlantic." *Contributions to the Cushman Foundation for Foraminiferal Research* **12** (3): 83-86.
- Cifelli, R. (1973). "Observations of *Globigerina pachyderma* (Ehrenberg) and *Globigerina incompta* (Cifelli) from the North Atlantic Ocean." *Journal of Foraminiferal Research* **3**: 157-166.
- Cronblad, H.G. & Malmgren, B.A. (1981). "Climatically controlled variation of Sr and Mg in Quaternary planktonic foraminifera." *Nature* **291**: 61-64.
- Deuser, W.G. & Ross, E.H. (1989). "Seasonally abundant planktonic foraminifera of the Sargasso Sea: succession, deep-water fluxes, isotopic compositions, and paleoceanographic implications." *Journal of Foraminiferal Research* **19** (4): 268-293.
- Deuser, W.G., Ross, E.H., Hemleben, C. & Spindler, M. (1981). "Seasonal changes in species composition, numbers, mass, size, and isotopic composition of planktonic foraminifera settling into the deep Sargasso Sea." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **33**: 103-127.
- Dieckmann, G.S. & Kipfstuhl, S. (1995). "Unterwassereis und grüne Eisberge." In: *Biologie der Polarmeere*. Hempel, I. and Hempel, G. (eds.). Jena, Gustav Fischer Verlag: 86-94.
- Dieckmann, G.S., Spindler, M., Lange, M.A., Ackley, S.F. & Eicken, H. (1991). "Antarctic sea ice: a habitat for the foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma*." *Journal of Foraminiferal Research* **21** (2): 182-189.
- Dietrich, G., Kalle, K., Krauss, W. & Siedler, G. (1975). "Allgemeine Meereskunde." Berlin, Gebrüder Bornträger. 593 pp.
- Dodd, J.R. & Stanton, R.J.J. (1990). "Paleoecology - concepts and applications." New York, John Wiley & Sons: 502 pp.

11. Literatur

- Donner, B. & Wefer, G. (1994). "Flux and stable isotope composition of *Neogloboquadrina pachyderma* and other planktonic foraminifers in the southern ocean (Atlantic sector)." *Deep-Sea Research* **41**: 1733-1743.
- Eicken, H. (1995). "Wie polar wird ein Polarmeer durch das Meereis?" In: *Biologie der Polarmeere*. Hempel, I. and Hempel, G. (eds.). Jena, Gustav Fischer Verlag: 86-94.
- Ekman, S. (1967). "Zoogeography of the sea." London, Sidgwick and Jackson Ltd.: 417 pp.
- Ericson, D.B. (1959). "Coiling direction of *Globigerina pachyderma* as a climatic index." *Science* **130**: 219-220.
- Fahrbach, E. (1995). "Die Polarmeere - ein Überblick." In: *Biologie der Polarmeere*. Hempel, I. and Hempel, G. (eds.). Jena, Gustav Fischer Verlag: 24-44.
- Foldvik, A. & Gammelsrød, T. (1988). "Notes on southern ocean hydrography, sea-ice and bottom water formation." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **67**: 3-17.
- Foldvik, A., Gammelsrød, T. & Törresen, T. (1985). "Circulation and water masses in the southern Weddell Sea shelf." In: *Oceanology of the Antarctic Continental Shelf*. Antarctic Research Series. Jacobs, S.S. (eds.). Washington D.C., American Geophysical Union **43**: 5-20.
- Fütterer, D.K.H. (Hrsg.) (1987). "Die Expedition ANTARKTIS-IV mit FS "Polarstern" 1985/86 - Bericht von den Fahrtabschnitten ANT-IV/3-4." *Berichte zur Polarforschung* **33**: 1-204.
- Fütterer, D.K. (Hrsg.) (1992). "ARCTIC 91: Die Expedition ARK-VIII/3 mit FS "Polarstern" 1991." *Berichte zur Polarforschung* **107**: 1-267.
- Gerlach, S.A., Thiede, J., Graf, G. & Werner, F. (1986). "Forschungsschiff METEOR, Reise 2 vom 19. Juni bis 16. Juli 1986." *Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313 der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel* **4**: 1-140.
- Gerlach, S.A. & Graf, G. (1991). "Europäisches Nordmeer, Reise Nr. 13 vom 6. Juli-24. August 1990." *Meteor Berichte*, **91**: 1-217.
- Gersonde, R. (1995). "Die Expedition ANTARKTIS-XI/2 mit FS "Polarstern" 1993/94." *Berichte zur Polarforschung* **163**: 1-133.
- Grobe, H. & Mackensen, A. (1992). "Late quaternary climatic cycles as recorded in sediments from the Antarctic continental margin." In: *The Antarctic paleoenvironment: a perspective on global change*. Kennett, J.P. and Warnke, D.A. (eds.). Washington, American Geophysical Union **56**: 349-376.
- Grobe, H., Mackensen, A., Hubberten, H.-W., Spiess, V. & Fütterer, D.K. (1990). "Stable isotope record and late Quaternary sedimentation rates at the Antarctic continental margin." In: *Geological history of the polar oceans: Arctic versus Antarctic*. Bleil, U. and Thiede, J. (eds.). Dordrecht, Kluwer Academic Publishers **C 308**: 539-572.
- Healy-Williams, N. (1992). "Stable isotope differences among morphotypes of *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg): implications for high-latitude palaeoceanographic studies." *Terra Nova* **4**: 693-700.
- Hecht, A.D. (1973). "A model for determining Pleistocene paleotemperatures from planktonic foraminiferal assemblages." *Micropaleontology* **19** (1): 68-77.
- Hecht, A.D. & Savin, S.M. (1970). "Oxygen-18 studies of recent planktonic foraminifera: Comparisons of phenotypes and of test parts." *Science* **170**: 69-71.
- Hecht, A.D. & Savin, S.M. (1971). "Oxygen-18 studies of recent planktonic foraminifera." *Science* **173**: 167-169.

11. Literatur

- Hellmer, H.H., Bersch, M., Augstein, E. & Grabemann, I. (1985). "The Southern Ocean: a survey of oceanographic and marine meteorological work." *Berichte zur Polarforschung* **26**: 1-115.
- Hemleben, C., Spindler, M. & Anderson, O.R. (1989). "Modern planktonic foraminifera." New York, Springer-Verlag: 363 pp.
- Hemleben, C., Spindler, M., Breiting, I. & Ott, R. (1987). "Morphological and physiological responses of *Globigerinoides sacculifer* (BRADY) under varying laboratory conditions." *Marine Micropaleontology* **12**: 305-324.
- Hentschel, E. & Wagner, G. (1986). "Zoologisches Wörterbuch." Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart: 672 pp.
- Hibler III, W.D. (1989). "Arctic ice-ocean dynamics." In: *The Arctic Seas*. Herman, Y. (eds.). New York, Van Nostrand Reinhold: 47-91.
- Higgins, A.K. (1989). "North Greenland ice islands." *Polar Record*, **25** (154): 207-212.
- Hilbrecht, H. (1997). "Morphologic gradation and ecology in *Neogloboquadrina pachyderma* and *N. dutertrei* (planktic foraminifera) from core top sediments." *Marine Micropaleontology* **31**: 31-43.
- Horner, R.A., Syvertsen, E.E., Thomas, D.P. & Lange, C. (1988). "Proposed terminology and reporting units for sea ice algal assemblages." *Polar Biology*, **8**: 249-253.
- Imbrie, J. & Kipp, N.G. (1971). "A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology: Application to a late Pleistocene Caribbean core." In: *The late Cenozoic glacial ages*. Turekian, K.K. (eds.) New Haven, Yale University Press: 71-181.
- Johannessen, O.M. (1986). "Brief overview of the physical oceanography." In: *The Nordic Seas*. Hurdle, B.G. (eds.). New York, Springer-Verlag: 103-127.
- Jones, G.A. & Keigwin, L.D. (1988). "Evidence from Fram Strait (78°) for early deglaciation." *Nature* **336**: 56-59.
- Keller, G. (1978). "Morphologic variation of *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg) in sediments of the marginal and central northeast Pacific Ocean and paleoclimatic interpretation." *Journal of Foraminiferal Research* **8** (3): 208-224.
- Kellog, T.B. (1980). "Paleoclimatology and paleoceanography of the Norwegian and Greenland Seas: glacial-interglacial contrasts." *Boreas* **9**: 115-137.
- Kennett, J.P. (1968). "Latitudinal variation in *Globigerina pachyderma* (Ehrenberg) in surface sediments of the southwest Pacific Ocean." *Micropaleontology* **14** (3): 305-318.
- Kennett, J.P. (1970). "Comparison of *Globigerina pachyderma* (Ehrenberg) in Arctic and Antarctic areas." *Contributions to the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*. **21** (2): 47-49.
- Kennett, J.P. (1979). "Recent zoogeography of antarctic plankton microfossils." In: *Zoogeography and diversity of plankton*. Van der Spoel, S. & Pierrot-Bults, A.C. (eds.). Utrecht, Bunge Scientific Publishers: 328-355.
- Kennett, J.P. & Srinivasan, M.S. (1983). "Neogene Planktonic Foraminifera." Stroudsburg, Pennsylvania, Hutchinson Ross Publishing Company: 265 pp.
- Kirst, G.O. (1995). "Von der Salztoleranz zum Klima: Was haben ökophysiologische Untersuchungen an Meereis-Algen mit dem Klima zu tun?" In: *Biologie der Polarmeere*. Hempel, I. and Hempel, G. (eds.). Jena, Gustav Fischer Verlag: 138-146.
- Koerner, R.M. (1973). "The mass balance of the sea ice of the Arctic Ocean." *Journal of Glaciology* **12** (63): 173-185.

11. Literatur

- Kohfeld, K.E., Fairbanks, R.G., Smith, S.L. & Walsh, I.D. (1996). "*Neogloboquadrina pachyderma* (sinistral coiling) as paleoceanographic tracers in polar oceans: Evidence from Northeast Water Polynya plankton tows, sediment traps and surface sediment samples." *Paleoceanography* **11** (6): 679-699.
- Köhler, S. (1992). "Spätquartäre paläo-ozeanographische Entwicklung des Nordpolarmeeres und Europäischen Nordmeeres anhand von Sauerstoff- und Kohlenstoff-Isotopenverhältnissen der planktischen Foraminifere *Neogloboquadrina pachyderma* (sin.)." GEOMAR Report **13**: 1-104.
- Kuhn, G.H. (in Vorbereitung). "Die Expedition ANTARKTIS-XI/4 mit FS "Polarstern" 1994." Berichte zur Polarforschung.
- Lange, M.A., Ackley, S.F., Wadhams, P., Dieckmann, G.S. & Eicken, H. (1989). "Development of sea ice in the Weddell Sea, Antarctica." *Annals of Glaciology* **12**: 92-96.
- Levitus, S. (1982). "Climatological atlas of the world ocean." NOAA Professional Papers, Washington D.C., U.S. Government Printing Office **13**: 173 pp.
- Lohmann, G.P. (1995). "A model for variation in the chemistry of planktonic foraminifera due to secondary calcification and selective dissolution." *Paleoceanography* **10** (3): 445-457.
- Lutjeharms, J.R.E., Walters, N.M. & Allanson, B.R. (1985). "Oceanic frontal systems and biological enhancement." In: Antarctic nutrient cycles and food webs. Siegfried, W.R., Condy, P.R. and Laws, R.M. (eds.). New York, Springer-Verlag: 11-21.
- Mackensen, A., Grobe, H., Hubberten, H.-W. & Kuhn, G. (1994). "Benthic foraminiferal assemblages and the $\delta^{13}\text{C}$ -signal in the Atlantic sector of the southern ocean: glacial-to-interglacial contrasts." In: Carbon cycling in the glacial ocean: constraints on the ocean's role in global change. Zahn, R., Pedersen, T.F., Kaminski, M.A. and Labeyrie, L.D. (eds.). New York, Springer-Verlag: 105-144.
- Malmgren, B.A. & Kennett, J.P. (1972). "Biometric analysis of phenotypic variation: *Globigerina pachyderma* (Ehrenberg) in the South Pacific Ocean." *Micropaleontology* **18**: 241-248.
- Malmgren, B.A. & Kennett, J.P. (1978). "Test size variation in *Globigerina bulloides* in response to Quaternary paleoceanographic changes." *Nature* **275**: 123-124.
- Martinson, D.G., Pisias, N.G., Hays, J.D., Imbrie, J., Moore, T.C.J. & 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." *Quaternary Research* **27**: 1-29.
- Maykut, G.A. (1985). "The ice environment." In: Sea ice biota. Horner, R.A. (eds.). Boca Raton, CRC Press: 21-82.
- Meggers, H. (1996). "Pliozän-quartäre Karbonatsedimentation und Paläozeanographie des Nordatlantiks und des Europäischen Nordmeeres - Hinweise aus planktischen Foraminiferengemeinschaften." *Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen* **71**: 1-143.
- Michels, K. (1995). "Strömungssortierung quartärer Sedimente des Europäischen Nordmeeres: Analyse von Sinkgeschwindigkeits-Verteilungen." *Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313 der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel* **55**: 1-127.
- Millero, F.J. (1993). "What is PSU?" *Oceanography*, **6** (3): 67.
- Myhre, A.M. & Thiede, J. (1995). "North Atlantic-Arctic Gateways." In: Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports. Marin, J.A. (eds.). College Station, National Science Foundation Joint Oceanographic Institutions, Inc. **151**: 5-26.

11. Literatur

- Naidu, P.D. & Malmgren, B.A. (1996). "Relationship between late Quaternary upwelling history and coiling properties of *Neogloboquadrina pachyderma* and *Globigerina bulloides* in the Arabian Sea." *Journal of Foraminiferal Research* **26** (1): 64-70.
- Niebler, H.-S. (1995). "Rekonstruktionen von Paläo-Umweltparametern anhand von stabilen Isotopen und Faunen-Vergesellschaftungen planktischer Foraminiferen im Südatlantik." *Berichte zur Polarforschung* **167**: 1-198.
- Nørgaard-Pedersen, N. (1997). "Late Quaternary Arctic Ocean sediment records: surface ocean conditions and provenance of ice-rafted debris." GEOMAR Report im Druck.
- Nürnberg, D. (1991). "Haupt- und Spurenelemente in Foraminiferengehäusen - Hinweise auf klimatische und ozeanographische Änderungen im nördlichen Nordatlantik während des Spätquartärs." GEOMAR Report **8**: 1-117.
- Nürnberg, D. (1995). "Magnesium in tests of *Neogloboquadrina pachyderma* sinistral from high northern and southern latitudes." *Journal of Foraminiferal Research* **25** (4): 350-368.
- Nürnberg, D., Bijma, J. & Hemleben, C. (1996). "Assessing the reliability of magnesium in foraminiferal calcite as a proxy for water mass temperatures." *Geochimica et Cosmochimica Acta* **60** (5): 803-814.
- Olsson, R. (1973). "What is a kummerform planktonic foraminifer?" *Journal of Paleontology* **47** (2): 327-329.
- Orsi, A.H., Whitworth III, T. & Nowlin Jr., W.D. (1995). "On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current." *Deep-Sea Research* **42**: 641-673.
- Paquette, R.G., Bourke, R.H., Newton, J.F. & Perdue, W. (1985). "East Greenland polar front in autumn." *Journal of Geophysical Research* **90** (C3): 4866-4882.
- Peterson, R.G. & Whitworth III, T. (1989). "The subantarctic and polar Fronts in relation to deep water masses through the southwestern Atlantic." *Journal of Geophysical Research* **94**: 10817-10838.
- Pfannkuche, O., Duinker, J.C., Graf, G., Henrich, R., Thiel, H. & Zeitschel, B.H. (1993). "Reise Nr. 21, 16. März - 31. August 1992." METEOR-Berichte, Universität Hamburg **93-4**: 1-281.
- Pflaumann, U., Duprat, J., Pujol, C. & Labeyrie, L.D. (1996). "SIMMAX: A modern analog technique to deduce Atlantic sea surface temperatures from planktonic foraminifera in deep-sea sediments." *Paleoceanography* **11** (1): 15-35.
- Quadfasel, D., Rudels, B. & Kurz, K. (1988). "Outflow of dense water from a Svalbard fjord into the Fram Strait." *Deep-Sea Research* **35** (7): 1143-1150.
- Reid, J.L., Nowlin Jr., W.D. & Patzert, W.C. (1977). "On the characteristics and circulation of the Southwestern Atlantic Ocean." *Journal of Physical Oceanography* **7**: 62-91.
- Reimnitz, E. & Kempema, E.W. (1987). "Field observations of slush ice generated during freeze-up in Arctic coastal waters." *Marine Geology* **77**: 219-231.
- Reynolds, L.A. & Thunell, R.C. (1986). "Seasonal production and morphologic variation of *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg) in the northeast Pacific." *Micropaleontology* **32** (1): 1-18.
- Rhumbler, L. (1911). "Die Foraminiferen (Thalamophoren) der Plankton-Expedition. Erster Teil: Die allgemeinen Organisations-Verhältnisse der Foraminiferen." *Ergebnisse der Plankton-Expedition der Humboldt-Stiftung* **3**: 1-331.
- Rudels, B. (1989). "The formation of Polar Surface Water, the ice export, and the exchanges through the Fram Strait." *Progress in Oceanography* **22**: 205-248.

11. Literatur

- Russell, A.D. & Emerson, S. (1996). "The use of foraminiferal uranium/calcium ratios as an indicator of changes in seawater uranium content." *Paleoceanography* **11** (6): 649-663.
- Sarnthein, M., Jansen, E., Weinelt, M., Arnold, M., Duplessy, C., Erlenkeuser, H., Flatoey, A., Johannessen, G., Johannessen, T., Jung, S. (1995). "Variations in Atlantic surface ocean paleoceanography, 50°-80°N: A time-slice record of the last 30,000 years." *Paleoceanography* **10** (6): 1063-1094.
- Sautter, L.R. & Sancetta, C. (1992). "Seasonal associations of phytoplankton and planktic foraminifera in an upwelling region and their contribution to the seafloor." *Marine Micropaleontology* **18**: 263-278.
- Sautter, L.R. & Thunell, R. (1991). "Seasonal variability in the $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of planktonic foraminifera from an upwelling environment: sediment trap results from the San Pedro Basin, southern California bight." *Paleoceanography* **6** (3): 307-334.
- Scharek, R. & Nöthig, E.-M. (1995). "Das einzellige Plankton im Ozean der Arktis und Antarktis." In: *Biologie der Polarmeere*. Hempel, I. and Hempel, G. (eds.). Jena, Gustav Fischer Verlag: 116-127.
- Sikes, E.L. & Keigwin, L.D. (1996). "A reexamination of northeast Atlantic sea surface temperature and salinity over the last 16 kyr." *Paleoceanography* **11** (3): 327-342.
- Spero, H.J. & Lea, D.W. (1993). "Intraspecific stable isotope variability in the planktic foraminifera *Globigerinoides sacculifer*: results from laboratory experiments." *Marine Micropaleontology* **22**: 221-234.
- Spielhagen, R.F. (1991). "Die Eisdrift in der Framstraße während der letzten 200.000 Jahre." *GEOMAR Report* **4**: 1-133.
- Spielhagen, R.F., Bonani, G., Eisenhauer, A., Frank, M., Frederichs, T., Kassens, H., Kubik, P.W., Mangini, A., Nørgaard-Pedersen, N., Nowaczyk, N.R., Schäper, S., Stein, R., Thiede, J., Tiedemann, R. & Wahsner, M. (1997). "Arctic Ocean evidence for late Quaternary initiation of northern Eurasian ice sheets." *Geology* **25** (9): 783-786.
- Spindler, M. (1990). "A comparison of Arctic and Antarctic sea ice and the effects of different properties on sea ice biota." In: *Geological history of the polar oceans: Arctic versus Antarctic (NATO ASI Series C)*. Bleil, U. and Thiede, J. (eds.). Dordrecht, Kluwer Academic Publishers **308**: 173-186.
- Spindler, M. (1995). "Eislebensgemeinschaften im Nord- und Südpolarmeer: ein Vergleich." In: *Biologie der Polarmeere*. Hempel, I. and Hempel, G. (eds.). Jena, Gustav Fischer Verlag: 78-85.
- Spindler, M. (1996). "On the salinity tolerance of the planktonic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* from Antarctic sea ice." *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Biology* **9**: 85-91.
- Spindler, M. & Dieckmann, G.S. (1986). "Distribution and abundance of the planktic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* in sea ice of the Weddell Sea (Antarctica)." *Polar Biology* **5**: 185-191.
- Spindler, M., Dieckmann, G.S. & Lange, M.A. (1990). "Seasonal and geographic variations in sea ice community structure of the Weddell Sea, Antarctica." In: *Antarctic ecosystems. Ecological change and conservation*. Kerry, K.R. and Hempel, G. (eds.). New York Springer-Verlag: 129-135.
- Spindler, M., Hemleben, C., Salomons, J.B. & Smit, L.P. (1984). "Feeding behavior of some planktonic foraminifera in laboratory cultures." *Journal of Foraminiferal Research* **14** (4): 237-249.
- Stramma, L. & Peterson, R.G. (1990). "The South Atlantic Current." *Journal of Physical Oceanography* **20**: 846-859.

11. Literatur

- Suess, E. & Altenbach, A.V. (1992). "Reise Nr. 17, 15. Juli - 29. August 1991." METEOR-Berichte, Universität Hamburg, **92-3**: 1-164.
- Swift, J. & Aagaard, K. (1981). "Seasonal transitions and water mass formation in the Iceland and Greenland seas." *Deep-Sea Research* **28A** (10): 1107-1129.
- Swift, J.H. (1986). "The Arctic Waters." New York, Springer-Verlag: 129-151 pp.
- Thiede, J. (1983). "Skeletal plankton and nekton in upwelling water masses off northwestern South America and Northwest Africa." In: Coastal upwelling - its sediment record. Part A: Responses of the sedimentary regime to present coastal upwelling. Suess, E. and Thiede, J. (eds.). New York, Plenum Press **10A**: 183-207.
- Thiede, J. (Hrsg.) (1988). "Wissenschaftlicher Fahrtbericht der Arktis-Expedition ARK IV/3." *Berichte zur Polarforschung* **43**: 1-237.
- Thiede, J. & Hempel, G. (1991) (Hrsg.). "Die Expedition ARKTIS-VII/1 mit FS "Polarstern" 1990." *Berichte zur Polarforschung* **80**: 1-137.
- Thurman, H.V. (1990). "Essentials of oceanography." Columbus, Merrill Publishing Company: 398 pp.
- Tolderlund, D.S. & Bé, A.W.H. (1971). "Seasonal distribution of planktonic foraminifera in the western North Atlantic." *Micropaleontology* **17** (3): 297-329.
- UNESCO (1985). "The international system of units (SI) in oceanography." UNESCO Technical Papers **45**.
- van Andel, T.H., Heath, G.R. & Moore, T.C. (1975). "Cenozoic history and paleoceanography of the central equatorial Pacific Ocean." *Memoir of the Geological Society of America* **143**: 1-134.
- van der Spoel, S. & Pierrot-Bults, A.C., (eds.) (1979). "Zoogeography and diversity of plankton." Utrecht, Bunge Scientific Publishers: 410 pp.
- Vogelsang, E. (1990). "Paläo-Ozeanographie des Europäischen Nordmeeres an Hand stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope." *Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313 der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel* **23**: 1-137.
- Wadhams, P. (1994). "Sea ice thickness changes and their relation to climate." In: The polar oceans and their role in shaping the global environment. Geophysical Monograph. Johannessen, O.M., Muench, R.D. and Overland, J.E. (eds.). Washington, American Geophysical Union **85**: 337-361.
- Weeks, W.F. & Ackley, S.F. (1982). "The growth, structure and properties of sea ice." *CRREL Monograph*: 1-82.
- Williams, D.F., Ehrlich, R., Spero, H.J., Healy-Williams, N. & Gary, A.C. (1988). "Shape and isotopic differences between conspecific foraminiferal morphotypes and resolution of paleoceanographic events." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **64**: 153-162.
- Winter, A. & Martin, K. (1990). "Late Quarternary history of the Agulhas Current." *Paleoceanography* **5** (4): 479-486.
- Wolf, T.C.W. & Thiede, J. (1991). "History of terrigenous sedimentation during the past 10 m.y. in the North Atlantic (ODP Legs 104, 105, and DSDP 81)." *Marine Geology* **101**: 83-102.
- Zielinski, U. (1993). "Quantitative Bestimmung von Paläoumweltparametern des Antarktischen Oberflächenwassers im Spätquartär anhand von Transferfunktionen mit Diatomeen." *Berichte zur Polarforschung* **126**: 1-148.

Anhang

12. Anhang

TAFEL I

Normalform-Individuen von *N. pachyderma* und *T. quinqueloba*

1) Normalform (*N. pachyderma* (s));
Kern PS2185 (zentraler Arktischer Ozean),
Probenteufe: 14,5 cm

2) Normalform (*N. pachyderma* (s));
Kern PS1388 (Weddellmeer),
Probenteufe: 70 cm

3) Normalform (*N. pachyderma* (d));
Kern PS2185 (zentraler Arktischer Ozean),
Probenteufe: 12,5 cm

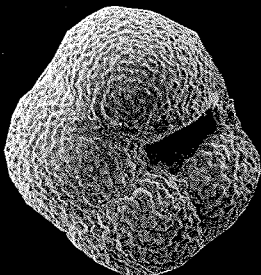
4) Normalform (*N. pachyderma* (d));
Kern PS1388 (Weddellmeer),
Probenteufe: 80 cm

5) *T. quinqueloba*;
Kern 23059 (Europäisches Nordmeer),
Probenteufe: 1 cm

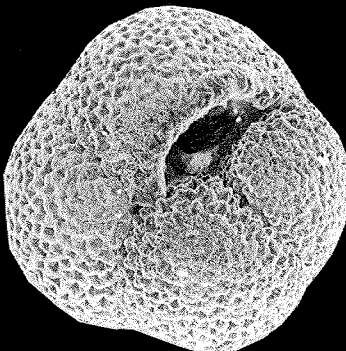
6) *T. quinqueloba*;
Kern PS2082 (Südatlantik),
Probenteufe: 6 cm

Maßstab = 100 µm

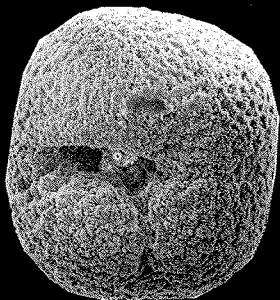
Tafel I



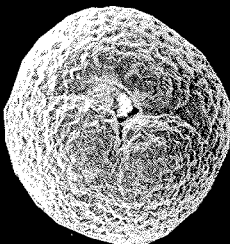
1



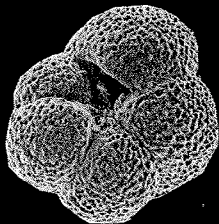
2



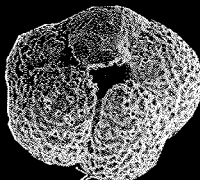
3



4



5



6

100 μm

TAFEL II

Wurstkammer-Individuen von *N. pachyderma* (s)

1a) Wurstkammer-Individuum mit mehreren Wurstkammern und Kümmerkammer,
Mündungsseite;
Kern PS2185 (zentraler Arktischer Ozean),
Probenteufe: 22,5 cm

1b) Individuum wie 1a, nur Spiralseite

2) Wurstkammer-Individuum mit Wurst- und Kümmerkammer;
Kern PS2185 (zentraler Arktischer Ozean),
Probenteufe: 18,5 cm

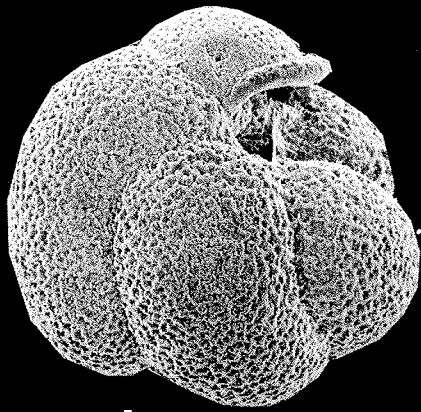
3) Wurstkammer-Individuum;
Kern PS1388 (Weddellmeer),
Probenteufe: 1 cm

4) Wurstkammer-Individuum;
Kern 23059 (Europäisches Nordmeer),
Probenteufe: 210 cm

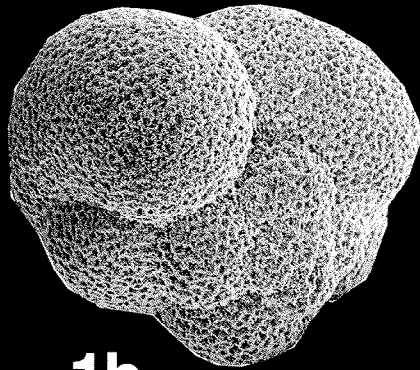
5) Wurstkammer-Individuum;
Kern PS1243 (Europäisches Nordmeer),
Probenteufe: 2,5 cm

Maßstab = 100 µm

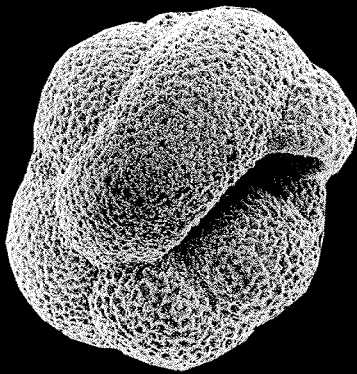
Tafel II



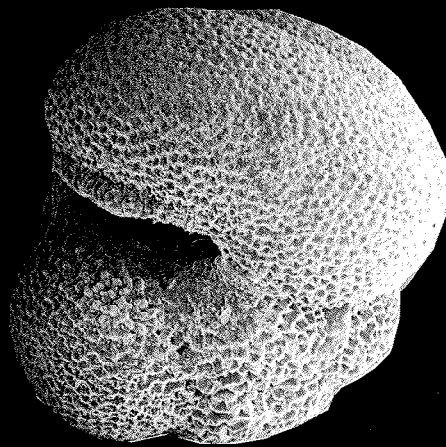
1a



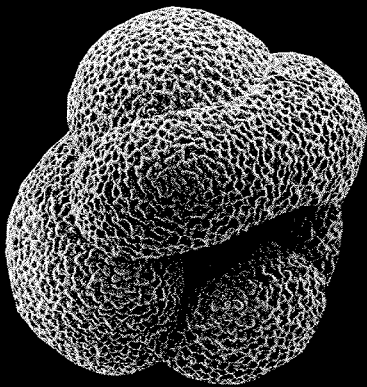
1b



2



3



4



5

100 μ m

TAFEL III

Kümmerform- und aberrante Individuen von *N. pachyderma* (s)

1) Kümmerform-Individuum;

Kern PS2185 (zentraler Arktischer Ozean),

Probenteufe: 0,5 cm

2) Kümmerform-Individuum;

Kern PS2082 (Südatlantik),

Probenteufe: 2 cm

3) Aberrantes Individuum: gleichgroße "Zwillinge";

Kern PS1243 (Europäisches Nordmeer),

Probenteufe: 16,5 cm

4) Aberrantes Individuum: verschiedengroße "Zwillinge";

Kern PS1243 (Europäisches Nordmeer),

Probenteufe: 2,5 cm

5) Aberrantes Individuum. gleichgroße "Zwillinge";

Kern PS2185 (zentraler Arktischer Ozean),

Probenteufe: 0,5 cm

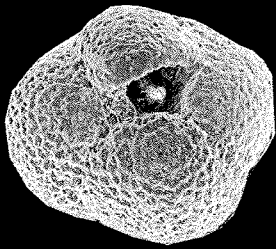
6) Aberrantes Individuum: verschiedengroße "Zwillinge";

Kern 23059 (Europäisches Nordmeer),

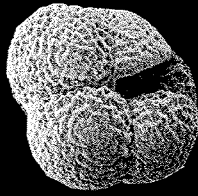
Probenteufe: 238 cm

Maßstab = 100 µm

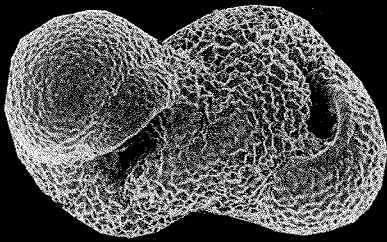
Tafel III



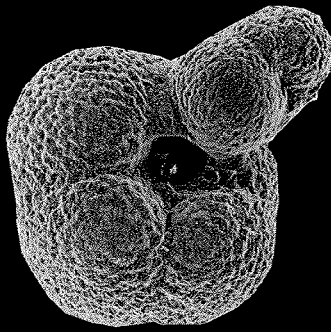
1



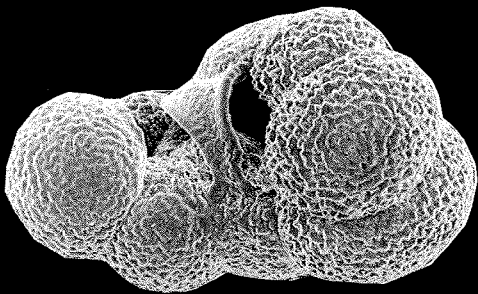
2



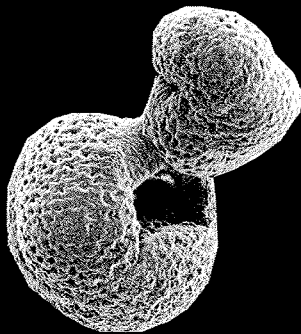
3



4



5



6

100 μ m

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

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

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

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

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

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

- Heft-Nr. 155/1995** – "Benthos in polaren Gewässern", herausgegeben von Christian Wiencke und Wolf Arntz.
- Heft-Nr. 156/1995** – "An adjoint model for the determination of the mean oceanic circulation, air-sea fluxes und mixing coefficients", by Reiner Schlitzer.
- Heft-Nr. 157/1995** – "Biochemische Untersuchungen zum Lipidstoffwechsel antarktischer Copepoden", von Kirsten Fahl.
- ** Heft-Nr. 158/1995** – "Die Deutsche Polarforschung seit der Jahrhundertwende und der Einfluß Erich von Drygalskis", von Cornelia Lüdecke.
- Heft-Nr. 159/1995** – The distribution of $\delta^{18}\text{O}$ in the Arctic Ocean: Implications for the freshwater balance of the halocline and the sources of deep and bottom waters", by Dorothea Bauch.
- * Heft-Nr. 160/1995** – "Rekonstruktion der spätquartären Tiefenwasserzirkulation und Produktivität im östlichen Südatlantik anhand von benthischen Foraminiferenvergesellschaftungen", von Gerhard Schmiedl.
- Heft-Nr. 161/1995** – "Der Einfluß von Salinität und Lichtintensität auf die Osmolytkonzentrationen, die Zellvolumina und die Wachstumsraten der antarktischen Eisdiatomeen *Chaetoceros* sp. und *Navicula* sp. unter besonderer Berücksichtigung der Aminosäure Prolin", von Jürgen Nothnagel.
- Heft-Nr. 162/1995** – "Meereistransportiertes lithogenes Feinmaterial in spätquartären Tiefseesedimenten des zentraler östlichen Arktischen Ozeans und der Framstraße", von Thomas Letzig.
- Heft-Nr. 163/1995** – "Die Expedition ANTARKTIS-XI/2 mit FS "Polarstern" 1993/94", herausgegeben von Rainer Gersonde.
- Heft-Nr. 164/1995** – "Regionale und altersabhängige Variation gesteinsmagnetischer Parameter in marinen Sedimenten der Arktis", von Thomas Frederichs.
- Heft-Nr. 165/1995** – "Vorkommen, Verteilung und Umsatz biogener organischer Spurenstoffe: Sterole in antarktischen Gewässern", von Georg Hanke.
- Heft-Nr. 166/1995** – "Vergleichende Untersuchungen eines optimierten dynamisch-thermodynamischen Meereismode mit Beobachtungen im Weddellmeer", von Holger Fischer.
- Heft-Nr. 167/1995** – "Rekonstruktionen von Paläo-Umweltparametern anhand von stabilen Isotopen und Faunen-Vergesellschaftungen planktischer Foraminiferen im Südatlantik", von Hans-Stefan Niebler
- Heft-Nr. 168/1995** – "Die Expedition ANTARKTIS XII mit FS 'Polarstern' 1993/94. Bericht von den Fahrtabschnitten ANT XII/1 und 2", herausgegeben von Gerhard Kattner und Dieter Karl Fütterer.
- Heft-Nr. 169/1995** – "Medizinische Untersuchung zur Circadianrhythmik und zum Verhalten bei Überwinterern auf eine antarktischen Forschungsstation", von Hans Wortmann.
- Heft-Nr. 170/1995** – DFG-Kolloquium: Terrestrische Geowissenschaften - Geologie und Geophysik der Antarktis.
- Heft-Nr. 171/1995** – "Strukturentwicklung und Petrogenese des metamorphen Grundgebirges der nördlichen Heimfrontjella (westliches Dronning Maud Land/Antarktika)", von Wilfried Bauer.
- Heft-Nr. 172/1995** – "Die Struktur der Erdkruste im Bereich des Scoresby Sund, Ostgrönland: Ergebnisse refraktionsseismischer und gravimetrischer Untersuchungen", von Holger Mandler.
- Heft-Nr. 173/1995** – "Paläozoische Akkretion am paläopazifischen Kontinentalrand der Antarktis in Nordvictorialand – P-T-D-Geschichte und Deformationsmechanismen im Bowers Terrane", von Stefan Matzer.
- Heft-Nr. 174/1995** – "The Expedition ARKTIS-X/2 of RV 'Polarstern' in 1994", edited by Hans-W. Hubberten.
- Heft-Nr. 175/1995** – "Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR 1994", edited by Christine Siebert and Dmitry Bolshiyarov.
- Heft-Nr. 176/1995** – "Russian-German Cooperation: Laptev Sea System", edited by Heidemarie Kassens, Dieter Piepenburg, Jörn Thiede, Leonid Timokhov, Hans-Wolfgang Hubberten and Sergey M. Priamikov.
- Heft-Nr. 177/1995** – "Organischer Kohlenstoff in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans: Terrigener Eintrag und marine Produktivität", von Carsten J. Schubert.
- Heft-Nr. 178/1995** – "Cruise ANTARKTIS XII/4 of RV 'Polarstern' in 1995: CTD-Report", by Jüri Sildam.
- Heft-Nr. 179/1995** – "Benthische Foraminiferenfaunen als Wassermassen-, Produktions- und Eisdriftanzeiger im Arktischen Ozean", von Jutta Wollenburg.
- Heft-Nr. 180/1995** – "Biogenopal und biogenes Barium als Indikatoren für spätquartäre Produktivitätsänderungen am antarktischen Kontinentalhang, atlantischer Sektor", von Wolfgang J. Bonn.
- Heft-Nr. 181/1995** – "Die Expedition ARKTIS X/1 des Forschungsschiffes 'Polarstern' 1994", herausgegeben von Eberhard Fahrbach.
- Heft-Nr. 182/1995** – "Laptev Sea System: Expeditions in 1994", edited by Heidemarie Kassens.
- Heft-Nr. 183/1996** – "Interpretation digitaler Parasound Echolotaufzeichnungen im östlichen Arktischen Ozean auf der Grundlage physikalischer Sedimenteigenschaften", von Uwe Bergmann.
- Heft-Nr. 184/1996** – "Distribution and dynamics of inorganic nitrogen compounds in the troposphere of continental, coastal, marine and Arctic areas", by María Dolores Andrés Hernández.
- Heft-Nr. 185/1996** – "Verbreitung und Lebensweise der Aphroditiden und Polynoiden (Polychaeta) im östlichen Weddemeer und im Lazarevmeer (Antarktis)", von Michael Stiller.
- Heft-Nr. 186/1996** – "Reconstruction of Late Quaternary environmental conditions applying the natural radionuclides ^{230}Th , ^{10}Be , ^{231}Pa and ^{238}U : A study of deep-sea sediments from the eastern sector of the Antrctic Circumpolar Current System", by Martin Frank.
- Heft-Nr. 187/1996** – "The Meteorological Data of the Neumayer Station (Antarctica) for 1992, 1993 and 1994", by Gert König-Langlo and Andreas Herber.
- Heft-Nr. 188/1996** – "Die Expedition ANTARKTIS-XI/3 mit FS 'Polarstern' 1994", herausgegeben von Heinz Miller und Hannes Grobe.
- Heft-Nr. 189/1996** – "Die Expedition ARKTIS-VII/3 mit FS 'Polarstern' 1990", herausgegeben von Heinz Miller und Hannes Grobe.

- Heft-Nr. 190/1996** – “Cruise report of the Joint Chilean-German-Italian Magellan ‘Victor Hensen’ Campaign in 1994”, edited by Wolf Arntz and Matthias Gorny.
- Heft-Nr. 191/1996** – “Leitfähigkeits- und Dichtemessung an Eisbohrkernen”, von Frank Wilhelms.
- Heft-Nr. 192/1996** – “Photosynthese-Charakteristika und Lebensstrategie antarktischer Makroalgen”, von Gabriele Weykam.
- Heft-Nr. 193/1996** – “Heterogene Reaktionen von N_2O_5 und HBr und ihr Einfluß auf den Ozonabbau in der polaren Stratosphäre”, von Sabine Seisel.
- Heft-Nr. 194/1996** – “Ökologie und Populationsdynamik antarktischer Ophiuroiden (Echinodermata)”, von Corinna Dahm.
- Heft-Nr. 195/1996** – “Die planktische Foraminifere *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg) im Weddellmeer, Antarktis”, von Doris Berberich.
- Heft-Nr. 196/1996** – “Untersuchungen zum Beitrag chemischer und dynamischer Prozesse zur Variabilität des stratosphärischen Ozons über der Arktis”, von Birgit Heese.
- Heft-Nr. 197/1996** – “The Expedition ARKTIS-XI/2 of ‘Polarstern’ in 1995”, edited by Gunther Krause.
- Heft-Nr. 198/1996** – “Geodynamik des Westantarktischen Riftsystems basierend auf Apatit-Spaltspuranalysen”, von Frank Lisker.
- Heft-Nr. 199/1996** – “The 1993 Northeast Water Expedition. Data Report on CTD Measurements of RV ‘Polarstern’ Cruises ARKTIS IX/2 and 3”, by Gereon Budéus and Wolfgang Schneider.
- Heft-Nr. 200/1996** – “Stability of the Thermohaline Circulation in analytical and numerical models”, by Gerrit Lohmann.
- Heft-Nr. 201/1996** – “Trophische Beziehungen zwischen Makroalgen und Herbivoren in der Potter Cove (King George-Insel, Antarktis)”, von Katrin Iken.
- Heft-Nr. 202/1996** – “Zur Verbreitung und Respiration ökologisch wichtiger Bodentiere in den Gewässern um Svalbard (Arktis)”, von Michael K. Schmid.
- Heft-Nr. 203/1996** – “Dynamik, Rauigkeit und Alter des Meereises in der Arktis - Numerische Untersuchungen mit einem großskaligen Modell”, von Markus Harder.
- Heft-Nr. 204/1996** – “Zur Parametrisierung der stabilen atmosphärischen Grenzschicht über einem antarktischen Schelfeis”, von Dörthe Handorf.
- Heft-Nr. 205/1996** – “Textures and fabrics in the GRIP ice core, in relation to climate history and ice deformation”, by Thorsteinn Thorsteinsson.
- Heft-Nr. 206/1996** – “Der Ozean als Teil des gekoppelten Klimasystems: Versuch der Rekonstruktion der glazialen Zirkulation mit verschiedenen komplexen Atmosphärenkomponenten”, von Kerstin Fieg.
- Heft-Nr. 207/1996** – “Lebensstrategien dominanter antarktischer Oithonidae (Cyclopoida, Copepoda) und Oncaeidae (Poecilostomatoida, Copepoda) im Bellingshausenmeer”, von Cornelia Metz.
- Heft-Nr. 208/1996** – “Atmosphäreinfluß bei der Fernerkundung von Meereis mit passiven Mikrowellenradiometern”, von Christoph Oelke.
- Heft-Nr. 209/1996** – “Klassifikation von Radarsatellitendaten zur Meereisererkennung mit Hilfe von Line-Scanner-Messungen”, von Axel Bochert.
- Heft-Nr. 210/1996** – “Die mit ausgewählten Schwämmen (Hexactinellida und Demospongiae) aus dem Weddellmeer, Antarktis, vergesellschaftete Fauna”, von Kathrin Kunzmann.
- Heft-Nr. 211/1996** – “Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR 1995 and the Expedition KOLYMA 1995”, by Dima Yu. Bolshiyarov and Hans-W. Hubberten.
- Heft-Nr. 212/1996** – “Surface-sediment composition and sedimentary processes in the central Arctic Ocean and along the Eurasian Continental Margin”, by Ruediger Stein, Gennadij I. Ivanov, Michael A. Levitan, and Kirsten Fahl.
- Heft-Nr. 213/1996** – “Gonadenentwicklung und Eiproduktion dreier *Calanus*-Arten (Copepoda): Freilandbeobachtungen, Histologie und Experimente”, von Barbara Niehoff.
- Heft-Nr. 214/1996** – “Numerische Modellierung der Übergangszone zwischen Eisschild und Eisschelf”, von Christoph Mayer.
- Heft-Nr. 215/1996** – “Arbeiten der AWI-Forschungsstelle Potsdam in Antarktika, 1994/95”, herausgegeben von Ulrich Wand.
- Heft-Nr. 216/1996** – “Rekonstruktion quartärer Klimaänderungen im atlantischen Sektor des Südpolarmeeres anhand von Radiolarien”, von Uta Brathauer.
- Heft-Nr. 217/1996** – “Adaptive Semi-Lagrange-Finite-Elemente-Methode zur Lösung der Flachwassergleichungen: Implementierung und Parallelisierung”, von Jörn Behrens.
- Heft-Nr. 218/1997** – “Radiation and Eddy Flux Experiment 1995 (REFLEX III)”, by Jörg Hartmann, Axel Bochert, Dietmar Freese, Christoph Kottmeier, Dagmar Nagel and Andreas Reuter.
- Heft-Nr. 219/1997** – “Die Expedition ANTARKTIS-XII mit FS ‘Polarstern’ 1995. Bericht vom Fahrtabschnitt ANT-XII/3”, herausgegeben von Wilfried Jokat und Hans Oerter.
- Heft-Nr. 220/1997** – “Ein Beitrag zum Schwerfeld im Bereich des Weddellmeeres, Antarktis. Nutzung von Altimetermessungen des GEOSAT und ERS-1”, von Tilo Schöne.
- Heft-Nr. 221/1997** – “Die Expeditionen ANTARKTIS-XIII/1-2 des Forschungsschiffes ‘Polarstern’ 1995/96”, herausgegeben von Ulrich Bathmann, Mike Lucas und Victor Smetacek.
- Heft-Nr. 222/1997** – “Tectonic Structures and Glaciomarine Sedimentation in the South-Eastern Weddell Sea from Seismic Reflection Data”, by László Oszkó.

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

- Heft-Nr. 255/1997** – “Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/2 of RV 'Polarstern' in 1997”, edited by Ruediger Stein and Kirsten Fahl.
- Heft-Nr. 256/1998** – “Das Radionuklid Tritium im Ozean: Meßverfahren und Verteilung von Tritium im Südatlantik und im Weddellmeer”, von Jürgen Sültenfuß.
- Heft-Nr. 257/1998** – “Untersuchungen der Saisonalität von atmosphärischen Dimethylsulfid in der Arktis und Antarktis”, von Christoph Kleefeld.
- Heft-Nr. 258/1998** – “Bellinghausen- und Amundsenmeer: Entwicklung eines Sedimentationsmodells”, von Frank-Oliver Nitsche.
- Heft-Nr. 259/1998** – “The Expedition ANTARKTIS-XIV/4 of RV 'Polarstern' in 1997”, by Dieter K. Fütterer.
- Heft-Nr. 260/1998** – “Die Diatomeen der Laptevsee (Arktischer Ozean): Taxonomie und biogeographische Verbreitung”, von Holger Cremer.
- Heft-Nr. 261/1998** – “Die Krustenstruktur und Sedimentdecke des Eurasischen Beckens, Arktischer Ozean: Resultate aus seismischen und gravimetrischen Untersuchungen”, von Estella Weigelt.
- Heft-Nr. 262/1998** – “The Expedition ARKTIS-XIII/3 of RV 'Polarstern' in 1997”, by Gunther Krause.
- Heft-Nr. 263/1998** – “Thermo-tektonische Entwicklung von Oates Land und der Shackleton Range (Antarktis) basierend auf Spaltspuranalysen”, von Thorsten Schäfer.
- Heft-Nr. 264/1998** – “Messungen der stratosphärischen Spurengase ClO, HCl, O₃, N₂O, H₂O und OH mittels flugzeuggetragener Submillimeterwellen-Radiometrie”, von Joachim Urban.
- Heft-Nr. 265/1998** – “Untersuchungen zu Massenhaushalt und Dynamik des Ronne Ice Shelves, Antarktis”, von Astrid Lambrecht.
- Heft-Nr. 266/1998** – “Scientific Cruise Report of the Kara Sea Expedition of RV 'Akademik Boris Petrov' in 1997”, edited by Jens Matthiessen and Oleg Stepanets.
- Heft-Nr. 267/1998** – “Die Expedition ANTARKTIS-XIV mit FS 'Polarstern' 1997. Bericht vom Fahrtabschnitt ANT-XIV/3“, herausgegeben von Wilfried Jokat und Hans Oerter.
- Heft-Nr. 268/1998** – “Numerische Modellierung der Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Meereis in der arktischen Eisrandzone“, von Gerit Birnbaum.
- Heft-Nr. 269/1998** – “Katabatic wind and Boundary Layer Front Experiment around Greenland (KABEG '97)“, by Günther Heinemann.
- Heft-Nr. 270/1998** – “Architecture and evolution of the continental crust of East Greenland from integrated geophysical studies“, by Vera Schlindwein.
- Heft-Nr. 271/1998** – “Winter Expedition to the Southwestern Kara Sea - Investigations on Formation and Transport of Turbid Sea-Ice“, by Dirk Dethleff, Peter Loewe, Dominik Weiel, Hartmut Nies, Gesa Kuhlmann, Christian Bahe and Gennady Tarasov.
- Heft-Nr. 272/1998** – “FTIR-Emissionsspektroskopische Untersuchungen der arktischen Atmosphäre“, von Edo Becker.
- Heft-Nr. 273/1998** – “Sedimentation und Tektonik im Gebiet des Agulhas Rückens und des Agulhas Plateaus ('SETA-RAP')“, von Gabriele Uenzelmann-Neben.
- Heft-Nr. 274/1998** – “The Expedition ANTARKTIS XIV/2“, by Gerhard Kattner.
- Heft-Nr. 275/1998** – “Die Auswirkung der 'NorthEastWater'-Polynya auf die Sedimentation vor NO-Grönland und Untersuchungen zur Paläo-Ozeanographie seit dem Mittelwechsel“, von Hanne Notholt.
- Heft-Nr. 276/1998** – “Interpretation und Analyse von Potentialfelddaten im Weddellmeer, Antarktis: der Zerfall des Superkontinents Gondwana“, von Michael Studinger.
- Heft-Nr. 277/1998** – “Koordiniertes Programm Antarktisforschung“. Berichtskolloquium im Rahmen des Koordinierten Programms “Antarktisforschung mit vergleichenden Untersuchungen in arktischen Eisgebieten“, herausgegeben von Hubert Miller.
- Heft-Nr. 278/1998** – “Messung stratosphärischer Spurengase über Ny-Ålesund, Spitzbergen, mit Hilfe eines bodengebundenen Mikrowellen-Radiometers“, von Uwe Raffalski.
- Heft-Nr. 279/1998** – “Arctic Paleo-River Discharge (APARD). A New Research Programme of the Arctic Ocean Science Board (AOSB)“, edited by Ruediger Stein.
- Heft-Nr. 280/1998** – “Fernerkundungs- und GIS-Studien in Nordostgrönland“, von Friedrich Jung-Rothenhäusler.
- Heft-Nr. 281/1998** – “Rekonstruktion der Oberflächenwassermassen der östlichen Laptevsee im Holozän anhand aquatischen Palynomorphen“, von Martina Kunz-Pirrung.
- Heft-Nr. 282/1998** – “Scavenging of ²³¹Pa and ²³⁰Th in the South Atlantic: Implications for the use of the ²³¹Pa/²³⁰Th ratio as a paleoproductivity proxy“, by Hans-Jürgen Walter.
- Heft-Nr. 283/1998** – “Sedimente im arktischen Meereis - Eintrag, Charakterisierung und Quantifizierung“, von Frank Lindemann.
- Heft-Nr. 284/1998** – “Langzeitanalyse der antarktischen Meereisbedeckung aus passiven Mikrowellendaten“, von Christian H. Thomas.
- Heft-Nr. 285/1998** – “Mechanismen und Grenzen der Temperaturanpassung beim Pierwurm *Arenicola marina* (L.)“, von Angela Sommer.
- Heft-Nr. 286/1998** – “Energieumsätze benthischer Filtrierer der Potter Cove (King George Island, Antarktis)“, von Jens Kowalke.
- Heft-Nr. 287/1998** – “Scientific Cooperation in the Russian Arctic: Research from the Barents Sea up to the Laptev Sea“, edited by Eike Rachor.

Heft-Nr. 288/1998 – “Alfred Wegener. Kommentiertes Verzeichnis der schriftlichen Dokumente seines Lebens und Wirkens“, von Ulrich Wutzke.

Heft-Nr. 289/1998 – “Retrieval of Atmospheric Water Vapor Content in Polar Regions Using Spaceborne Microwave Radiometry“, by Jungang Miao.

Heft-Nr. 290/1998 – “Strukturelle Entwicklung und Petrogenese des nördlichen Kristallingürtels der Shackleton Range, Antarktis: Proterozoische und Ross-orogene Krustendynamik am Rand des Ostantarktischen Kratons“, von Axel Brommer.

Heft-Nr. 291/1998 – “Dynamik des arktischen Meereises - Validierung verschiedener Rheologieansätze für die Anwendung in Klimamodellen“, von Martin Kreyscher.

Heft-Nr. 292/1998 – “Anthropogene organische Spurenstoffe im Arktischen Ozean. Untersuchungen chlorierter Biphenyle und Pestizide in der Laptevsee, technische und methodische Entwicklungen zur Probenahme in der Arktis und zur Spurenstoffanalyse“, von Sven Utschakowski.

Heft-Nr. 293/1998 – “Rekonstruktion der spätquartären Klima- und Umweltgeschichte der Schirmacher Oase und des Wohlthat Massivs (Ostantarktika)“, von Markus Julius Schwab.

Heft-Nr. 294/1998 – “Besiedlungsmuster der benthischen Makrofauna auf dem ostgrönländischen Kontinentallhang“, von Klaus Schnack.

Heft-Nr. 295/1998 – “Gehäuseuntersuchungen an planktischen Foraminiferen hoher Breiten: Hinweise auf Umweltveränderungen während der letzten 140.000 Jahre“, von Harald Hommers.

* vergriffen / out of print.

** nur noch beim Autor / only from the author.