

**Vergleichende Untersuchungen zur
Ökologie und Biodiversität des Mega-Epibenthos
der Arktis und Antarktis**

**Comparative Studies on the
Ecology and Biodiversity of the Arctic and
Antarctic Mega-Epibenthos**

Andreas Starmans

Ber. Polarforsch. 250 (1997)
ISSN 0176 - 5027

Andreas Starmans

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Postfach 12 01 61
Columbusstraße
D - 27568 Bremerhaven

Die vorliegende Arbeit ist die im wesentlichen unveränderte Fassung einer Dissertation, die in der Sektion Ökologie bei Prof. Dr. W. Arntz angefertigt und 1997 dem Fachbereich 2 (Biologie/Chemie) der Universität Bremen vorgelegt wurde.

Zusammenfassung	III
Summary	V
1. Einleitung	1
2. Untersuchungsgebiete und Probennahme	5
2.1 Arktis	5
2.2 Antarktis	9
2.2.1 Weddellmeer	9
2.2.2 Bellingshausen- und Amundsenmeer	11
2.3 Probennahme	14
2.3.2 "Remotely Operated Vehicle" (ROV)	14
2.3.3 Bestimmung der Taxa und ihrer Abundanzen	16
3. Lebensgemeinschaften und ihre Diversität	21
3.1 Einleitung	21
3.2 Material und Methoden	23
3.2.1 Strukturelle Merkmale	23
3.2.2 Gemeinschaftsanalyse	25
3.2.3 Charakteristische Taxa	28
3.2.4 Korrelation der biologischen Verteilungsmuster mit Umweltparametern	28
3.3 Ergebnisse	31
3.3.1 Ergebnisse Arktis	31
3.3.2 Ergebnisse Antarktis	52
3.4 Diskussion	78
3.4.1 Arktis	78
3.4.2 Antarktis	84
4. Einfluß strandender Eisberge auf das polare Benthos	91
4.1 Einleitung	91
4.2 Material und Methoden	93
4.3 Ergebnisse	94
4.4 Diskussion	99

5. Artenvielfalt, Abundanzen und Diversitätsmuster im bipolaren Vergleich	105
5.1 Einleitung	105
5.2 Material und Methoden	107
5.3 Ergebnisse	109
5.4 Diskussion	118
6. Abschließende Diskussion	124
7. Literatur	130
8. Anhang	145
Danksagung	150

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war eine bipolar vergleichende Analyse des Megabenthos anhand von Besiedlungsstrukturen und darauf wirkenden typisch polaren Umwelteinflüssen.

Während der "Polarstern"-Expeditionen ARK IX/2-3 (Nordostgrönland, 1993), ANT VI/3 (Weddellmeer, Antarktis, 1988) und ANT XI/3 (Bellingshausen- und Amundsenmeer, Antarktis, 1994) wurde in den Schelfbereichen auf 54 Stationen ein ferngesteuertes Unterwasserfahrzeug eingesetzt. Das dabei aufgenommene Videomaterial lieferte quantitative und damit vergleichbare Daten zu epibenthischen Organismen.

Arktis: Insgesamt wurden 94 Taxa mit über 100 000 Individuen bestimmt. Stachelhäuter, insbesondere Schlangensterne, sind die wichtigsten Faunenelemente auf dem Schelf vor Nordostgrönland. Die Gemeinschaftsanalyse ergab eine ausgeprägte Tiefenzonierung in der Besiedlung des Epibenthos. Deutlich abzugrenzen ist die Fauna auf den flachen Bänken von der des tieferen Grabensystems. Auf den Bänken sind möglicherweise physikalische Störungen für die beobachteten ausgeprägten Dominanzmuster verantwortlich. In den tiefen Bereichen der Gräben gibt es eine zwar individuenärmere, aber diverse Bodenfauna, die zu mehr als der Hälfte aus Suspensionsfressern besteht. Zwischen den Gemeinschaften auf den Bänken und in den Gräben liegt eine deutliche Übergangszone mit einer heterogenen Faunenzusammensetzung.

Antarktis: Insgesamt wurden mehr als 115 000 Individuen bestimmt, die sich auf 168 Taxa verteilen. Es gibt eine deutliche geographische Trennung zwischen den Stationen aus dem Weddellmeer und dem Bellingshausen-/Amundsenmeer. Dort fehlen die für den östlichen Weddellmeerschelf typischen, artenreichen Schwamm- und Bryozoen-gemeinschaften. Ihr Vorkommen beschränkt sich offensichtlich auf Gebiete mit nahrungsreichen Bodenströmungen. Auf Weichböden, wo von einem reduzierten horizontalen Nährstoffeintrag auszugehen ist, dominieren in beiden Regionen errante Sedimentfresser. Diese beiden grundsätzlich verschiedenen Artenassoziationen scheinen ein zirkumpolares Merkmal der Meeresbodenbesiedlung zu sein. Die Faunenzusammensetzung ist nicht grundsätzlich abhängig von der Tiefe, der geographischen Lage oder dem Abstand zur Schelf- oder Schelfeiskante.

Die Videobeobachtungen zeigten, daß strandende Eisberge in beiden Polargebieten einen erheblichen zerstörerischen Einfluß auf das Benthos haben. Sessile Organismen werden vernichtet und verschiedene Pionierarten beginnen, die zerstörten Flächen in hohen Dichten wiederzubesiedeln. Eine vorläufige quantitative Analyse ergab, daß der

Meeresboden in den arktischen und antarktischen Untersuchungsgebieten statistisch einmal in 53 bzw. 230 Jahren von Eisbergen gestört wird.

Unabhängig von der Gemeinschaftsanalyse werden die verschiedenen Untersuchungsgebiete miteinander verglichen. Um die Vergleichbarkeit hinsichtlich ihrer Faunen-zusammensetzung, Artenvielfalt, Besiedlungsdichten und Diversitätsmuster zu gewährleisten, wurde das Datenmaterial neu aufgearbeitet und nur Stationen tiefer als 140 m miteinander verglichen. Die Ergebnisse zeigen im Weddellmeer signifikant höhere Taxazahlen pro Station als in dem nordostgrönländischen Untersuchungsgebiet, wohingegen sich alpha-Diversitäten (Diversitäten pro Station) und Besiedlungsdichten nicht signifikant voneinander unterscheiden. Die Diversität zwischen den einzelnen Stationen (beta-Diversität) ist im Weddellmeer am höchsten. Die beta-Diversitätsmuster im Bellingshausenmeer und vor Nordostgrönland sind ähnlich. Auf dem flachen nordostgrönländischen Schelf ist die alpha-Diversitäten niedrig, die beta-Diversität hingegen relativ hoch.

In einem abschließenden Kapitel wird der Einfluß der identifizierten biologischen und physikalischen Prozesse auf die heutigen Strukturen diskutiert. Die direkt zu beobachtenden Auswirkungen von Eisbergstrandungen haben einen erheblichen Einfluß auf die Besiedlungsstrukturen und Diversitätsmuster des polaren Benthos. Die Bedeutung von Nahrungsverfügbarkeit, biologischen Wechselwirkungen und grundsätzlichen Unterschieden zwischen den beiden Ökosystemen hinsichtlich ihres erdgeschichtlichen Alters und ihrer Entwicklung läßt sich anhand der heutigen Strukturen ableiten.

Summary

The objective of the present study was to compare the Arctic and Antarctic megabenthic assemblages in relation to typical polar environmental conditions.

During the "Polarstern" cruises ARK IX/2-3 (Northeast Greenland, 1993), ANT VI/3 (Weddell Sea, Antarctica, 1988) and ANT XI/3 (Bellingshausen and Amundsen Sea, Antarctica, 1994) a remotely operated vehicle was used on the shelves at a total of 54 stations. The video material provides quantitative and therefore comparable data of the epibenthic megafauna.

Arctic: A total of 94 taxa representing more than 100 000 individuals were identified. Echinoderms, particularly brittle stars, are the most important elements of the megabenthic fauna on the shelf off Northeast Greenland. Multivariate analyses of the benthic species distribution revealed a conspicuous depth zonation in which the benthic assemblage of the shallow banks can be clearly distinguished from that of the deeper parts of the troughs. Situated in between these two assemblages is a transitional zone with a heterogeneous benthic fauna. Physical disturbances are supposed to be responsible for the observed pronounced dominance patterns on the shallow banks. The fauna in the troughs, which consists of more than 50 % of suspension feeders, is poor with regard to individuals but diverse.

Antarctic: In total, more than 115 000 individuals of 168 taxa were identified. Obvious faunal differences exist between the stations of the Weddell Sea and the Bellingshausen/Amundsen Sea. Assemblages of suspension feeders dominated by sponges and bryozoans are prevalent on the shelf of the eastern Weddell Sea, but almost absent in the Bellingshausen and Amundsen Sea. These assemblages seem to be restricted to areas where bottom currents provide favourable feeding conditions, whereas in both regions on soft bottom with presumably slow bottom currents and reduced horizontal transport of organic particles motile deposit feeders are abundant.

The *in situ* videos demonstrate that iceberg grounding in both polar regions causes considerable damage to benthic communities. Sessile organisms are eradicated and pioneer species begin to grow in high abundances on the devastated substratum. A preliminary quantitative analysis shows that the sea floor in the Antarctic and Arctic areas of investigation is disturbed by icebergs statistically once every 230 and 53 yr., respectively.

Summary

Independent of the community analyses the study areas were compared. To render comparative analyses possible the original sets of data were standardised to allow for comparison of taxa richness, abundances and diversity. Here, only stations below 140 m in depth were considered. Higher taxa numbers per station were evident for the Weddell Sea shelf. However, Weddell Sea assemblages did not differ significantly from Greenland and Bellingshausen Sea in diversity per station (alpha-diversity) and abundances. The highest between-habitat diversity (beta-diversity) was found for the Weddell Sea stations. Similar beta-diversity patterns were discernible for Bellingshausen Sea and Greenland stations. On the shallow shelf off Northeast Greenland the alpha-diversity was found to be low but beta-diversity was relative high.

The effects of both biotic and abiotic processes on recent benthic structures are discussed. The direct observations of the effects of iceberg scouring provide convincing evidence for their contribution to alter the structure and diversity patterns of polar benthos. The significance of food availability and biological interactions, and of fundamental differences between the two ecosystems in geological age and evolutionary history, can be inferred from these recent structures.

1. Einleitung

Ziel dieser Arbeit ist eine Analyse der Besiedlung des Meeresbodens und der darauf wirkenden typisch polaren Umweltbedingungen. Im Mittelpunkt der Untersuchung steht der direkte, methodisch identische Vergleich zwischen den beiden Polargebieten. Die heutigen benthischen Strukturen werden dabei als Ergebnis langfristiger, für beide polaren Regionen unterschiedlicher, biologischer und physikalischer Prozesse in den Ökosystemen angesehen.

Konstant niedrige Wassertemperaturen und eine ausgeprägte Saisonalität in Eisbedeckung, Lichtangebot und Primärproduktion sind Merkmale sowohl arktischer als auch antarktischer Meeresgebiete. Neben diesen Gemeinsamkeiten gibt es auffallende Unterschiede (KNOX & LOWRY 1977, HEMPEL 1985, DAYTON 1990). Der arktische Ozean ist ein von Land umgebener Ozean, der durch die Bering- und Fram-Straße mit dem borealen Pazifik bzw. Atlantik verbunden ist. Noch vor etwa 6 Mio. Jahren war das Nordpolarmeer deutlich wärmer (THIEDE 1986). Erst vor etwa 3 Mio. Jahren setzte auf der Nordhalbkugel eine klimatische Abkühlung ein, in deren Verlauf sich in mehreren Schüben während der pleistozänen Eiszeiten die typischen polaren Umweltbedingungen ausbildeten. Bei dem Südpolarmeer handelt es sich dagegen um einen den Kontinent umgebenden Ringozean mit einem großräumigen zirkumpolaren Strömungsregime, das wahrscheinlich schon seit etwa 20 Mio. Jahren für relativ konstante kalte Umweltbedingungen (LIPPS & HICKMAN 1982, KENNETT & BARKER 1990, DAYTON et al. 1994) und eine Isolation der Fauna sorgt (DAYTON 1990). In der Antarktis ist der Anteil endemischer Arten hoch (DELL 1972), wohingegen in der Arktis bezüglich der Faunazusammensetzung ein zum Pol hin abnehmender atlantischer und ein geringerer pazifischer Einfluß zu beobachten ist (KNOX & LOWRY 1977). Diese Ergebnisse führen zu der Annahme, daß es sich bei dem arktischen Benthos um ein relativ junges System handelt (DUNBAR 1968, KNOX & LOWRY 1977), während die antarktische Bodenfauna auch physiologisch angepaßt ist (CLARKE 1983) und sich wahrscheinlich schon seit der Kreide vor etwa 135-66 Mio. Jahren *in situ* entwickelt hat (ARNTZ et al. 1994).

Das antarktische Benthos ist geprägt durch biologische Interaktionen (DAYTON et al. 1970) und besitzt, verglichen mit anderen benthischen Systemen, einige bemerkenswerte konstante physikalische Eigenschaften wie gleichbleibend niedrige Wassertemperaturen, geringe Salzgehaltsschwankungen und geringen Eintrag von terrigenen Sedimenten (ARNTZ et al. 1994). Die landgebundene arktische Festeiszone, zu der auch das hier untersuchte nordpolare Untersuchungsgebiet zählt, ist im Flachen offensichtlich von physikalischen Störungen dominiert (DAYTON et al. 1994), während GREBMEIER et al.

(1988) für tiefere Schelfgebiete eine deutliche pelagobenthische Kopplung nachwies. Man geht in der Antarktis von einer höheren Diversität als in der Arktis (KNOX & LOWRY 1977) aus, wobei in der hohen Antarktis sessile Suspensionsfresser (Voß 1988), in der Arktis Echinodermen, Polychaeten, Crustaceen und Mollusken die dominierenden systematischen Gruppen sind (CURTIS 1975, PIEPENBURG 1988).

Die Zusammensetzung benthischer Gemeinschaften spiegelt deren biogeographische Geschichte wider, wobei wechselnde Umwelteinflüsse unterschiedliche Verbreitungs- und Abundanzmuster bedingen (DAYTON 1990). Für benthische Studien in den Polargebieten hat es bisher zwei verschiedene Ansätze gegeben, von denen die traditionelle Arbeitsweise geographische Verbreitungsmuster liefert. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind bei ARNTZ et al. (1994) für die Antarktis, bei CURTIS (1975) für die Arktis und bei DAYTON (1990) für beide Polarregionen zusammengefaßt. Eine Übersicht über die Untersuchungen zur Populationsdynamik und Lebensstrategie ausgewählter Arten des antarktischen Benthos findet sich bei ARNTZ et al. (1994). Die Ergebnisse zeigen die Dominanz von *K*-adaptierten Arten in der Antarktis. Ökophysiologische Untersuchungen beschränken sich überwiegend auf experimentelle Kurzzeitbeobachtungen an wenigen ausgewählten Arten. Einen Überblick darüber gibt CLARKE (1983). Synökologische Studien über großräumige ökologische Zusammenhänge in der antarktischen Zone des permanenten Packeises (BULLIVANT 1967, HEMPEL 1985, BARRY & DAYTON 1988, VOß 1988, GALÉRON et al. 1992, GERDES et al. 1992) und in der arktischen landgebundenen Festeiszone (ZENKEVITCH 1963, CURTIS 1975, PIEPENBURG 1988, GREBMEIER et al. 1989) sind selten. Bipolar vergleichende Gemeinschaftsanalysen, die auf der selben Sammelmethode und ähnlichen, durch den Bearbeiter vorgegebene Bestimmungsniveaus basieren, fehlen bisher völlig.

Da ein besonderer Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf dem direkten bipolaren Vergleich der epibenthischen Besiedlungsstrukturen liegen sollte, wurde in den polaren Schelfgebieten ein mit Videokameras ausgerüstetes Unterwasserfahrzeug eingesetzt. Das dabei aufgenommene Videomaterial lieferte quantitative und damit vergleichbare Daten insbesondere für die größeren, den Lebensraum strukturierenden epibenthischen Organismen.

Bei der Analyse des Videomaterials wurde zunächst jeweils für das arktische und antarktische Untersuchungsgebiet eine Gemeinschaftsanalyse durchgeführt. Die abgegrenzten Gemeinschaften sollten hinsichtlich ihres Inventars an Taxa, ihrer Diversitäts- und Dominanzmuster und charakteristischer Taxa vergleichend beschrieben werden. Weiterhin sollte geprüft werden, ob sich die gefundenen Besiedlungsmuster mit

abiotischen Umweltparametern wie geographische Breite und Länge, Tiefe und Abstand zur Schelf- und Eiskante in Beziehung setzen lassen und anhand welcher Parameter sich die biologischen Verteilungsmuster am besten erklären lassen. Die erste Sichtung des Videomaterials zeigte, daß in beiden Untersuchungsgebieten am Meeresboden deutliche Kratzspuren von strandenden Eisbergen zu finden waren. Dieser für das polare Benthos einzigartige zerstörerische Einfluß konnte gesondert untersucht werden, da sich mit der Videomethode relativ große Flächen mit hoher räumlicher Auflösung beproben lassen. Unabhängig von der Gemeinschaftsanalyse werden dann die verschiedenen Untersuchungsgebiete hinsichtlich ihrer Artenvielfalt, Besiedlungsdichten und Diversitätsmuster verglichen. Diese Analyse beruht auf dem selben Datenmaterial, das aber aus Gründen der Vergleichbarkeit neu aufgearbeitet wird.

Alle Teilaspekte dieser Arbeit sind, wie es für synökologische Studien zwingend ist, eng miteinander verknüpft. Aus Gründen der besseren Übersicht gliedert sich die vorliegende Arbeit in drei in sich abgeschlossene Teile:

- **Lebensgemeinschaften und ihre Diversität**
- **Einfluß strandender Eisberge auf das polare Benthos**
- **Artenvielfalt, Abundanzen und Diversitätsmuster im bipolaren Vergleich**

In den Einleitungen der jeweiligen Kapitel finden sich ausführliche Einführungen in diese Themen, die auch gesondert diskutiert werden. In einer zusammenfassenden Diskussion am Ende der Arbeit (Kap. 6) werden die Ergebnisse übergreifend in größerem Zusammenhang interpretiert.

2. Untersuchungsgebiete und Probennahme

2.1 Arktis

Das hocharktische Untersuchungsgebiet liegt auf dem nordostgrönländischen Schelf zwischen 82°N und 79°N bzw. 7°W und 17°W (Abb. 2.1). Die Bathymetrie ist charakterisiert durch mehrere Schelfbänke, die durch Senken voneinander getrennt werden. Die Bänke sind sehr flach bis zu einer Tiefe von 20 m, während der Meeresboden in den Senken bis auf 200 m abfällt. Das Banksystem ist durch den 300 m tiefen "Norske Trough" vom Festland, durch den "Belgica Dyb" im Süden und den "Westwind Trough" im Norden von anderen Schelfbänken getrennt (CHERKIS & VOGHT 1994).

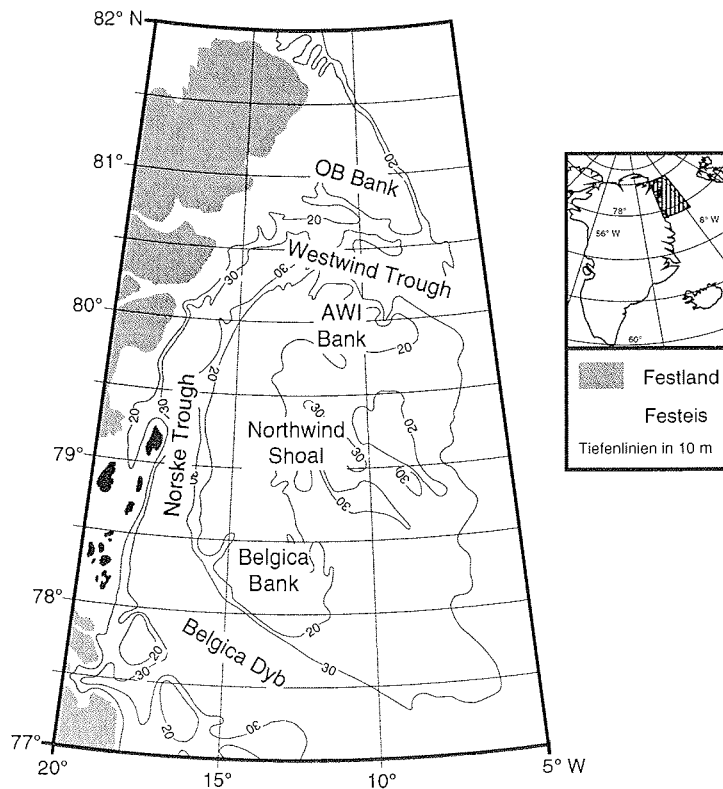


Abb. 2.1 Geographische Lage und Bathymetrie des Untersuchungsgebietes vor Nordostgrönland.

Die hydrographischen Verhältnisse sind geprägt vom Ostgrönlandstrom, der großräumig polares Wasser entlang der Küste nach Süden transportiert (QUADFASEL et al. 1987). Dicht unter der ostgrönländischen Küste existiert eine nach Norden gerichtete Strömung, die im Norden bei etwa 80°30'N im Bereich des "Westwind Trough" nach Osten wendet und am Schelfhang mit anderen Teilen des Ostgrönlandstroms nach Süden fließt. Hierdurch entsteht eine große antizyklonale Wasserbewegung auf dem Schelf, deren Lage wahrscheinlich von dem das Banksystem umgebenden Grabensystem bestimmt wird (BOURKE et al. 1987). SCHNEIDER und BUDÉUS (1994) ermittelten in der nordwärts gerichteten küstennahen Strömung mittlere Geschwindigkeiten von etwa 10 cm/s.

Das auffälligste Merkmal der Wassermassen sind zwei Schichten (SCHNEIDER & BUDÉUS 1994), deren obere bis in Tiefen von ca. 100 m aus kaltem (<0°C) und durch die sommerliche Eisschmelze ausgetüfteltem, relativ salzarmem (<34,4‰) polarem Wasser besteht. In der tieferen Schicht finden sich höhere Temperaturen und Salzgehalte, die auf die Zumischung von atlantischem Wasser zurückzuführen sind (PAQUETTE et al. 1985, SCHNEIDER & BUDÉUS 1994). Mit zunehmender Tiefe steigen Temperatur und Salinität kontinuierlich an und erreichen ab 300 m Wassertiefe nahezu konstante Werte von 0,7-0,8°C bzw. 34,8‰ (SCHNEIDER & BUDÉUS 1994).

Die ostgrönländischen Schelfgebiete liegen in der Zone permanenten Packeises des Ostgrönlandstroms. Es herrschen große saisonale und interannuelle Schwankungen in der Ausdehnung der Eisbedeckung, die sich aus ein- oder mehrjährigem Meereis aus dem Nordpolarmeer zusammensetzt. Regelmäßig öffnet sich von Ende April bis Mitte Mai vor der Küste Nordostgrönlands zwischen ca. 79° bis 81°N und 9° bis 15°W eine Polynja (SCHNEIDER & BUDÉUS 1994), die sich im September wieder schließt. Sie kann eine Fläche von bis zu 44.000 m² erreichen (WADHAMS 1981). Entscheidend für die Bildung der Polynja scheint eine Festeisbarriere zu sein, die bei etwa 79°N in den küstennahen Nordstrom hinein ragt (SCHNEIDER & BUDÉUS 1994, SCHNEIDER & BUDÉUS im Druck, MINNETT et al. im Druck). Diese Eisbarriere, deren durchgängige Existenz für die letzten zehn Jahre belegt ist, hat eine Ost-West-Ausdehnung von 60-100 km. Sie liegt sowohl im küstennahen Bereich als auch an ihrem östlichen Ende im Bereich der "Northwind Shoal" auf Grund und überspannt wie eine Brücke den "Norske Trough" (Abb. 2.1). Da sie in ihrer Kernzone aus nur etwa 3 m starkem Meereis besteht, wird neben dem Packeis nur eine Schicht oberflächennahen Schmelzwassers zurückgehalten, während das tiefere Polarwasser unter der Barriere durchströmt. Stromabwärts (nördlich) bildet sich dadurch ein eisfreies Gebiet, in dem nährstoffreiches Polarwasser an die Oberfläche gelangt. In Kombination mit der Lichteinstrahlung und einer vertikalen Schichtung durch den land- und seeseitigen Eintrag von Schmelzwasser kommt es in den Sommermonaten im nördlichem Bereich der Polynja zwischen 80° und 81°N zu hohen Phytoplankton-

konzentrationen (PESANT et al. 1996, SCHNEIDER & BUDÉUS im Druck). Die Bildung der Polynja hat zur Folge, daß im Ostgrönlandstrom zwei große Eisrandgebiete auftreten, die östliche "Marginal Ice Zone" (MIZ) und die westliche Eisrandzone an der Küstenpolynja. Aufgrund der besonderen kleinräumigen Hydrographie, des Wechsels zwischen stabilen Schichtungsverhältnissen und des gelegentlichen Auftretens von Auftriebserscheinungen und Absinken der oberen Wasserschichten durch ab- bzw. aufeisigen Wind (JOHANNESSEN et al. 1983) wurden im Bereich der Eiskanten hohe Phytoplanktonbiomassen gefunden (SPIES 1984, SMITH et al. 1985). Hohe Primärproduktionsraten führen vermutlich in Verbindung mit Abtriebserscheinungen im Bereich des antizyklonischen Wirbels zu einem hohen Eintrag von absinkendem organischem Material zum Meeresboden der Schelfbänke (PIEPENBURG 1988).

Wesentliche Teile des Schelfs vor Nordostgrönland sind von Weichböden mit hohem tonigem Anteil bedeckt. Dies gilt besonders für die tieferen Bereiche des Grabensystems und der Senken. Auf den flacheren Bänken finden sich wechselnde Anteile von Sand, Kies und Steineinlagerungen (PIEPENBURG & SCHMID 1996a, PIEPENBURG 1988). Vom Eis verfrachtete Steine ("dropstones") bis zu einer Größe von Findlingen kommen in allen Tiefenbereichen vor. Die Analyse der Videoaufnahmen bestätigt die Beobachtung von PIEPENBURG (1988), daß im Gegensatz zu dem homogenen weichen Sediment auf den tieferen Stationen in den flacheren Schelfbereichen und an den Flanken der Gräben z. T. abrupte, kleinräumige Wechsel von feinem zu steinigem oder biogenem, schillhaltigem Sediment vorkommen.

2.2 Antarktis

2.2.1 Weddellmeer

Das Weddellmeer ist ein Randmeer im atlantischen Sektor des antarktischen Ringozeans (Abb. 2.3) und ist nach CARMACK und FOSTER (1977) 2,3 Mio. km² groß. Bei dem Untersuchungsgebiet handelt es sich um den südöstlichen Schelf vor der etwa 1.000 km langen Küste von Kapp Norvegia (71°S 14°W) bis nördlich der Vahsel-Bucht (77°S 34°W). Während der Schelf nördlich von Halley Bay nur 0-100 km breit ist, erreicht er südlich davon eine Breite von bis zu 500 km. Als Schelfkante wird die 600 m-Tiefenlinie betrachtet (CARMACK & FOSTER 1977). Die gesamte Küste des Weddellmeers ist von Schelfeisen und Gletschern umgeben, die dem Schelf in 200-300 m Tiefe aufliegen oder bei größeren Wassertiefen aufschwimmen; echte Litoralbereiche fehlen somit völlig.

Detaillierte Informationen zur Hydrographie finden sich in den Arbeiten von CARMACK und FOSTER (1977) und HELLMER und BERSCH (1985), die im folgenden Abschnitt verkürzt zusammengefaßt sind. Der südöstlichen Schelfe des Weddellmeers liegt im Bereich einer nach Südwesten gerichteten Küstenströmung. Sie ist Teil des zyklonischen Weddellwirbels, der in die von katabatischen Winden angetriebene, zirkumpolare "Ostwinddrift" eingefügt ist. Zwei Wassermassen charakterisieren die Schelfbereiche im Untersuchungsgebiet: das bis in eine Tiefe von etwa 500 m reichende "östliche Schelfwasser" mit niedrigen Temperaturen (-1,6 bis -2,2 °C) und hohem Sauerstoffgehalt und das "warme Tiefenwasser", das Teil des weltweit vorkommenden ozeanischen Tiefenwassers ist. Es ist wärmer (+0,3 bis +0,7 °C) und sauerstoffärmer als das "östliche Schelfwasser" (FAHRBACH et al. 1992). Die Grenzschicht zwischen warmem Tiefenwasser und kaltem Schelfwasser ist räumlich und zeitlich variabel. Langzeitverankerungen bei Kapp Norvegia in 600 m Tiefe zeigten periodische, zeitenabhängige Temperaturveränderungen von etwa +0,4 bis -1,8 °C (ARNTZ et al. 1992).

Die nördlichen und ozeanischen Teile des Weddellmeers liegen im Bereich der saisonalen Treibeiszone, während die südlichen Schelfgebiete Teil der permanenten Treibeiszone sind (HEMPEL 1985). An den östlichen und südlichen Schelfeisküsten entstehen zu Beginn des Sommers regelmäßig Küstenpolynjen, die z. T. auch im Winter durch katabatische Winde offengehalten werden (HELMER & BERSCH 1985). Ihre Ausdehnung unterliegt jährlichen und saisonalen Schwankungen.

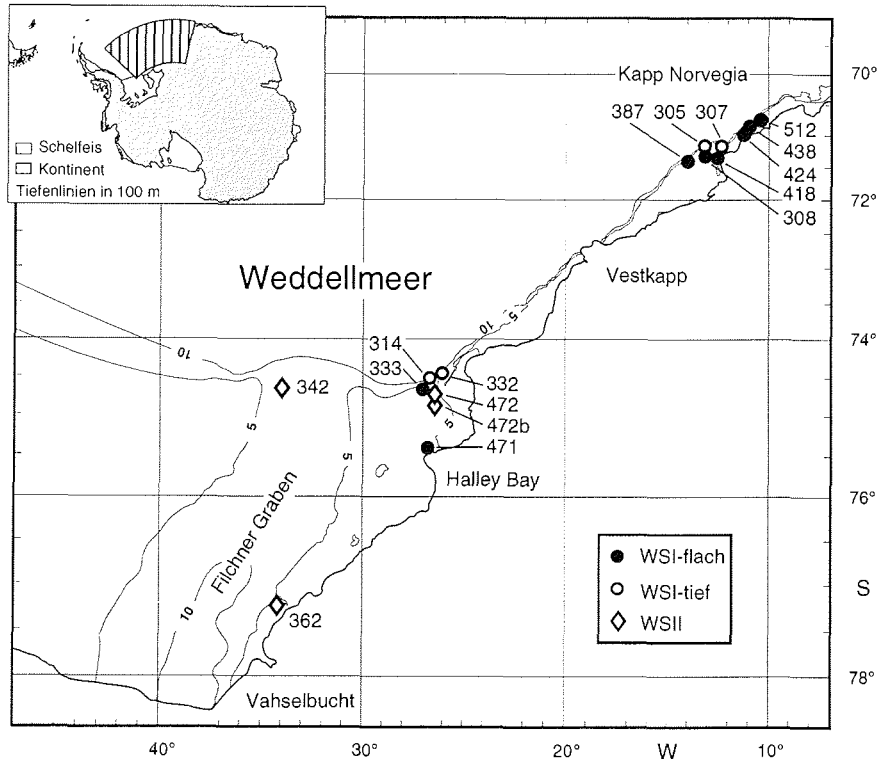


Abb. 2.3 Stationskarte der ROV-Stationen im Weddellmeer während der Expedition ANT VI/3 (FS "Polarstern", 1988). Die Kennzeichnung der Stationen erfolgte auf Grundlage der Clusteranalyse.

Die pelagische Primärproduktion weist eine große räumliche und zeitliche Heterogenität auf (VON BRÖCKEL 1985, VON BODUNGEN et al. 1988). Limitierende Faktoren sind bei hohen Nährstoffkonzentrationen das saisonale Lichtangebot, die Stabilität in der Wassersäule und die niedrigen Wassertemperaturen (HUBOLD 1992). Im Küstenbereich kann es zeitlich und räumlich begrenzt zu hohen Produktionsraten von bis zu $1.600 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ kommen, mittlere Werte sind 400 bis $700 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (VON BRÖCKEL 1985). Ein wesentlicher Anteil an der Gesamtprimärproduktion haben die Eisalgen (ACKLEY et al. 1979). Besondere Bedeutung kommt der Eisalgenproduktion im Frühjahr zu, wenn während des Abschmelzens des Meereises organisches Material noch vor dem Einsetzen der pelagischen Produktion freigesetzt wird (HORNER 1985, BATHMANN et al. 1991). Ein wesentlicher Teil des in der Wassersäule und im Meereis produzierten organischen Materials sinkt zum Meeresboden. SCHALK et al. (1993) rechnen auf dem

Weddellmeerschelf mit einem mittleren jährlichen vertikalen Fluß von organischer Substanz von etwa 5-10 g Kohlenstoff $\text{m}^{-2} \text{a}^{-1}$. Unter günstigen hydrographischen Bedingungen kann es im Südsommer häufig zu pulsartigen Sedimentationsereignissen kommen (SMETACEK et al. 1990, SCHALK et al. 1993). Die geringen bakteriellen Abbauraten im Pelagial und am Meeresboden (AUSTIN 1988, SMITH et al. 1989) lassen in Verbindung mit Advektion und Resuspension durch die bis zum Boden reichenden Strömungen gute Nahrungbedingungen für das Benthos auch weit entfernt von den Produktionsstätten vermuten (BERKMAN et al. 1986, DAYTON 1990, HUBOLD 1992).

Eine Übersicht über die Verteilung der Oberflächensedimente gibt Voß (1988). Weite Bereiche des Schelfs sind von Weichböden (Tone und Silte) mit wechselnden Anteilen von Sand, Kies oder Steineinlagerungen bedeckt. Stark unsortierte Sedimente mit Steinen bis zu Findlingsgröße (dropstones) finden sich besonders im Bereich zwischen Halley Bay und der Vahsel-Bucht. Biogene Sedimente wie Schwammnadelfilz und Bryozoenschill kommen hauptsächlich auf dem östlichem Schelf vor (VOß 1988, GUTT 1991).

2.2.2 Bellingshausen- und Amundsenmeer

Das Bellingshausenmeer wird im Osten von der antarktischen Halbinsel und der Alexander-Insel und im Süden vom antarktischen Kontinent (Ellsworth Land) begrenzt. Bei etwa 95°W liegt die Grenze zu dem sich im Westen anschließenden Amundsenmeer (Abb. 2.4). Der Kontinentalschelf ist mit 150-400 km sehr breit und in seiner Ausdehnung mit dem südlichen Weddellmeer vergleichbar. Er weist eine für den antarktischen Schelf typische Wassertiefe von etwa 500 m auf, wobei im küstennahen Bereich des zentralen Bellingshausenmeers die Wassertiefe bis auf über 1.000 m zunehmen kann (BONN et al. 1996). In beiden Meeresgebieten wurden im äußeren Schelfbereich Erhebungen beobachtet, die vermutlich Endmoränenzüge darstellen (BONN et al. 1996).

Über die Meeresströmungen auf dem Schelf des Amundsen- und Bellingshausenmeeres ist wenig bekannt. Im Bellingshausenmeer wurden westliche Strömungen beobachtet (HOFMANN et al. 1992), die die Vermutung nahelegen, daß die Schelfgebiete im Bereich der auch von anderen antarktischen Küsten bekannten "Ostwinddrift" liegen.

Der ozeanische Bereich des Bellingshausenmeers wird durch zwei von HELLMER und BERSCH (1985) definierte Wassermassen charakterisiert: dem oberflächlichen,

"Winterwasser" mit Temperaturen von -2 bis $-1,5$ °C und Salinitäten von $34,2$ bis $34,5$ ‰ und dem "Zirkumpolaren Tiefenwasser" mit Temperaturen und Salinitäten von 0 bis $+2,5$ °C bzw. $34,65$ bis $34,8$ ‰. Das "Winterwasser" wird bei einer Wassertiefe von etwa 200 m durch eine starke Thermokline vom "Zirkumpolaren Tiefenwasser" nach unten abgegrenzt, die mit einem starken Salzgradienten zusammenfällt. In den äußeren Schelfbereichen nimmt das salzige kältere Oberflächenwasser zu und die Isothermen sinken nach Süden ab, was auf die "Ostwinddrift" hindeutet (METZ 1996). Ob der gesamte Meeresboden im Untersuchungsgebiet im Bereich des kalten Oberflächenwassers liegt, läßt sich anhand der vorliegenden Daten nicht eindeutig beantworten. Zumindest die äußeren Schelfbereiche werden noch deutlich vom "Zirkumpolaren Tiefenwasser" beeinflusst, da hier in Tiefen von etwa 550 m Temperaturen und Salinitäten von $1,1$ °C bzw. $34,7$ ‰ gemessen wurden (KLAGES et al. 1995).

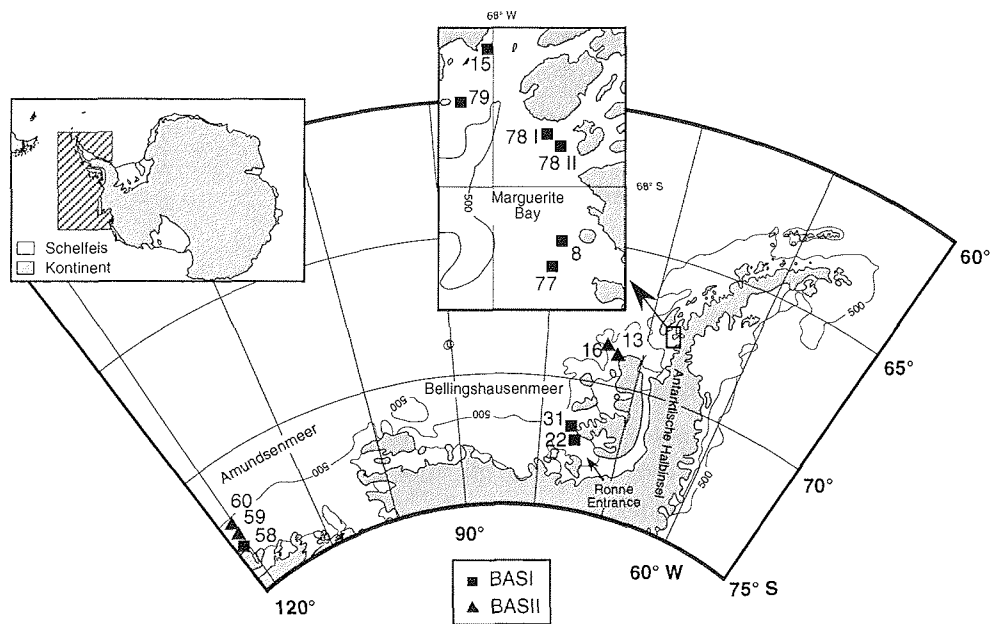


Abb. 2.4 Stationskarte der ROV-Stationen im Bellingshausen- und Amundsenmeer während der Expedition ANT XI/3 (FS "Polarstern", 1994). Die Kennzeichnung der Stationen erfolgte auf Grundlage der Clusteranalyse.

Weite Bereiche, insbesondere der südliche Schelf des Bellingshausen- und Amundsenmeers, sind im Winter und Sommer mit Meereis bedeckt. Dieses Meeresgebiet zählt in der Antarktis zu den Regionen mit den geringsten jahreszeitlichen Schwankungen in der Meereisausdehnung (HELLMER & BERSCH 1985). In den Jahren 1988-1991 wurde allerdings ein drastischer Rückgang der Meereisausdehnung im Bellingshausenmeer beobachtet (JACOBS & COMISO 1993). Dieser Rückgang war besonders deutlich im Bereich der ehemals beständigen Meereisfelder auf dem Schelf und ging einher mit zunehmenden Südwinden und steigenden oberflächlichen Lufttemperaturen in diesen Jahren. Dieser Rückgang ist Teil eines zirkumpolaren zyklischen Musters. WHITE und PETERSON (1996) beschreiben eine zirkumpolare Welle (Anomalie in Meereisausdehnung, Temperatur und Wind), die in einem vier bis fünf Jahresrhythmus auftritt und in acht bis zehn Jahren einmal um die Antarktis herumwandert. Diese zyklische Anomalie führt dazu, daß sich im Bellingshausen- und Weddellmeer dichtes und loses Meereis abwechseln (vgl. auch LEMKE et al. 1981).

Im Untersuchungsgebiet bilden sich im Frühjahr und Sommer regelmäßig große Polynjen. YEVSJEYEV (1990) beschreibt im Bellingshausen- und Amundsenmeer 12 stationäre Polynjen. Neben drei großen Polynjen im zentralen Bellingshausenmeer finden sich vor der Alexander-Insel, in der Marguerite Bay und südöstlich der Adelaide-Insel Polynjen, deren Gesamtausdehnung im Sommer 18.000-19.000 km² erreichen kann (YEVSJEYEV 1990, HAAS et al. 1996).

Im ozeanischen Bereich des Bellingshausenmeers wurden im offenen Wasser, in den eisbedeckten Regionen und nahe der Eiskante nur geringe Werte für Primärproduktion und Phytoplanktonbiomasse gemessen (BOYD et al. 1995, SAVIDGE et al. 1995). Die höchsten Primärproduktionswerte von etwa 800 mg C m⁻² d⁻¹ fanden sich unmittelbar südlich der "südlichen Polarfront" (BOYD et al. 1995). An der Eiskante wurde keine Phytoplanktonblüte beobachtet (BOYD et al. 1995, SAVIDGE et al. 1995, METZ 1996). Auf dem Schelf innerhalb der Ronne Entrance und in der Marguerite Bay kam es im Südsommer 1994 zu einer Algenblüte (dominiert von *Phaeocystis*) mit sehr hoher Primärproduktion (REX 1995, STAMBLER et al. 1995). Der Meeresboden im Untersuchungsgebiet ist hier stellenweise durch offensichtlich abgesunkenes Phytoplankton grün gefärbt (eigene unveröffentl. Ergebnisse).

Die Schelfgebiete im Bellingshausen- und Amundsenmeer sind von Weichböden mit unterschiedlichen Anteilen von Kies, Sand und Diatomeenschill bedeckt (BRYAN 1992). Der Anteil von Schwammnadeln in den Oberflächensedimenten ist gering (<2%).

2.3 Probennahme

Das Videomaterial zur Beantwortung der Fragen nach der Struktur und Diversität und dem Einfluß von strandenden Eisbergen auf die benthischen Systeme wurde mit einem ferngesteuerten Unterwasserfahrzeug (ROV = Remotely Operated Vehicle, Kap. 2.3.2) aufgenommen.

Das ROV wurde während der Polarstern-Expeditionen ANT VI/3 (Weddellmeer, 1988), ANT XI/3 (Bellingshausen- und Amundsenmeer, 1994) und ARK IX/2-3 (Nordostgrönland, 1993) auf insgesamt 54 Stationen eingesetzt. Eine Übersicht aller Stationen in den jeweiligen Untersuchungsgebieten ist in den Abbildungen 2.2, 2.3 und 2.4 und den Tabellen A.1, A.2 und A.3 im Anhang gegeben. Fahrtberichte sowie vollständige Stationslisten und Karten veröffentlichten FÜTTERER (1988), MILLER und GROBE (1996) und HIRCHE und KATTNER (1994).

2.3.2 "Remotely Operated Vehicle" (ROV)

Das ROV besteht aus vier Hauptkomponenten (Abb. 2.5): Das 80•80•80 cm große, würfelförmige Unterwasserfahrzeug selbst ist mit fünf Propellern, einem Kompaß, einem Tiefensensor, einer Farbvideokamera, einer Schwarzweiß-Restlichtvideokamera, einem Fotoapparat, Scheinwerfern und Blitzlichtgeräten ausgerüstet. Die Foto- und Videokameras werden über das selbe optische Linsensystem belichtet und können zusammen mit den Scheinwerfern und Blitzlichtern horizontal geneigt werden. Zwei im Abstand von 33 cm parallel angebrachte Laser erzeugen auf dem Foto- und Videomaterial Lichtpunkte, die als räumliche Skala für die Abschätzung der Breite des beobachteten Streifens genutzt wurden. Das Unterwasserfahrzeug ist über ein 120 m langes Schwimmkabel mit einer Unterwasserwinde verbunden. Ein 530 m langes Mehrleiterkabel verbindet über eine hydraulische Winde die Unterwasserwinde mit den Steuereinheiten an Bord. Gesteuert werden die Funktionen des Fahrzeugs und der Unterwasserwinde mittels zweier Joysticks und einer Tastatur. Die während des Einsatzes aufgenommenen Videobilder werden auf einem Bildschirm on-line wiedergegeben und von einem Recorder aufgezeichnet. Während das Unterwasserfahrzeug zum Meeresboden herabgelassen wird, ist es an die Unterwasserwinde angedockt. Etwa 20 m über dem Meeresboden wird es mechanisch freigegeben und kann dann in einem Radius von bis zu 120 m um die Unterwasserwinde bewegt werden. Es ist dabei unabhängig von den Auf- und Abbewegungen des Schiffes. Das Gerät wurde als treibendes System eingesetzt. Dabei wird die Drift des Fahrzeugs durch die Schiffsdrift, inklusive der am Kabel

hängenden Unterwasserwinde, bestimmt. Bei einer Driftgeschwindigkeit von 0,15-0,25 m/s läßt sich das Vehikel auf diese Weise so steuern, daß bei einem Bodenabstand von 30-40 cm Videobilder entstehen, die bei möglichst großer Fläche und geradliniger Strecke bestmögliche Qualität erreichen. Die Möglichkeit, das Fahrzeug aktiv zu fahren, wurde eingesetzt, um Hindernissen auszuweichen und um bei einem geringen Bodenabstand von etwa 20 cm die Fauna besonders detailliert und intensiv zu beobachten.

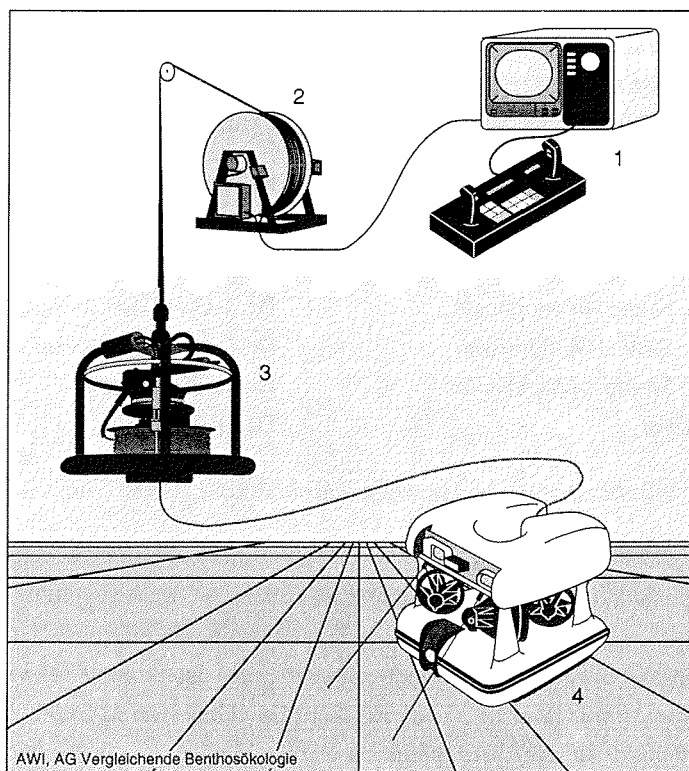


Abb. 2.5 "Remotely Operated Vehicle" (ROV). Steuereinheiten (1), Winde (2), Unterwasserwinde (3) und Fahrzeug (4). Erläuterungen siehe Text.

2.3.3 Bestimmung der Taxa und ihrer Abundanzen

Die Vielfalt der registrierten Arten reichte von Schwämmen bis zu Fischen. Obwohl bei der gewählten bildhaften Methode im Gegensatz zu herkömmlichen Sammelmethode die Organismen selbst nicht erbeutet werden, konnten viele Tiere bis auf das Artniveau bestimmt werden. Die parallel zu den Videoaufzeichnungen gemachten Farbdias dienten aufgrund ihrer um ein Vielfaches höheren optischen Auflösung der Identifikation der Taxa. Zusätzlich standen Tiere aus Netzfängen zur Verfügung, die bei Unsicherheiten zur Artbestimmung der beobachteten Organismen herangezogen werden konnten. Grundlage der Identifikation war die verfügbare Bestimmungsliteratur (THOMSON & MURRAY 1880-1889, Discovery Committee Colonial Office 1929-1980, KOTT 1969, HAIN 1990, SIEG & WÄGELE 1990) und zum weitaus größten Teil die Hilfe taxonomischer Experten:

Dr. V. M. Koltun (Porifera)	Dr. S. Slepikova (Octocorallia)
Dr. S. Grebelny (Actiniaria, Ceriantharia)	Dr. H. Ristedt (Bryozoa)
Dr. S. Hain (Mollusca)	Dr. M. Stiller (Polychaeta)
Dr. F. Krapp (Pycnogonida)	Dr. J. Gutt (Holothuroidea)
Dr. C. Dahm (Ophiuroidea)	Dr. I. Smirnov (Ophiuroidea)
Dr. C. Monniot (Ascidiacea)	Dr. D. Piepenburg
M. Mayer	Dr. B. Bergström

Allgemeine Informationen und Hinweise gaben RIEDEL (1983) und REMANE et al. (1986).

Sofern der genaue Artname nicht bekannt war, wurden bei der Auswertung des Materials Arbeitsnamen verwendet. Dabei handelt es sich entweder um eine einfache Numerierung oder um typische morphologische Merkmale. Für einige antarktische Schwämme wurden die Arbeitsnamen von BARTHEL und GUTT (1992) übernommen. Da ein Teil der Taxa nach Abschluß der Analyse noch bestimmt werden konnte, ist die Numerierung in den entsprechenden Taxalisten nicht immer fortlaufend. Taxa, bei denen eine genaue Identifikation zweifelhaft war, wurden in Sammelgruppen zusammengefaßt.

Die auf den Videobildern sichtbaren Bodentiere wurden zunächst gezählt. In der Analyse wurden alle Organismen berücksichtigt. Nur Formen, bei denen die taxonomische Einordnung selbst auf dem Niveau des Tierstamms nicht möglich war, fanden keine Berücksichtigung. Bei koloniebildenden Taxa, wie Alcyonaria, Gorgonaria, Pterobranchia und Ascidiacea, wurde jede Kolonie einem Individuum gleichgestellt. Bryozoenkolonien wurden nur dann gezählt, wenn die Kolonien deutlich voneinander zu trennen waren und diese eine charakteristische, von anderen Arten deutlich zu

unterscheidende Wuchsform aufweisen. In die Analyse gingen auch Taxa der Infauna ein, sofern diese durch Körperteile wie große Tentakelkronen oder typische Röhrenformen die aus der Sedimentoberfläche herausragten, auf den Videoaufnahmen zu erkennen waren.

Die zeitliche Einheit für die Auswertung waren 5 Sekunden-Abschnitte. Für diese Abschnitte wurden die absoluten Abundanzen der Organismen und die mittlere Transektbreite ermittelt. Für die Abschätzung der Transektbreiten anhand der auf dem Videobild abgebildeten Laserpunkte wurden folgende drei Klassen gewählt:

$$0,4 \text{ m} = 0,25\text{-}0,54 \text{ m}$$

$$0,7 \text{ m} = 0,55\text{-}0,84 \text{ m}$$

$$1,3 \text{ m} = 0,84\text{-} >1,3 \text{ m}$$

Die Berechnung der beprobten Fläche erfolgte für die Expeditionen ARK IX/2-3 und ANT VI/3 nach folgendem Schema:

- Die Distanz zwischen Anfangs- und Endposition des Einsatzes ergibt die geradlinige Gesamtdistanz (D_{ges}).
- Die Zeit zwischen Beginn und Ende des Einsatzes ist die Gesamtzeit (t_{ges}).
- Die Zeit am Boden (t_{aB}), die in der Anzeige des Systems abgelesen werden kann, multipliziert mit dem Quotienten aus Gesamtdistanz und Gesamtzeit ergibt die geradlinige Distanz am Boden (D_{aB}):

$$t_{\text{aB}} \cdot (D_{\text{ges}}/t_{\text{ges}}) = D_{\text{aB}}$$

- Da die Fahrt des Fahrzeugs nicht grundsätzlich geradlinig war, wurde ein Korrekturfaktor von 1,1-1,5 abgeschätzt, mit dem die Distanz am Boden (D_{aB}) multipliziert wurde. Daraus ergibt sich die tatsächliche Distanz am Boden ($D_{\text{tat. aB}}$):

$$t_{\text{aB}} \cdot (D_{\text{ges}}/t_{\text{ges}}) \cdot (\text{Korrekturfaktor } [\%]/100) = D_{\text{tat. aB}}$$

- Aus der tatsächlichen Distanz am Boden und der Zeit am Boden läßt sich die mittlere Geschwindigkeit am Boden (V) berechnen. In dieser Berechnung wurden Standzeiten nicht berücksichtigt. Standzeiten (Abschnitte, in denen das Fahrzeug auf der Stelle steht) waren entweder technisch bedingt oder dienten der intensiven Beobachtung einzelner Objekte.

$$D_{\text{tat. aB}}/t_{\text{aB}} = V$$

- Anhand der mittleren Geschwindigkeit läßt sich die innerhalb von 5 Sekunden zurückgelegte Strecke bestimmen. Mit der ermittelten Transektbreite errechnet sich die Fläche für die einzelnen 5 sec.-Abschnitte, deren Summe die Gesamtfläche ergibt. Hierbei werden Transektstücke, die aufgrund eines zu großen bzw. zu kleinen Bodenabstands oder durch aufgewirbeltes Substrat nicht auswertbar sind, nicht berücksichtigt.
- Mit Hilfe der so ermittelten Gesamtfläche lassen sich die absoluten Abundanzen der einzelnen Stationen auf eine einheitliche Bezugsgröße von 100 m² umrechnen.

Seit der Einführung des Datenerfassungs- und Informationssystems (PODEV) 1993 auf Polarstern ist es möglich, über einen wählbaren Zeitraum auf die Navigationsdaten zuzugreifen. Während der Expedition ANT XI/3 (1994) ins Bellingshausen- und Amundsenmeer wurden für jede Videostation die Schiffpositionen in einminütigen Intervallen aufgezeichnet. Aus den Daten wurde für die jeweiligen Stationen ein Kursplot erstellt, der die direkte Ermittlung der zurückgelegten Strecke ermöglichte.

UW-Video als Methode für ökologische Untersuchungen

Mit den eingesetzten bildhaften Methoden wird ein wesentlicher Teil der Epifauna quantitativ erfaßt. Dies gilt insbesondere für die größeren, den Lebensraum strukturierenden epibenthischen Organismen. Die Kombination der Videoaufzeichnungen mit den parallel dazu gemachten Farbdias und formolfixierten, von Taxonomen determinierten Proben ermöglicht die Identifikation vieler Tiere bis auf das Artniveau. Bei einigen taxonomischen Gruppen sind der Bestimmung anhand von Fotos Grenzen gesetzt. So befinden sich bei einigen Arten die typischen Merkmale auf der Unterseite der Tiere oder sie sind so klein, daß eine mikroskopische Analyse notwendig ist. Es hat sich aber gezeigt, daß bei einer Gemeinschaftsanalyse nur sehr wenig Information verloren gehen, wenn die Taxa auf dem Familienniveau zusammengefaßt werden (HEIP et al. 1988, WARWICK 1988a, b, SOMERFIELD & CLARKE 1995). Somit ist davon auszugehen, daß auch bei einer Analyse auf einem teilweise hohen taxonomischen Niveau die Ergebnisse gut interpretierbar sind und den natürlichen Verhältnissen entsprechen. Dies gilt nur eingeschränkt für univariate Analysen wie Diversitätsindices und Dominanzkurven (WARWICK 1988a, CLARKE & WARWICK 1994), weil in diese Berechnungen Abundanzen von möglichst genau bestimmten Taxa eingehen müssen. Die Verwendung von Arbeitsnamen hat dabei keinen Einfluß auf die Ergebnisse der Berechnungen.

Die Ermittlung der beprobten Fläche ist mit einer Kombination von Fehlern verschiedener Art belastet und kann grob mit $\pm 30\%$ abgeschätzt werden. Neben der Fähigkeit und Erfahrung des Beobachters, die Arten auf den Videobildern zu erkennen, sind die Ergebnisse von anderen Faktoren abhängig wie optische Auflösung der Bilder, Bodenabstand der Kameras und Positionsbestimmung des Schiffs bzw. des ROVs. Direkte Vergleiche zwischen epibenthischen Abundanzen, die mittels Video-beobachtungen ermittelt wurden und anderen Probennahmemethoden sind selten. UZMANN et al. (1977) ermittelten anhand von Videobeobachtungen für vagile Arten höhere Abundanzen als in vergleichbaren Netzfängen und bezeichnen videogestützte Probennahmen als die effektivste Methode zur Analyse der Epifauna auf Hartsubstraten (vgl. auch MCINTRYRE 1956). Dagegen errechnete CHRISTIANSEN (1993) beim Vergleich von Unterwasserfotografien mit Videobeobachtungen anhand der Fotos grundsätzlich höhere Abundanzen.

Der herausragende Vorteil der Videotechnik gegenüber anderen Methoden ist, daß sie Einblicke in ungestörte benthische Lebensgemeinschaften ermöglicht. Fluchtreaktionen, ausgelöst durch das herannahende Fahrzeug, wie sie CHRISTIANSEN (1993) für einige Decapodenarten beschreibt, wurden in der vorliegenden Untersuchung nur selten beobachtet. So reagierte die antarktische Garnele *Notocrangon antarcticus* kaum auf das Fahrzeug, wohingegen sich nähernde Fische eine deutliche Fluchtreaktion bei den Krebsen auslösten. Auch die zu sehr schnellen Bewegungen fähigen Zylinderrosen zogen sich erst unmittelbar vor dem Fahrzeug in ihre Wohnröhre zurück. Wegen der allgemein wenig aktiven Lebensweise der polaren Organismen kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, daß Fluchtreaktionen die Dichteabschätzungen nicht beeinflussen. Neben der Ermittlung von Abundanzen enthalten die Videoaufnahmen auch wichtige Informationen zur Lebensweise der Benthosorganismen. Die kontinuierliche Beobachtung einer großen Fläche erlaubt Aussagen zur klein- und großräumigen fleckenhaften Verteilung des Benthos. Zusätzlich lassen die Aufnahmen Rückschlüsse auf abiotische Umweltparameter wie z. B. die Substratbeschaffenheit zu.

Zusammenfassend betrachtet ist der Einsatz der Videotechnik, auch wenn sie mit möglichen Fehlern behaftet ist, für Untersuchungen zur Struktur des Epibenthos besonders gut geeignet, da sie neben Informationen zu Besiedlungsdichten Auskunft über weitere, für die Verteilungsmuster am Meeresboden wichtige biologische und abiotische Prozesse gibt.

3. Lebensgemeinschaften und ihre Diversität

3.1 Einleitung

Das Konzept "Lebensgemeinschaft" ist eines der wichtigsten Prinzipien der theoretischen und praktischen Ökologie (ODUM 1980) und eng verknüpft mit der Begründung der Ökologie als eigenständige biologische Forschungsrichtung vor mehr als 100 Jahren (REISE 1980). Kontrovers diskutiert wurde seitdem aber die ökologische Interpretation des Konzepts. Strittig war dabei die Frage, ob Artenansammlungen festumrissene Gemeinschaften mit scharfen Grenzen bilden, die mit Diskontinuitäten im Lebensraum übereinstimmen, oder ob sie ein Kontinuum darstellen, in dem die einzelnen Arten gemäß ihren Lebensansprüchen an ökologischen Gradienten verteilt sind (REISE 1980, GRAY 1984). Neuere Daten unterstützen die Idee der kontinuierlichen Verteilung der Arten, wobei die Fauna entlang einem steilen Umweltgradienten oder abrupten Wechsel des Sedimenttyps auch scharfe Grenzen zeigt. MILLS (1969) definierte unter Umgehung der theoretischen Schwierigkeiten einen pragmatischen, an der Probennahme orientierten Gemeinschaftsbegriff, der weitverbreitete Anerkennung gefunden hat:

„Gemeinschaft wird eine Gruppe von Organismen bezeichnet, die in einer bestimmten Umgebung lebt, sich wahrscheinlich gegenseitig beeinflusst, mit ihrer Umgebung in Wechselwirkung steht und sich von anderen Gruppen aufgrund von ökologischen Untersuchungen trennen läßt.“

Auf die in dieser Arbeit mit statistischen Methoden ermittelten Stationsgruppen findet diese Gemeinschaftsdefinition Anwendung, wobei die heutigen Strukturen als Ergebnis langfristiger Prozesse angesehen werden müssen, da sich die Organismen eines Gebiets im Verlaufe ihrer Evolution gegenseitig beeinflussen. Dies führt zu einer Anpassung zwischen den Organismen und zwischen Organismen und Lebensraum (REISE 1980) und bestimmt so ihre groß- und kleinräumigen Verteilungsmuster. Physikalische Gradienten wie Sedimenttyp und Tiefe oder biologische Wechselwirkungen wie z. B. Konkurrenz und Räuber-Beute-Verhältnisse sowie Nahrungsangebot und Reproduktionsverhalten erklären oft die Diversitätsmuster (HUSTON 1979, GRAY 1984, GRAY et al. 1988). Informationen über langfristige Prozesse sind somit das ergänzende Bindeglied zwischen kurzfristigen prozeßorientierten Analysen und rein deskriptiven faunistischen Arbeiten.

Folgende Fragen sollen in den nachfolgenden Kapiteln beantwortet werden:

- Welche Taxa des (Mega-) Epibenthos kommen in den Untersuchungsgebieten vor?

Die Bestandsaufnahme bezieht sich aufgrund der Probennahmemethode vorwiegend auf epibenthische Taxa der Megafauna. Diese werden qualitativ und quantitativ erfaßt.

- Lassen sich unterschiedliche Bodentiergemeinschaften abgrenzen?

Mit Hilfe der Clusteranalyse und der multidimensionalen Skalierung werden Stationsgruppen gegeneinander abgegrenzt. Ihr Taxainventar kennzeichnet die jeweilige Gemeinschaft.

- Welches sind die Charakteristika der verschiedenen Gemeinschaften?

Die Gemeinschaften werden durch strukturelle Merkmale wie dominante Faunenelemente, Anzahl der Taxa, Präsenzen, Abundanzen, Diversitäts- und Äquitätsindices, Dominanzmuster und charakteristische Taxa beschrieben.

- Lassen sich die großräumigen Besiedlungsmuster mit abiotischen Faktoren in Beziehung setzen?

Aus den Parametern geographische Länge und Breite, Tiefe, Abstand zur Schelfkante, Abstand zur (Schelf-) Eiskante werden jene Parameter bestimmt, anhand derer sich die biologischen Verteilungsmuster am besten erklären lassen.

3.2 Material und Methoden

3.2.1 Strukturelle Merkmale

Zur Beschreibung der strukturellen Merkmale der Bodentiergemeinschaften wurden **Diversität** nach SHANNON und WEAVER (1949) und HURLBERT (1971), **Äquität** nach PIELOU (1969) und **Dominanzmuster** der Stationsgruppen mit Hilfe von k-Dominanzkurven nach LAMBSHEAD et al. (1983) ermittelt. Grundlage für diese Berechnungen war ein Datensatz mit 77 (Arktis) bzw. 139 (Antarktis) Taxa. Im Gegensatz zum Gesamtdatensatz wurden dabei Sammelgruppen nicht berücksichtigt, weil in diese Berechnungen Informationen zu möglichst genau bestimmten Taxa eingehen müssen. Davon abweichend wurden einige Sammelgruppen, in denen ganz überwiegend nur eine Art zusammengefaßt ist, in die Berechnungen aufgenommen. So handelt es sich beispielsweise bei den antarktischen Crinoidea spp. fast ausschließlich um die Art *Promachocrinus kerguelensis*. Taxa, deren Abundanzen nicht in diese Berechnungen eingingen, sind in den entsprechenden Taxalisten mit einem * gekennzeichnet.

Diversität ist eine Funktion der Anzahl der vorkommenden Arten ("richness") und der Gleichmäßigkeit ("evenness"), mit der sich die Individuen auf diese Arten verteilen (MARGALEF 1958, PIELOU 1966, HURLBERT 1971).

Der Shannon-Wiener-Index nach SHANNON und WEAVER (1949) beschreibt die Diversität. Er ist der am meisten angewendete Index (GRAY 1984) und ist mit $\ln = \log_e$ definiert als:

$$H' = -\sum_{i=1}^s p_i (\ln p_i)$$

wobei p_i die relative Abundanz jeder Art i ($0 \leq p_i \leq 1$) und s die Anzahl der Arten ist.

Je gleichmäßiger die Gesamtindividuenzahl auf die einzelnen Taxa verteilt ist und je höher die Anzahl der Taxa ist, desto höher ist der Wert für H' . Er liegt grundsätzlich zwischen 0 und \ln der Taxazahl. Der Index berücksichtigt gleichermaßen die Artenzahl ("richness") und die Gleichmäßigkeit oder Äquität ("evenness"). Die **Äquität** ist ein Maß für die Verteilung der Individuen auf die Taxa unabhängig von der Anzahl der Taxa. Sie ist eine relative Größe und nach PIELOU (1969) definiert als:

$$E = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

mit H' = Diversität (gemessen) und

H'_{\max} = maximale Diversität ($H'_{\max} = \ln s$).

Die Äquität ist 0, wenn nur ein Taxon in der Probe vorhanden ist; ihr Maximum ist 1, wenn mehrere Taxa mit gleichen Abundanzen vorkommen. Die Berechnungen wurden mit standardisierten Abundanzwerten ($n/100 \text{ m}^2$) durchgeführt.

HURLBERT (1971) hat sich in einem kritischen und umfassenden Artikel mit den verschiedenen Diversitätsindices auseinandergesetzt und kommt u. a. zu dem Schluß, daß der Shannon-Wiener-Index die seltenen Arten nicht ausreichend berücksichtigt. Er definiert auf der Grundlage der Rarefaction-Methode von SANDERS (1968) einen Index zur Berechnung der **Diversität**, der wie folgt lautet:

$$E(S_n) = \sum_i \left[1 - \frac{\binom{N - N_i}{n}}{\binom{N}{n}} \right]$$

wobei $E(S_n)$ die statistisch zu erwartete Artenzahl in einer reduzierten Unterprobe mit n zufällig ausgewählten Individuen ist, die aus der Gesamtprobe mit N Individuen, S Arten und den jeweiligen Abundanzen N_i aller i Arten entnommen wurde.

In die Berechnung des Diversitätsindex nach Hurlbert gehen die absoluten Abundanzen (N) ein. Diese werden dann auf einen frei wählbaren Umfang reduziert (hier E_{S100}), für den dann die erwartete Artenzahl berechnet wird. Somit eignet sich dieser Index zum Vergleich verschieden großer Proben.

Dominanz ist definiert als der relative Anteil einer Art an der Gesamtindividuenzahl oder dem Gesamtgewicht, ausgedrückt in Prozent (%). Das **Dominanzmuster** einer Gemeinschaft läßt sich graphisch durch Dominanzkurven (LAMBSHEAD et al. 1983) darstellen. Bei diesem Verfahren werden die k -dominantesten Taxa einer Gemeinschaft in absteigender Reihenfolge gemäß ihrer Individuenzahl (Abundanz) sortiert und diese als kumulative Dominanz über den Rängen aufgetragen. Die logarithmische Skalierung der Abszisse glättet die Kurven und zieht sie im Bereich geringer Artenzahlen auseinander. Liegt die Kurve einer Gemeinschaft A unter einer Vergleichskurve B, so zeigt A einen

geringeren Dominanzgrad, d. h. sie ist diverser als B. Der Verlauf einer Kurve kann dabei stark von einer einzigen, der dominantesten Art, geprägt sein (CLARKE 1990). Den Dominanzkurven sind zwei charakteristische Größen direkt zu entnehmen: der Anteil des dominantesten Taxons an der Gesamtabundanz und die Anzahl der Taxa, die 90 % der Gesamtabundanz stellen.

3.2.2 Gemeinschaftsanalyse

Überblick

Die Grundlage der Analyse sind Arten-Stations-Tabellen mit i Stationen und k Taxa. Die einzelnen Schritte dieser Analyse werden in Abb. 3.1 schematisch dargestellt. Zunächst wurden die Arten-Stations-Tabellen reduziert und dann transformiert. In einem weiteren Schritt wurde aus den reduzierten Tabellen je eine Ähnlichkeitsmatrix für die Stationen und die Taxa errechnet. Die Ähnlichkeitsmatrix der Stationen wurden in Form eines Dendogramms und des Plots der Multidimensionalen Skalierung (MDS) dargestellt. Eine gute Grundlage für die Interpretation der von der Clusteranalyse erzeugten Gruppierungen ist eine Gemeinschaftstabelle. In ihr werden die gefundenen Stations- und Artencluster kombiniert, indem die Stationen und Arten gemäß der aus der Clusteranalyse hervorgegangenen Reihenfolge angeordnet werden. Analog zur Gemeinschaftsanalyse wurden aus den Stations-Umweltparameter-Tabellen Similaritätsmatrizen erstellt, um den potentiellen Einfluß der Umweltparameter auf die biologischen Verteilungsmuster zu beurteilen. Im folgenden werden die einzelnen Schritte im Detail erläutert. Alle dazu nötigen Berechnungen wurden mit dem Computer-Programmpaket PRIMER v4.0, Plymouth Marine Laboratory (CLARKE & WARWICK 1994) durchgeführt.

Reduktion

Die Arten-Stations-Tabellen wurden reduziert um :

- Taxa, die auf mehr als 80 % (Arktis) bzw. 75 % (Antarktis) der Stationen präsent waren, da diese als Generalisten nicht zu einer Trennung der Gemeinschaften beitragen,

- seltene Taxa, die nur auf einer Station vorkamen. Ihre Präsenz trägt u. U. zur Trennung von Gemeinschaften bei, ist jedoch möglicherweise nur zufällig und kann somit zu einem statistisch fehlerhaften Ergebnis führen.

Transformation

Durch die Transformation der Rohdaten soll der überproportionale Einfluß extrem abundanter Arten gedämpft werden. Dazu wurde die vierte Wurzel aus den Abundanzwerten der Arten-Stations-Tabellen berechnet. Ein weiterer Vorteil dieser Transformation ist, daß in Verbindung mit dem Bray-Curtis-Index (s. u.) eine Veränderung der Flächenskala keine Auswirkung auf die Gemeinschaftsanalyse hat (FIELD et al. 1982).

Berechnung der Similaritäten

Aus den reduzierten und transformierten Arten-Stations-Tabellen wurden durch paarweise Vergleiche Similaritäts-Matrizen für die Stationen und die Taxa errechnet. Dabei wurden einmal Stationen (Objekte) anhand des taxonomischen Inventars auf der Basis der Abundanz (Merkmal) und zum anderen Arten (Objekte) anhand des Auftretens auf Stationen (Merkmal) miteinander verglichen. Bei einem solchen Vergleich von Objekten werden alle Merkmale gleichzeitig einbezogen. Es findet also ein multivariater Vergleich statt. Für diese Berechnungen wurde der Bray-Curtis-Index benutzt (BRAY & CURTIS 1957), der sich bei meeresökologischen Untersuchungen als besonders geeignet erwiesen hat (FIELD et al. 1982). Der Bray-Curtis-Index berücksichtigt sowohl Häufigkeiten als auch Abundanzen und gibt die Distanzen zwischen den Objekten an:

$$S_{jk} = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^n (y_{ij} + y_{ik})} \right]$$

mit y_{ik} bzw. y_{jk} als Wert des Merkmals k für das Objekt i bzw. j .

Die Similaritäts-Matrizen bilden die Grundlage der anschließenden Klassifikation und Ordination der Objekte (Arten, bzw. Stationen).

Klassifikation (Cluster-Analyse)

Bei der Klassifikation werden die Stationen bzw. die Arten in möglichst homogene Gruppen (Cluster) zusammengefaßt und geordnet, so daß die Ähnlichkeiten innerhalb der Gruppen möglichst groß und zwischen den Gruppen möglichst gering sind. Mit Hilfe des "complete linkage"-Verfahrens (STEINHAUSEN & LANGER 1977) wurden die ermittelten Cluster verknüpft und in einem Dendogramm dargestellt. Das Dendogramm zeigt die Abhängigkeit von Clustern untereinander. Die Beziehungen aller Objekte untereinander sind hier nicht ablesbar.

Ordination (Multidimensionale Skalierung)

Die Ordination gibt im Gegensatz zur Klassifikation Auskunft über die Beziehung aller Objekte zueinander. Grundlage der Berechnungen ist ebenfalls die Similaritätsmatrix, in der für die einzelnen Similaritäten Ränge vergeben werden. Es handelt sich also um eine Matrix, die die relativen Beziehungen der Objekte hinsichtlich ihrer Merkmale wiedergibt. Als Ordinationsverfahren wurde die nicht-metrische Multidimensionale Skalierung (MDS) nach KRUSKAL und WISH (1978) verwendet. Bei diesem Verfahren wird die Anordnung der Stationen im n-dimensionalen Raum ($n = \text{Anzahl der Objekte}$) so auf eine zweidimensionale Ebene projiziert, daß die Entfernungen der Objekte zueinander möglichst gut die Similaritätsmatrix widerspiegeln, d. h. zwei Objekte sind sich um so ähnlicher, je näher sie in dem MDS-Plot zueinander stehen. Der dimensionslose Stressfaktor ist das Maß für die Güte der MDS-Ordination. Als "Faustregel" können folgende Werte gelten (CLARKE 1993):

- <0,05 sehr gute Repräsentation der Similaritätsmatrix
- <0,1 gute Repräsentation der Similaritätsmatrix
- <0,2 mit Einschränkungen noch brauchbar. Vergleiche mit den Ergebnissen der Klassifikation sind anzuraten
- >0,3 kaum besser als eine zufällige Anordnung

3.2.3 Charakteristische Taxa

Gemeinschaften lassen sich allgemein durch Charakterarten kennzeichnen, die nicht unbedingt die dominantesten Taxa sein müssen. Vielmehr ist entscheidend, inwieweit sich ihr Vorkommen auf Stationen einer von insgesamt zwei Stationsgruppen begrenzt und so zur Trennung der beiden Gruppen beiträgt. Aus diesem Grund werden solche Taxa auch als **Diskriminatoren** bezeichnet (CLARKE 1993). Eine Möglichkeit der Identifikation solcher Taxa bietet sich mit Hilfe einer Modifikation des Bray-Curtis-Index. Hierbei wird die durchschnittliche Dissimilarität δ zwischen zwei Stationsgruppen bezüglich des Vorkommens einer Art berechnet. Dissimilarität δ und Similarität S (s. o.) sind voneinander abhängig: $\delta = 100 - S$.

Die Dissimilarität der Art i zwischen den Stationen j (aus Stationsgruppe A) und k (aus Stationsgruppe B) ist nach Bray-Curtis wie folgt definiert:

$$\delta_{jk}(i) = 100 \cdot \frac{|y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})}$$

mit y_{ij} bzw. y_{ik} als Abundanzwert des Taxons i auf den Stationen j (z. B. aus Stationsgruppe A) bzw. k (z. B. aus Stationsgruppe B).

Die Dissimilaritäten für das Taxon i werden nun über alle Stationspaarungen zwischen Stationsgruppe A und B gemittelt, um die mittlere Dissimilarität δ_i der Art i zwischen den Stationsgruppen A und B und der Standardabweichung (SD) zu erhalten. Gute Charakterarten sind solche mit einer hohen mittleren Dissimilarität und einem hohen Wert für das Verhältnis von $\delta_i/SD(\delta_i)$ (CLARKE 1993).

3.2.4 Korrelation der biologischen Verteilungsmuster mit Umweltparametern

Analog zur Gemeinschaftsanalyse wurde aus den Umweltparametern der jeweiligen Stationen (Tab. A.1, A.2 und A.3) eine Similaritätsmatrix erstellt, um den Einfluß der Umweltparameter auf die biologischen Verteilungsmuster zu beurteilen. Diese Matrix muß um deutlich miteinander korrelierende Parameter reduziert werden, da solche Parameter in ihrer Wirkung nicht voneinander zu unterscheiden sind (CLARKE & AINSWORTH 1993).

Anstelle des Bray-Curtis-Index wurde die Similarität zwischen den Stationen mit Hilfe der Euklidischen Distanz D_{jk} errechnet:

$$D_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - y_{ik})^2}$$

mit y_{ik} bzw. y_{ij} als Wert des Umweltparameters i auf den Stationen j und k .

Die Verwendung der Euklidischen Distanz zur Berechnung der abiotischen Similaritätsmatrix zeigt den größten Effekt, wenn die Daten annähernd multivariat-normal verteilt sind (CLARKE & AINSWORTH 1993). Um die statistische Verteilung der abiotischen Daten zu überprüfen, wurden "Draftsman-Plots" erstellt. Es handelt sich dabei um eine dreieckige Anordnung von einfachen Scatterplots ($f_{x,y}$) zwischen Paarungen der abiotischen Variablen. Zeigt keine Paarung eine deutlich gehäufte Verteilung auf einer der Variablenachsen und sind mögliche Korrelationen linear, ist eine Transformation zur Annäherung der Daten an eine Normalverteilung nicht notwendig.

Um die Zusammenhänge der beiden Similaritätsmatrizen, der biologischen, basierend auf dem Bray-Curtis-Index und der abiotischen, basierend auf der Euklidischen Distanz, zu beurteilen, wurde eine Matrizen-Rang-Korrelation berechnet (BIO-ENV-Analyse, Abb. 3.1). Dabei wurde die von CLARKE und AINSWORTH (1993) vorgeschlagene *harmonische* Spearman-Rang-Korrelation benutzt, um die Kombinationen der Umweltparameter zu ermitteln, die eine gute Übereinstimmung der *hohen* Similaritäten in den biotischen und abiotischen Matrizen aufweisen. Der Spearman-Rang-Korrelationskoeffizient ρ_s ist nach CLARKE und AINSWORTH (1993) definiert als:

$$\rho_s = 1 - \frac{6}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \frac{(r_i - s_i)^2}{(r_i + s_i)}$$

mit r_i = Ränge aller Similaritäten der biologischen Matrix,

s_i = Ränge aller Similaritäten der abiotischen Matrix,

N = Anzahl aller möglichen Stationspaarungen.

Zur Berechnung des Spearman-Rang-Korrelationskoeffizienten werden die Zellen der beiden Matrizen (biologische Daten und Umweltparameter) nach Rängen sortiert und jeder Zelle eine Rangzahl zugeordnet. Anschließend werden diese Rangzahlen miteinander korreliert. Dabei ist $\rho_s = 1$, wenn alle Rangzahlen in beiden Matrizen gleich sind, $\rho_s = -1$, wenn eine Rangordnung die Umkehrung der anderen ist. Die abiotische Matrix wird für alle abiotischen Parameter einzeln und für alle möglichen Kombinationen der

Umweltparameter berechnet und mit der biotischen Matrix korreliert. Je näher ρ_s an dem maximal möglichen Wert 1 liegt, um so besser läßt sich die biologische Verteilungsstruktur durch die jeweilige Kombination von Umweltparametern erklären (CLARKE & AINSWORTH 1993). Die Korrelationsanalyse des BIO-ENV-Verfahrens ist eine explorative Methode. Eine Überprüfung der Signifikanz der Werte ist nicht möglich. Dennoch liefert die BIO-ENV-Analyse sichere Aussagen bei einem großen Datensatz und einer möglichst engen Verknüpfung der beiden Matrizen (CLARKE & WARWICK 1994).

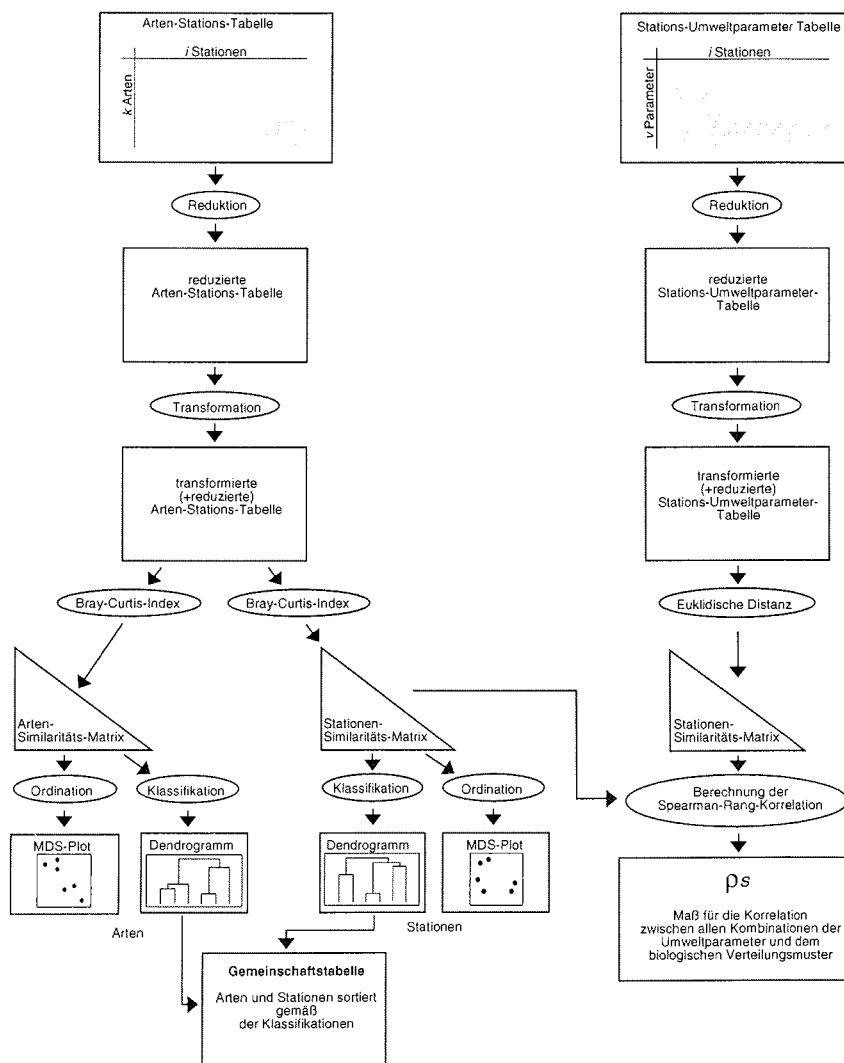


Abb. 3.1 Schematische Darstellung der Gemeinschaftsanalyse und des BIO-ENV-Verfahrens.

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Ergebnisse Arktis

Die beprobte Fläche des Meeresbodens während der 25 Einsätze des Unterwasserfahrzeugs vor der Küste Nordostgrönlands betrug annähernd 8.250 m². Es wurden 94 Taxa der epibenthischen Megafauna mit insgesamt 101.054 Individuen bestimmt, darunter Porifera (16), Cnidaria (13), Bryozoa (5), Mollusca (7), Polychaeta (10), Crustacea (3), Echinodermata (17), Ascidiacea (9) und Pisces (10). Taxa, die nicht in die Berechnungen zur Diversität und Äquität eingingen, sind mit einem * gekennzeichnet (Kap. 3.2.1).

Porifera	* Porifera spp.
Hexactinellida	<i>Schaudinnia</i> spp. <i>Trichasterina</i> spp. <i>Aphrocallistes</i> spp.
Demospongiae	* Demospongiae spp. <i>Geodia</i> spp. <i>Geodia</i> juv. forma 1 <i>Geodia</i> juv. forma 2 <i>Polymastia invaginata</i> <i>Polymastia</i> sp.1 <i>Stylocordyla borealis</i> <i>Latrunculia</i> sp.1 <i>Hymedesmia</i> spp. "Fächerschwamm" "Äste" Porifera sp.6
Cnidaria	
Hydrozoa	<i>Stylasteria</i> spp.
Scyphozoa	<i>Ptychogastria polaris</i> Stauromedusae spp.
Anthozoa	* Actinaria spp. <i>Hormathia digitata</i> Edwardsiidae spp. <i>Cerianthus</i> spp. <i>Gersemia cf. fructicosa</i> <i>Umbellula</i> spp. * Gorgonaria spp. Primnoella spp. Pennatularia spp. Gorgonaria sp.1

Bryozoa	* Bryozoa spp. <i>Hornera</i> spp. Bryozoa sp.2 Bryozoa sp.3 Bryozoa sp.5
Scolecida	* Nemertini spp.
Mollusca	
Gastropoda	<i>Margarites</i> spp. <i>Colus lachesis</i>
	* Buccinidae spp. Gastropoda sp.2 Gastropoda sp.4
Bivalvia	<i>Hiatella arctica</i>
Cephalopoda	Octopoda spp.
Polychaeta	
Errantia	* Polynoidea spp. Nereidae spp.
	<i>Thelepus cincinnatus</i>
Sedentaria	Serpulidae spp.
	* Sabellidae spp. Sabellidae sp.1 Sabellidae sp.2
	* Sedentaria spp. Sedentaria sp.1
Echiurida	Echiuroidea spp.
Pycnogonida	* Pycnogonida spp. <i>Colosendeis proboscidae</i> <i>Nymphon hirtipes</i>
Crustacea	
Isopoda	<i>Arcturus cf. hastiger</i>
Decapoda	* Decapoda spp. <i>Sclerocrangon ferox</i>
Echinodermata	
Crinoidea	Crinoidea spp.
Asteroidea	* Asteroidea spp. <i>Ctenodiscus</i> spp. <i>Poraniomorpha</i> spp. <i>Henricia</i> spp. Solaster spp. <i>Urasterias</i> spp. <i>Icasterias</i> spp. Asteroidea sp.4
	Gorgonocephalidae spp.
Ophiuroidea	* Ophiuroidea spp. <i>Ophiacantha bidenta</i> <i>Ophiocten sericeum</i> <i>Ophiopleura borealis</i>
	<i>Strongylocentrotus pallidus</i>
Echinoidea	* Irregularia spp.
Holothuroidea	<i>Psolus phantapus</i>

Ascidiacea	* Ascidiacea spp.
	<i>Pyura ovifera</i>
	<i>Pyura</i> sp. 1
	Ascidiacea sp. 1
	Ascidiacea sp.2
	Ascidiacea sp.3
Pisces	Ascidiacea sp.4
	Ascidiacea sp.5
	Ascidiacea sp.6
	* Pisces spp.
	<i>Liparis koefodi</i>
	<i>Lycodes</i> spp.
	<i>Gymnelis retrodorsalis</i>
	<i>Arteidiellius atlanticus</i>
	<i>Arteidiellius</i> spp.
	<i>Careprotus reinhardti</i>
Pisces sp.3	
Pisces sp.5	
Pisces sp.9	

Abundanzen und Präsenzen

Die flächennormierten Abundanzen ($n/100\text{ m}^2$) für die in der Gemeinschaftsanalyse berücksichtigten 71 Taxa sind in der Gemeinschaftstabelle (Tab. 3.1) stationsweise aufgelistet. Für die verbleibenden 23 Taxa sind die entsprechenden Werte Tabelle 3.2 zu entnehmen.

Die Taxa mit den höchsten Präsenzen über alle Stationen waren die Weichkoralle *Gersemia cf. fructicosa* und die Fische (beide 96 %), gefolgt von Crinoidea spp. (92 %), Asteroidea spp. und dem Seeigel *Strongylocentronotus pallidus* mit je 88 %. Der Median der Präsenzwerte lag bei 18 %. Die höchsten Abundanzen auf einer Station erreichte *Strongylocentronotus pallidus* auf den Stationen 190 und 189 mit 2.643,5 bzw. 2.448,2 Individuen pro 100 m^2 . Die mittleren Abundanzwerte lagen bei etwa $50,0/100\text{ m}^2$. Für die einzelnen Stationen gab es folgende maximale Abundanzwerte:

Station 30:	Ophiuroidea spp.	54,6/100m ²
Station 32:	Ophiuroidea spp.	226,5/100m ²
Station 36:	<i>Strongylocentronotus pallidus</i>	431,7/100m ²
Station 42:	<i>Strongylocentronotus pallidus</i>	1.149,0/100m ²
Station 54:	<i>Ophiocten sericeum</i>	746,2/100m ²
Station 56:	<i>Psolus phantapus</i>	910,5/100m ²
Station 59:	Serpulidae spp.	159,0/100m ²
Station 60:	<i>Ophiopleura borealis</i>	167,0/100m ²

Station 61:	<i>Ophiacantha bidenta</i>	619,0/100m ²
Station 77:	<i>Primnoella</i> spp.	503,7/100m ²
Station 79:	<i>Ophiopleura borealis</i>	267,5/100m ²
Station 99:	Crinoidea spp.	172,6/100m ²
Station 127:	<i>Ophiacantha bidenta</i>	417,1/100m ²
Station 128:	<i>Geodia</i> spp.	765,6/100m ²
Station 145:	Crinoidea spp.	214,1/100m ²
Station 155:	<i>Ophiocten sericeum</i>	1.910,7/100m ²
Station 163:	<i>Ophiocten sericeum</i>	765,7/100m ²
Station 172:	<i>Strongylocentronotus pallidus</i>	1.345,5/100m ²
Station 189:	<i>Strongylocentronotus pallidus</i>	2.448,2/100m ²
Station 190:	<i>Strongylocentronotus pallidus</i>	2.642,5/100m ²
Station 232:	Ophiuroidea spp.	149,8/100m ²
Station 234:	Ophiuroidea spp.	569,5/100m ²
Station 239:	Bryozoa spp.	387,8/100m ²
Station 240:	<i>Ophiocten sericeum</i>	603,6/100m ²
Station 242:	<i>Gersemia cf. fructicosa</i>	902,9/100m ²

Im gesamten Untersuchungsgebiet stellen die Echinodermen bezüglich der Individuenzahl (23.306,8/100 m²) und der Dominanz (66,2 %) die stärkste Gruppe. Besonderen Anteil an der Dominanz dieser Gruppe hatten der Seeigel *Strongylocentronotus pallidus* mit 27,3 %, die beiden Ophiuroidenarten *Ophiocten sericeum* und *Ophiacantha bidenta* mit 13,1 % bzw. 9,5 % und die Haarsterne (Crinoidea spp.) mit 6,1 %. Die Asteroidea hingegen gehören grundsätzlich zu den weniger abundanten Taxa, waren aber z. T. stetig auf den Stationen präsent. Der Anteil der Polychaeten an der Gesamtabundanz betrug 8,9 % (3.143,1/100 m²) und wird zu einem maßgeblichen Teil von sedentären Formen bestimmt. Die Anthozoa stellten 8,41 % der Gesamtabundanz, wobei die Weichkoralle *Gersemia cf. fructicosa* auf 24 von 25 Stationen vorkam, aber nur auf den flacheren Stationen (<50 m) hohe Besiedlungsdichten von bis zu 902,9/100 m² erreichte. Aus der Gruppe der Krebse wurde nur für die Assel der Familie Arcturidae eine hohe Dominanz (6,0 %) ermittelt. Schwämme kamen auf 23 Stationen vor. Ihr relativer Anteil an der Gesamtabundanz betrug 6,1 %. Besonders hohe Abundanzen wurden auf Station 128 für die Arten *Geodia* spp. (765,6/100 m²) und *Schaudinnia* spp. (162,9/100 m²) ermittelt, die auf dieser Station die dominantesten Taxa waren. Bryozoen, Ascidien und Fische gehörten grundsätzlich zu den weniger dominanten Taxa im Untersuchungsgebiet. Der Median der Dominanzwerte lag bei 0,09 %.

Gemeinschaftsanalyse

Grundlage der Gemeinschaftsanalyse war ein reduzierter Datensatz mit 71 Taxa. Die Auswahl der Taxa erfolgte anhand der in Kapitel 3.2.2 beschriebenen Kriterien. Die Klassifikation dieses Datensatzes lieferte ein Dendrogramm, in dem bei einer Similarität von 20 % drei Stationsgruppen (Cluster) erkennbar sind (Abb. 3.2), die sich hinsichtlich ihrer Tiefenlage unterscheiden. Deutlich ist eine Gemeinschaft auf den flachen Schelfbänken (BANK) zu erkennen, die durch eine Übergangszone (TRANS) von einer Gemeinschaft in den Gräben (GRABEN) getrennt wird. Die Benennungen der Cluster erfolgte in Anlehnung an die von PIEPENBURG und SCHMID (1996a) vorgeschlagenen Bezeichnungen. Die Ordination der Stationen bestätigt das Ergebnis der Klassifikation (Abb. 3.3). Deutlich wird hier der Übergangscharakter der Stationsgruppe TRANS: Die mit einer Wassertiefe von 69 m flachste Station 189 in diesem Cluster hat den geringsten Abstand zum Cluster BANK, wohingegen die mit einer Wassertiefe von 186 m tiefste Station 155 eine deutliche Ähnlichkeit zur Stationsgruppe GRABEN aufweist.

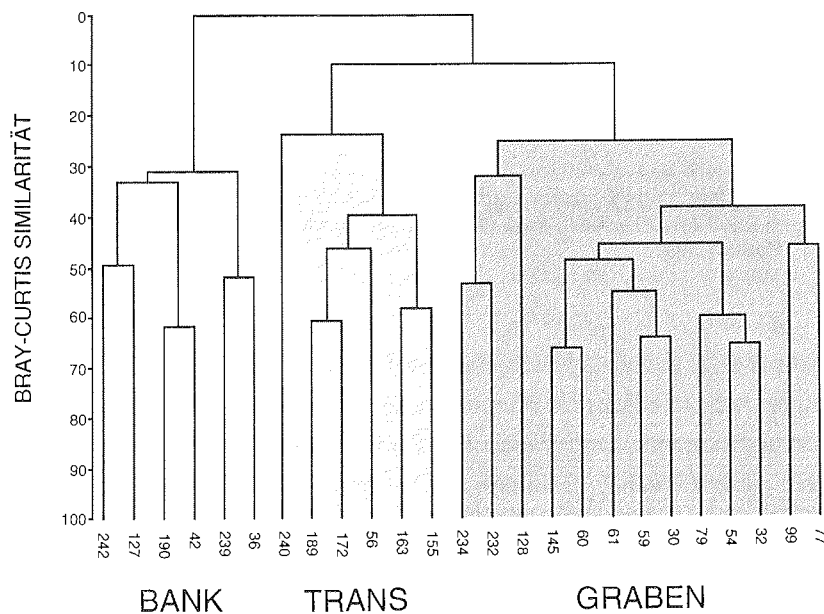


Abb. 3.2 Stationsdendrogramm der 25 Stationen vor Norostgrönland. 71 Taxa, \sqrt{d} -Transformation, Bray-Curtis-Index, complete linkage.

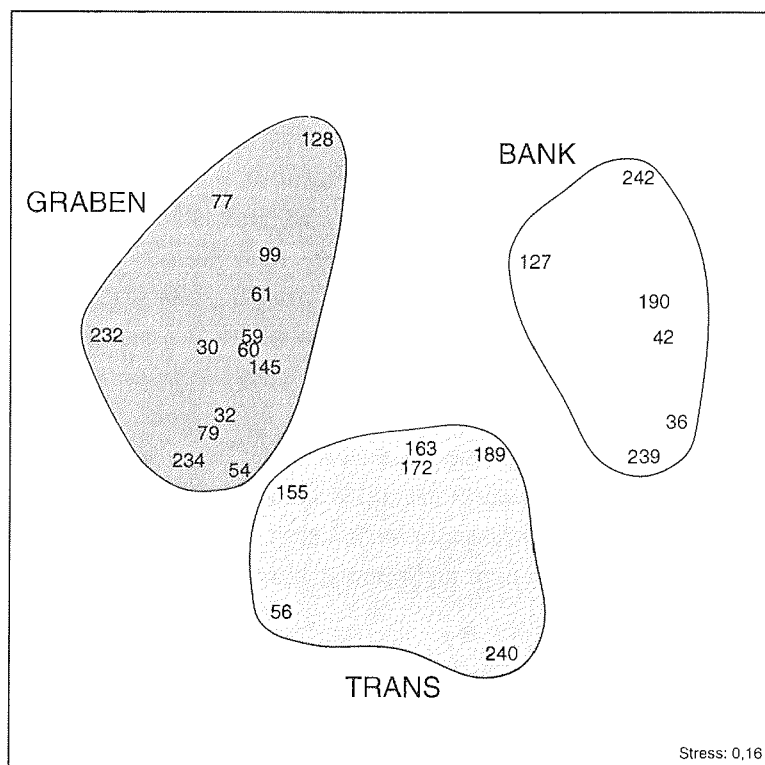


Abb. 3.3 MDS-Plot der 25 Stationen vor Norostgrönland. 71 Taxa, \sqrt{V} -Transformation, Bray-Curtis-Index. Die Zusammenfassung der Stationen durch Kreise erfolgte auf Grundlage der Clusteranalyse.

Das Cluster **BANK** umfaßte sechs Stationen auf den flachen Schelfbänken in Tiefen von 32 bis 55 m (Abb. 2.2). Polare Wassermassen mit einer Temperatur $<0^{\circ}\text{C}$ und niedrigem Salzgehalt bestimmen die hydrographischen Bedingungen in diesem Tiefenbereich (Kap. 2.1). Das zumeist sandige Sediment ist mit einem hohen Anteil von Kiesel- und Schilleinlagerungen durchsetzt, wobei der Meeresboden z. T. kleinräumig und scharf abgegrenzte Wechsel von feinem zu sehr grobem Sediment zeigt. Auf zwei Stationen ist der Meeresboden großflächig mit benthischen Diatomeen bedeckt. Auf den sechs Stationen wurden insgesamt 42 der 71 in der Analyse berücksichtigten Taxa gefunden. Die Anzahl der Taxa auf den einzelnen Stationen lag zwischen 14 und 20 (Tab. 3.3). Die mittleren Abundanzen variierten von $4,4/100\text{ m}^2$ (Stat. 36) bis $52,8/100\text{ m}^2$ (Stat. 42). Die höchste Abundanz fand sich für die Assel *Arcturus cf. hastiger* (Foto 1) mit

596,9/100 m² auf Station 42, die auch das dominanteste Taxon (37,1 %) in der Stationsgruppe BANK ist.

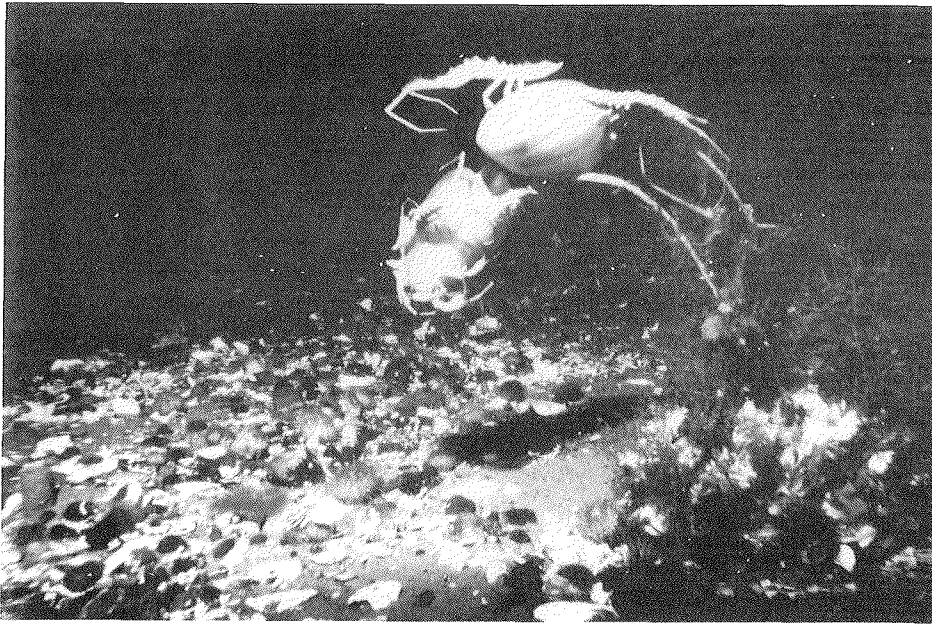


Foto 1 Stationsgruppe BANK. Zwei gestielte Ascidien *Pyura ovifera*, von der Assel *Arcturus cf. hastiger* besetzt. Auf dem Sediment mehrere Seeigel *Strongylocentronotus pallidus*.

Das Cluster **TRANS** setzte sich aus sechs Stationen in Tiefen von 62 bis 186 m an den abschüssigen Hängen im Übergangsbereich zwischen den flachen Bänken und dem Grabensystem zusammen (Abb. 2.2 und Tab. 3.3). Auf Station 163 zeigte sich ein starker Tiefengradient. Der Meeresboden fällt hier, bei einer Transektlänge von etwa 522 m, von einer Anfangstiefe von 30 m rasch auf eine Wassertiefe von bis zu 188 m ab. Insbesondere für die tieferen Stationen in dieser Stationsgruppe muß von einem Einfluß von wärmerem nordatlantischem Wasser ausgegangen werden (Kap. 2.1), so daß Wassertemperaturen von etwa 0 °C zu erwarten sind. Der Meeresboden besteht überwiegend aus dunklen, weichen Sedimenten mit wenig Steineinlagerungen. Nur im flachen Anfangsbereich der Station 163 sind vermehrt Schilleinlagerungen zu erkennen. In der Stationsgruppe kamen 47 der 71 analysierten Taxa vor. Die Anzahl der Taxa auf den einzelnen Stationen lag zwischen 12 und 30 (Tab. 3.3). Die kleinsten Werte für die mittleren Abundanzen fanden sich auf Station 172 mit 12,2/100 m², die höchsten Werte wurden auf Station 56 mit 107,1/100 m² erreicht. Die Werte für die mittleren Abundanzen sind mit den mittleren Abundanzen des Clusters BANK vergleichbar. Die höchste

Individuendichte von 1,910,7/100 m² wurde für die Ophiuroidenart *Ophiocten sericeum* (Foto 2) auf Station 155 ermittelt, die zugleich auch mit 47,0 % das dominante Taxon ist.

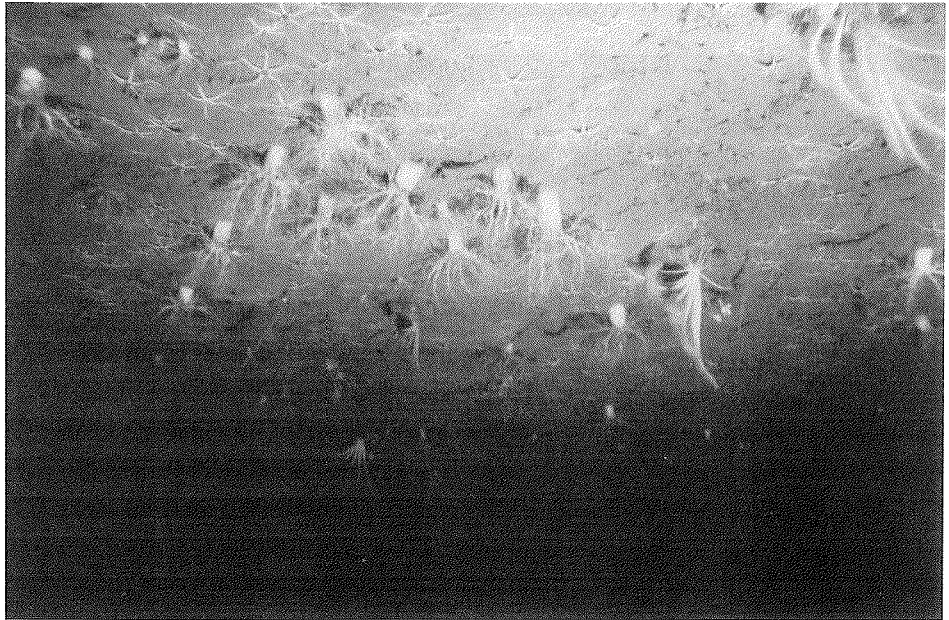


Foto 2 Stationsgruppe TRANS. Mehrere Seegurken *Psolus phantapus*. Schlangensterne *Ophiocten sericeum*. Auf kleinen Steinen sitzen vier Haarsterne.

Das Cluster **GRABEN** erstreckte sich auf die tieferen Bereiche des Grabensystems in Tiefen von 119 bis 376 m und war durch 13 Stationen repräsentiert (Abb. 2.2 und Tab. 3.3). Aufgrund der Zumischung von Wasser atlantischen Ursprungs ist auf den Stationen dieser Stationsgruppe mit bodennahen Wassertemperaturen über 0 °C zu rechnen (Kap. 2.1). Der Meeresboden ist wenig strukturiert und besteht fast ausschließlich aus weichen Sedimenten. Nur auf Station 61 wurden vermehrt Steinelagerungen bis hin zu FausgröÙe beobachtet. Insgesamt kamen 60 Taxa auf den Stationen des Clusters GRABEN vor. Die Taxazahlen auf den einzelnen Stationen lag zwischen 14 und 32 (Tab. 3.3). Die mittleren Abundanzen variierten von 4,7/100 m² (Station 30) bis 116,6/100 m² (Station 54) und sind mit den Werten für die Stationsgruppen BANK und TRANS vergleichbar. Das dominante Taxon war die Ophiuroidenart *Ophiocten sericeum* (20,7 %). Die höchste Besiedlungsdichte von 746,2/100 m² hatte der Schlangensterne *Ophiocten sericeum* auf Station 54 (Foto 3).

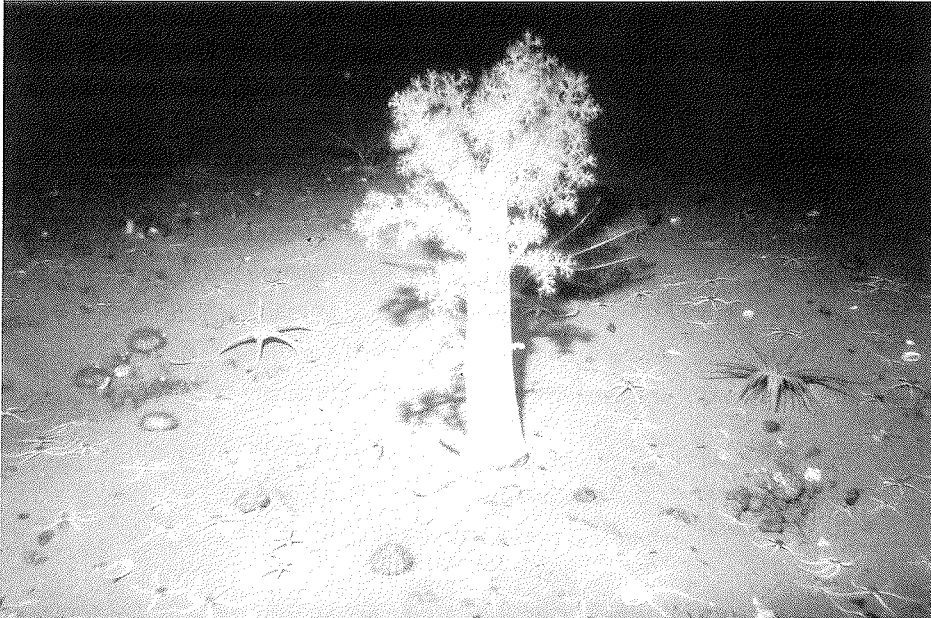


Foto 3 Stationsgruppe GRABEN. Im Zentrum des Fotos die Weichkoralle *Gersemia cf. fruticosa*. Schlangensterne *Ophiocten sericeum*. Großer Schlangensterne links *Ophiopleura borealis*. Am rechten Bildrand eine Zylinderrose der Gattung *Cerianthus*. Seeigel *Strongylocentronotus pallidus*.

Tab. 3.3 Anzahl der Stationen, Tiefenbereich, Taxazahl, dominanteste Taxa und mittlere Abundanzen der Stationsgruppen auf dem Schelf vor Nordostgrönland. Medianwerte in Klammern.

Cluster	Stationen	Tiefe (m)	Taxazahl	dominanteste Taxa	mittlere Abundanzen (n/100 m ²)
BANK	6	32-55 (49)	14-20 (17)	<i>Arcturus cf. hastiger</i>	4,4-52,8
				<i>Ophiacantha bidenta</i>	(39,2)
				Bryozoa spp.	
TRANS	6	62-186 (101)	12-30 (24)	<i>Ophiocten sericeum</i>	12,2-107,1
				<i>Psolus phantapus</i>	(55,1)
				Sabellidae sp.2	
GRABEN	13	119-376 (266)	14-32 (24)	<i>Ophiacantha bidenta</i>	4,7-116,6
				Ophiuroidea spp.	(23,5)
				<i>Ophiocten sericeum</i>	

Bezüglich der Taxazahlen und der mittleren Abundanzen besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Stationsgruppen (Kruskal-Wallis H -Test, $p = 0,075$ bzw. $p = 0,175$).

Zur besseren Interpretation der berechneten Cluster wurde eine **Gemeinschaftstabelle** (Tab. 3.1) erstellt. Die Gemeinschaftstabelle kombiniert die Ergebnisse der Analysen zur Stations- und Taxaverteilung, indem die aus der Clusteranalyse hervorgegangenen Reihenfolge der Stationen spaltenweise und der Taxa zeilenweise aufgetragen werden. Die Präsenzen innerhalb der Clusterkombinationen sind in Abb. 3.4 in einer vereinfachten Form der Gemeinschaftstabelle dargestellt. Auf die Darstellung von Taxa-Clustern mit weniger als vier Taxa wurde zugunsten einer besseren Übersicht verzichtet.

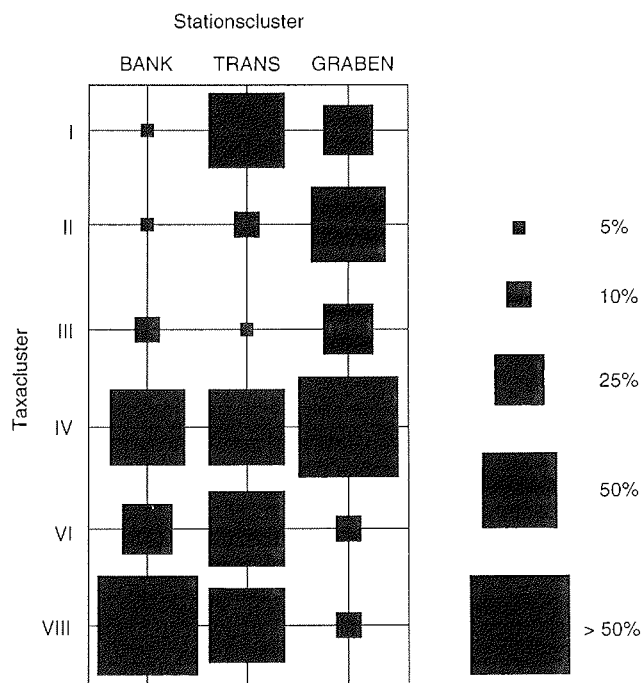


Abb. 3.4 Zusammenfassende Darstellung der Präsenzen innerhalb der Clusterkombinationen.

Das Taxacluster I beinhaltet Formen, die im Stationscluster TRANS mit einer hohen Präsenz von 42 % vorkommen und in der Stationsgruppe BANK fehlen. Die höchsten mittleren Abundanzen fanden sich jedoch im Stationscluster GRABEN, was aber im

besonderen auf die hohe Individuendichte des Polychaeten *Thelepus cincinnatus* auf Station 145 zurückzuführen ist. Die Taxa des Clusters II zeigten die höchsten Präsenzen (26 %) im Stationscluster GRABEN, während sie in den Stationsgruppen BANK und TRANS nur vereinzelt vorkamen. Geringe Präsenzen im gesamten Untersuchungsgebiet fanden sich für das Taxacluster III (BANK 10 %, TRANS 3 %, GRABEN 15 %), wobei aber drei der fünf Taxa auf einzelnen Stationen in hohen Besiedlungsdichten vorkamen: Bryozoa spp. mit 387,8/100 m² auf Stat. 239 (Cluster BANK), *Primnoella* spp. und Echiuroidea spp. mit 503,7/100 m² bzw. 249,1/100 m² auf Stat. 77 (Cluster GRABEN). Taxacluster IV ist das umfangreichste Cluster, dessen Taxa in allen Stationsgruppen präsent waren. Allerdings steigt die Präsenz mit zunehmender Wassertiefe deutlich an (BANK 29 %, TRANS 47 % und GRABEN 70 %). Das Vorkommen der Taxa der Gruppe VI konzentriert sich ähnlich wie Taxacluster I auf die Stationsgruppe TRANS. Für die Taxa des Clusters VIII wurden die höchsten Abundanzen und Präsenzen auf den Stationen der Gruppe BANK ermittelt. Mit steigender Wassertiefe nehmen die Präsenzen sowie die mittleren Abundanzen stetig ab. Taxacluster VIII stellt somit das "Gegenstück" zur Taxagruppe IV dar.

Charakteristische Taxa

Die Definition von "Diskriminatoren" (Kap. 3.2.3) nach CLARKE (1993) beruht auf dem paarweisen Vergleich von Stationsgruppen. Berechnet wird der Beitrag, den die einzelnen Arten zur Trennung der jeweiligen Stationsclusterpaarungen leisten (Tab. 3.4). Gute Charakterarten zeichnen sich durch eine hohe mittlere Dissimilarität δ_i und einen hohen Wert für das Verhältnis von $\delta_i/SD(\delta_i)$ aus (CLARKE 1993).

Tab. 3.4 Mittlere Abundanzen der charakteristischen Taxa im paarweisen Vergleich der Stationsgruppen. Die Reihenfolge der Taxa entspricht ihrem Beitrag (δ_i) zur mittleren Dissimilarität (δ) zwischen den entsprechenden Stationsgruppenpaarungen. Mittlere Dissimilarität des Taxon i (δ_i), Standardabweichung von δ_i ($SD(\delta_i)$), Verhältnis des Wertes der mittleren Dissimilarität δ_i des Taxons i zu seiner Standardabweichung ($\delta_i/SD(\delta_i)$).

	Taxa	mittlere Abundanz (n/100 m ²)			δ_i	δ_i/SD
		BANK	TRANS	GRABEN		
Vergleich BANK - TRANS $\delta = 72,34$	<i>Ophiocten sericeum</i>	0,0	598,4		7,72	2,47
	<i>Arcturus cf. hastiger</i>	215,5	136,0		3,98	1,65
	<i>Cerianthus</i> spp.	0,5	33,6		2,34	1,60
	<i>Pyura ovifera</i>	13,5	0,6		1,93	1,57
	Pycnogonidae spp.	0,1	1,6		1,27	1,52
Vergleich BANK - GRABEN $\delta = 80,34$	<i>Arcturus cf. hastiger</i>	215,5		0,0	5,63	3,22
	<i>Ophiopleura borealis</i>	0,0		65,5	3,93	2,12
	Serpulidae spp.	0,1		47,2	3,68	3,11
	<i>Pyura ovifera</i>	13,5		0,0	2,49	2,32
	Sabellidae sp.1	0,1		10,8	2,45	2,07
Vergleich TRANS - GRABEN $\delta = 66,98$	<i>Ophiocten sericeum</i>		598,4	78,6	4,94	1,74
	Sabellidae sp.2		140,5	10,1	2,82	1,35
	Serpulidae spp.		1,0	47,2	2,59	1,86
	<i>Hymedesmia</i> spp.		1,0	17,9	1,99	1,35
	<i>Artediellius atlanticus</i>		0,3	2,2	1,40	1,85

Der Schlangenster *Ophiocten sericeum* trägt aufgrund der hohen mittleren Abundanz im Cluster TRANS und des Fehlens in Cluster BANK wesentlich zur Trennung der beiden Cluster bei ($\delta_i/SD(\delta_i) = 2,47$). Ähnliches gilt für die Zylinderrose *Cerianthus* spp. und die Pycnogoniden, die aber im Vergleich zu *Ophiocten sericeum* in der Stationsgruppe TRANS in geringeren Besiedlungsdichten auftraten. Die solitäre Ascidie *Pyura ovifera* ist ein charakteristischer Bewohner der flachen Schelfbänke, da sie in den Clustern TRANS und GRABEN nur vereinzelt gefunden wurde. Die Assel *Arcturus cf. hastiger* kam zwar im Cluster BANK und TRANS in hohen Abundanzen vor (mittlere Abundanz = 215,5

bzw. 136,0/100 m²), ist aber auf den Stationen des Cluster BANK wesentlich gleichmäßiger vertreten ($\delta_i/SD(\delta_i) = 1,65$) und somit charakteristisch für das Cluster BANK.

Pyura ovifera und *Arcturus cf. hastiger* fehlen weitgehend im Cluster GRABEN, wohingegen der Schlangensterne *Ophiopleura borealis* und die Serpuliden (mit Ausnahme eines Einzelfundes auf Station 42) im Cluster BANK fehlen und im Cluster GRABEN mit gleichmäßigen Abundanzen gefunden wurden ($\delta_i/SD(\delta_i) = 2,12$ bzw. 3,11). Zusammen beträgt der Anteil dieser vier Taxa an der Trennung der Stationsgruppen BANK und GRABEN bereits mehr als 26 %.

Im Vergleich der Cluster TRANS mit GRABEN sind die Taxa *Ophiocten sericeum* und Sabellidae sp.2 charakteristisch für das Stationscluster TRANS ($\delta_i/SD(\delta_i) = 1,74$ bzw. 1,35), wohingegen die Serpuliden und der Schwamm *Hymedesmia* spp. im Cluster TRANS nur vereinzelt vorkamen und so kennzeichnend für das Cluster GRABEN sind. Nach der Analyse der Stationsgruppenpaarungen läßt sich zusammenfassend sagen, daß die Taxa *Arcturus cf. hastiger* und *Pyura ovifera* kennzeichnende Taxa des Cluster BANK sind. Für die Stationsgruppe TRANS kann *Ophiocten sericeum* als charakteristisches Taxon bezeichnet werden. *Ophiopleura borealis*, *Hymedesmia* spp. und die Serpuliden sind typische Taxa des Cluster GRABEN.

Diversitäten und Äquität

Grundlage der Berechnungen zur Diversität und Äquität der Stationen auf dem Schelf vor Nordostgrönland (Tab. 3.5) war ein Datensatz mit 77 Taxa (Kap. 3.2.1).

Tab. 3.5 Strukturelle Merkmale. Taxazahl, Gesamtabundanz ($n/100 \text{ m}^2$), Diversität $E(S_{10})$ nach HURLBERT (1971), Diversität nach SHANNON & WEAVER (1949) und Äquität nach PIELOU (1969).

Cluster	Station	Taxazahl	Gesamtabundanz ($n/100 \text{ m}^2$)	$E(S_{100})$	Diversität	Äquität
BANK	36	12	522,0	4,63	0,65	0,26
	42	14	1980,0	5,55	1,07	0,40
	127	14	886,0	6,68	1,30	0,49
	190	17	3270,0	6,64	0,78	0,27
	239	15	213,0	7,85	1,62	0,60
	242	12	1930,0	4,68	1,20	0,48
	Median		14	1408,0	6,09	1,14
TRANS	56	20	2750,0	9,21	1,79	0,60
	155	23	2480,0	7,48	0,97	0,31
	163	26	1950,0	8,29	1,50	0,46
	172	20	1650,0	7,90	0,85	0,28
	189	22	3830,0	6,83	1,16	0,37
	240	11	690,0	4,80	0,53	0,22
	Median		21	2215,0	7,69	1,06
GRABEN	30	30	92,6	19,28	2,62	0,77
	32	25	397,0	11,80	1,88	0,58
	54	16	1760,0	7,95	1,40	0,51
	59	26	514,0	14,01	2,13	0,65
	60	30	319,0	13,74	1,80	0,53
	61	20	1490,0	8,58	1,60	0,54
	77	20	1040,0	7,82	1,38	0,46
	79	15	742,0	10,19	1,81	0,67
	99	14	636,0	9,79	1,97	0,75
	128	26	1360,0	9,85	1,54	0,47
	145	26	824,0	9,60	1,77	0,54
	232	17	259,0	13,93	2,20	0,78
	234	23	485,0	11,44	1,90	0,61
	Median		23	636,0	10,19	1,81

In der Stationsgruppe BANK kamen insgesamt 33 Taxa vor. Die Taxazahl pro Station lag zwischen 12 und 17, bei einem Median von 14. Der Median der Gesamtabundanz lag bei $1.408,0/100 \text{ m}^2$. Die Gesamtabundanz der Station 190 übertraf die der Station 239 um

mehr als das 15-fache. Die Mediane der Diversitätsindices nach HURLBERT (1971) und SHANNON und WEAVER (1949) lagen bei 6,09 bzw. 1,14. Für die Äquität errechnete sich ein Median von 0,44.

Auf den Stationen des Clusters TRANS kamen insgesamt 46 Taxa vor. Auf den einzelnen Stationen wurden 11 bis 26 Taxa gefunden. Der Median der Taxazahl lag bei 21. Für die Gesamtabundanz wurden bei einem Median von 2.215,0/100 m² Werte von 690,0 bis 3.830,0/100 m² ermittelt. Der Median der Diversität $E(S_{100})$ nach HURLBERT (1971) lag bei 7,69. Für die Shannon-Wiener-Indices errechnete sich ein Median von 1,06, bei einem Median für die Äquität von 0,34.

Auf den 13 Stationen der Stationsgruppe GRABEN wurden insgesamt 64 Taxa bestimmt, von denen 14 bis 30 pro Station gefunden wurden. Der Medianwert für die Taxazahl lag bei 23. Die Gesamtabundanzen innerhalb dieser Stationsgruppe schwankten zwischen 92,6/100 m² (Stat. 30) und 1.760,0/100 m² (Stat. 54), bei einem Median von 636,0/100 m². Die höchsten Werte für die beiden Diversitätsindices wurden für Stationen dieses Clusters ermittelt. Für zehn Stationen berechneten sich höhere zu erwartende Taxazahlen in einer reduzierten Unterprobe mit 100 Individuen ($E(S_{100})$) als für die Stationen der Cluster BANK und GRABEN. Der Median für $E(S_{100})$ lag bei 10,19. Der Shannon-Wiener-Index lag bei acht Stationen über den Werten für Stationen der anderen beiden Stationsgruppen. Der Median lag bei 1,81. Der höchste Äquitätswert im gesamten Untersuchungsgebiet wurde mit 0,78 für Station 232 ermittelt. Der Median der Äquitätswerte im Cluster GRABEN lag bei 0,58.

Der Kruskal-Wallis H -Test ergab, daß sich mindestens eine Stationsgruppe bezüglich der Taxazahl, der Gesamtabundanz ($n/100$ m²), der Diversität $E(S_n)$ nach HURLBERT (1971), der Diversität nach SHANNON und WEAVER (1949) und der Äquität nach PIELOU (1969) auf dem 5%-Niveau ($\alpha = 0,05$) signifikant von den anderen unterscheidet (Tab. 3.6).

Tab. 3.6 Kruskal-Wallis H -Test für Taxazahl, Gesamtabundanz ($n/100$ m²), Diversität $E(S_n)$ nach HURLBERT (1971), Diversität nach SHANNON & WEAVER (1949) und Äquität nach PIELOU (1969). p = Fehlerwahrscheinlichkeit.

	Taxazahl $p = 0,013$	Gesamtabundanz $p = 0,016$	$E(S_{100})$ $p < 0,000$	Diversität $p = 0,001$	Äquität $p = 0,005$
Mittel der Ränge					
BANK	5,5	14,5	4,7	7,2	8,8
TRANS	13,8	19,5	9,5	7,7	7,2
GRABEN	16,1	9,3	18,5	18,2	17,6

Eine statistisch abgesicherte Aussage über die Rangfolge der Stationsgruppen bezüglich ihrer strukturellen Merkmale war aufgrund der ungleichen Stichprobenumfänge nicht möglich. Im Vergleich der Stationsgruppen läßt sich jedoch anhand der Mittelwerte der Ränge ableiten, in welcher Stationsgruppe die tendenziell größeren Werte vorkommen. So zeigt sich, daß im Stationscluster GRABEN die höchsten Werte für Taxazahl, $E(S_{100})$, Diversität und Äquität vorkommen, während die Gesamtabundanz hier im allgemeinen geringer ist.

k-Dominanzkurven

Die Dominanzmuster der Stationsgruppen BANK, TRANS und GRABEN wurden in ihrer Gesamtheit anhand von k-Dominanzkurven (Kap. 3.2.1) miteinander verglichen (Abb. 3.5).

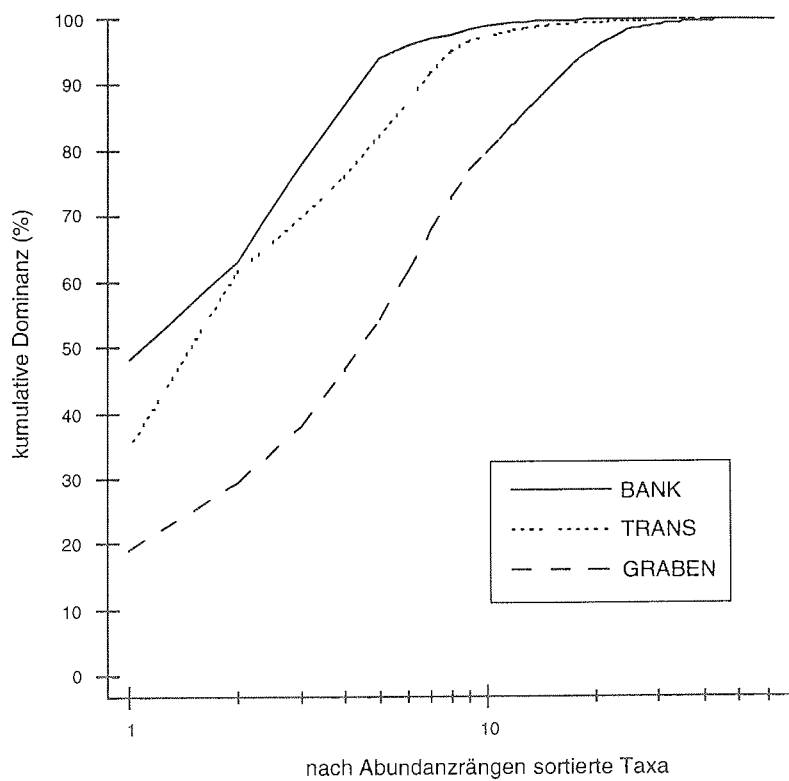


Abb. 3.5 k-Dominanzkurven der Stationsgruppen BANK, TRANS und GRABEN.

Das Cluster BANK läßt einen hohen Dominanzgrad erkennen, bei dem allein die vier häufigsten Taxa schon mehr als 90 % der Gesamtabundanz stellen. Diese Kurve zeigt somit eine geringe Diversität an, da sie über den Kurven von TRANS und GRABEN liegt. Die Dominanzkurve der Stationsgruppe TRANS zeigt bezüglich der zwei dominantesten Taxa einen ähnlich hohen Dominanzgrad wie das Cluster BANK. Im weiteren Verlauf nimmt der Dominanzgrad im Vergleich zu Cluster BANK ab. So stellen hier fünf Taxa weniger als 90 % der Gesamtabundanz. Da die Kurve in ihrer Gesamtheit unter der Kurve des Clusters BANK liegt, ist das Cluster TRANS diverser als das Cluster BANK. Den geringsten Dominanzgrad zeigt die Kurve der Stationsgruppe GRABEN. Mehr als 10 Taxa stellen 90 % der Gesamtabundanz. Die Stationsgruppe GRABEN ist damit das diverseste Cluster.

Erklärung der biologischen Verteilungsmuster durch abiotische Parameter

Die Umweltparameter geographische Länge und Breite, Tiefe, Abstand zur östlichen hangparallelen 300 m-Tiefenlinie (Schelfkante), Abstand zur Eiskante und Abstand zur 300 m-Tiefenlinie des Grabensystems sind in Tab. A.1 aufgeführt. Die Korrelationsanalyse aller abiotischen Parameter (Tab. 3.7) zeigte, daß die geographische Länge und der Abstand zur Schelfkante deutlich korreliert sind ($r = 0,96$). Aus diesem Grund wurde in der weiteren mathematischen Analyse der Abstand zur Schelfkante nicht mehr berücksichtigt, da diese Variable in ihrer Aussage und Bedeutung nicht mehr von der geographischen Länge zu unterscheiden ist (Kap. 3.2.4).

Tab. 3.7 Korrelationstabelle der Umweltparameter. LAT: geographische Breite, LON: geographische Länge, SK: Abstand zur östlichen hangparallelen 300 m-Tiefenlinie (Schelfkante), EK: Abstand zur Eiskante, G: Abstand zur 300 m-Tiefenlinie des Grabensystems.

	Tiefe	LAT	LON	SK	EK	G
Tiefe	1,00					
LAT	-0,02	1,00				
LON	-0,06	-0,41	1,00			
SK	0,1	-0,52	0,96	1,00		
EK	0,37	-0,16	-0,65	-0,44	1,00	
G	-0,56	0,26	-0,36	-0,55	-0,22	1,00

Da im "Draftsmans plot" (Abb. 3.6) keine Paarung eine deutlich gehäufte Verteilung auf einer der Variablenachse zeigte und die Korrelation zwischen der geographischen Länge und dem Abstand zur Schelfkante linear war, wurde keine Transformation der abiotischen Daten vorgenommen.

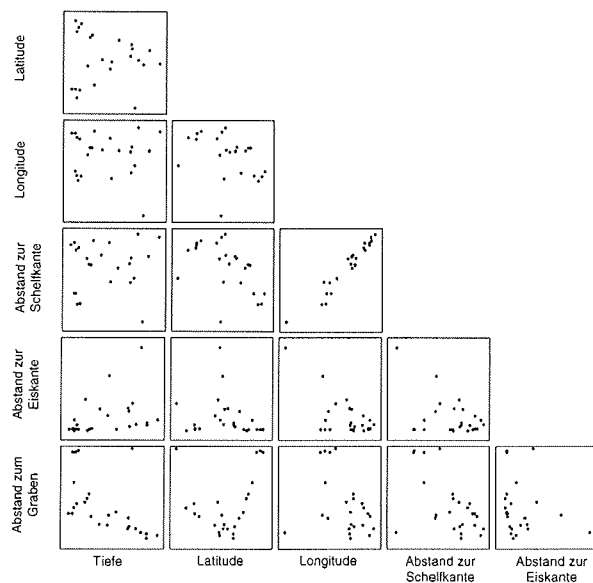


Abb. 3.6 "Draftsman-Plot" der sechs abiotischen Parameter. Die Werte und Dimensionen der Variablen sind Tab. A.1 zu entnehmen. Die Korrelationskoeffizienten sind in Tab. 3.7 zusammengefaßt.

Die Korrelationsanalyse (BIO-ENV-Analyse, Kap.3.2.4) zwischen der biologischen und der abiotischen Similaritätsmatrix zeigte, daß von den einzelnen Variablen die Wassertiefe am stärksten mit der faunistischen Verteilung korreliert ($\rho_s = 0,39$, Tab. 3.8). Dagegen weisen die geographische Länge und der Abstand zur Eiskante kaum eine Beziehung zu den biologischen Verteilungsmustern auf ($\rho_s = 0,05$ bzw. $-0,22$). Die Kombination der beiden Parameter Tiefe und geographische Breite erklären die biologischen Strukturen am besten, ausgedrückt durch den höchsten Korrelationskoeffizienten (ρ_s) von 0,48.

Tab. 3.8 Kombination der Umweltvariablen mit den höchsten Rangkorrelationen zwischen der biotischen und abiotischen Matrix (BIO-ENV-Analyse). k: Anzahl der berücksichtigten Variablen, fettgedruckter Wert kennzeichnet die Variablenkombination mit der höchsten Korrelation. LAT: geographische Breite, LON: geographische Länge, EK: Abstand zur Eiskante, G: Abstand zur 300 m-Tiefenlinie des Grabensystems.

k	Beste Kombinationen der Variablen (ρ_s : Spearman-Rang-Korrelationskoeffizient)				
1	Tiefe (0,39)	LAT (0,33)	G (0,26)	LON (0,05)	EK (-0,22)
2	Tiefe, LAT (0,48)	LAT, G (0,42)	Tiefe, G (0,40)	Tiefe, LON (0,30)	...
3	Tiefe, LAT, G (0,47)	Tiefe, LAT, LON (0,36)	LAT, LON, G (0,28)	...	
4	Tiefe, LAT, LON, G (0,36)	Tiefe, LAT, EK, G (0,30)	...		
5	Tiefe, LAT, LON, EK, G (0,28)				

3.3.2 Ergebnisse Antarktis

Das analysierte Videomaterial, das während der 29 Einsätze des Unterwasserfahrzeugs im Weddell- und Bellingshausen-/Amundsenmeer aufgenommen wurde, repräsentiert insgesamt eine Fläche von ca. 13.304 m² (Weddellmeer: 6.267 m²; Bellingshausen- und Amundsenmeer: 7.037 m²). Es wurden insgesamt 115.152 Individuen bestimmt, die sich auf 168 Taxa unterschiedlichen taxonomischen Niveaus verteilen. Darunter waren Porifera (35), Cnidaria (32), Bryozoa (4), Mollusca (14), Polychaeta (15), Crustacea (6), Hemichordata (5), Echinodermata (33) und Ascidiacea (22). Taxa, die nicht in den Berechnungen zur Diversität und Äquität berücksichtigt wurden, sind mit einem * gekennzeichnet (Kap. 3.2.1).

Porifera	* Porifera spp.
Hexactinellida	* Hexactinellida spp. <i>Rossella racovitzae</i> <i>Rossella nuda</i> <i>Rossella fibulata</i> <i>Rossella antarctica</i>
Demospongiae	* Demospongiae spp. <i>Monosyringa longispina</i> <i>Cinachyra barbata</i> <i>Cinachyra antarctica</i> <i>Latrunculia apicalis</i> <i>Polymastia isidis</i> <i>Polymastia invaginata</i> <i>Stylocordyla borealis</i> (runde Wuchsform) <i>Stylocordyla borealis</i> (zylindrische Wuchsform)
	* Poecilosclerida spp. <i>Clathria pauper</i> <i>Iophon radiatus</i> <i>Kirkpatrickia variolosa</i>
	* Isodictya spp. <i>Isodictya toxophila</i> <i>Isodictya</i> sp.1 <i>Isodictya</i> sp.2 <i>Isodictya</i> sp.3 <i>Tedania oxeata</i> <i>Tedania vanhoeffeni</i> <i>Tedania tantula</i> <i>Phorbas areolata</i> "Yellow branches" "Yellow lobate"
	* Haliclonidae spp. Haliclonidae sp.1 Haliclonidae sp.2 Haliclonidae sp.3 Haliclonidae sp.8

Cnidaria

Hydrozoa	Hydrozoa sp.4 Stylasteria spp.
Siphonophora	<i>Rhodalia miranda</i>
Scyphozoa	Lucernarida sp.1
Anthozoa	* Anthozoa spp. <i>Isocyonis alba</i> Actinaria sp.4 Actinaria sp.12 Actinaria sp.13 <i>Edwardsia</i> spp. * Ceriantharia spp. Ceriantharia sp.1 Ceriantharia sp.2 Ceriantharia sp.3 Ceriantharia sp.4 Ceriantharia sp.5 * Alcyonaria spp. Alcyonaria sp.1 Alcyonaria sp.3 Alcyonaria sp.5 <i>Umbellula</i> spp. * Gorgonaria spp. <i>Primnoella</i> spp. <i>Thouarella</i> spp. Gorgonaria sp.2 Gorgonaria sp.3 Gorgonaria sp.4 Gorgonaria sp.5 Gorgonaria sp.6 Gorgonaria sp.9
Ctenophora	<i>Lyroteis flavopallidus</i>
Bryozoa	<i>Melicerita obliqua</i> <i>Camptoplites tricornis</i> Bryozoa sp.17
Brachiopoda	* Cyclostomata spp.
Scolecida	* Brachiopoda spp.
Mollusca	* Nemertini spp.
Polyplacophora	Polyplacophora spp.
Gastropoda	* Gastropoda spp. <i>Parmaphorella mawsoni</i> <i>Marseniopsis mollis</i> <i>Neobuccium eatoni</i> <i>Harpovoluta charcoti</i> * <i>Marginella</i> spp. <i>Aforia magnifica</i> <i>Pontiothauma ergata</i> * Nudibranchia spp. <i>Austrodoris kerguelensis</i> Nudibranchia sp.1

Cephalopoda	* Octopodidae spp. <i>Psychroteuthis glacialis</i>
Polychaeta	
Errantia	* Polynoidea spp. <i>Laetmonice producta</i> <i>Hamothoe hartmanae</i>
	* Flabelligeridae spp.
Sedentaria	* Sabellidae spp. Sabellidae sp.5 * Terebellidae spp. <i>Pista</i> spp. Terebellidae sp.1 <i>Thelepus</i> spp.
	* Serpulidae spp. Sedentaria sp.1 Sedentaria sp.2
Echiurida	Echiuroinea sp.1 Echiuroinea sp.2
Pycnogonida	* Pycnogonida spp.
Crustacea	
Isopoda	<i>Glyptonotus antarcticus</i> * Arcturidae spp. * Serolidae spp. <i>Serolis bouvieri</i>
Decapoda	<i>Chorismus antarcticus</i> <i>Notocrangon antarcticus</i>
Hemichordata	
Pterobranchia	* Pterobranchia spp. Pterobranchia sp.1 Pterobranchia sp.2 Pterobranchia sp.3
Enteropneusta	Enteropneusta spp.
Echinodermata	
Crinoidea	Crinoidea spp. gestielte Crinoidea spp.
Asteroidea	Asteroidea spp. <i>Henricia</i> spp. <i>Diplasterias brucei</i> <i>Macropytaster</i> spp. Asteroidea sp.15 Asteroidea sp.21 Asteroidea sp.23 <i>Labidiaster anulatus</i> Solaster sp.1
Ophiuroidea	* Gorgonocephalidae spp. <i>Astrotoma agassizii</i>
Echinoidea	<i>Sterechinus</i> spp. * Cidaroidea spp. Notocidarid spp. Ctenocidarid spp. Irregularia spp.

Holothuroidea	<p>Dendrochirotida spp. Dendrochirotida sp.1 <i>Abyssocucumis</i> spec. <i>Ekmocucumis turqueti</i> Psolidae spp. <i>Pseudostichopus mollis</i> <i>Pseudostichopus villosus</i> <i>Bathyplores rubipunctatus</i> <i>Bathyplores fuscivinculum</i> <i>Alclyonice violaecuspidata</i> <i>Peniagone vignioni</i> <i>Taenogyrus contortus</i> Apodida sp.1 <i>Scotoplanes globossa</i> <i>Chiridota weddellensis</i></p>
Ascidacea	<p>* Ascidacea spp. <i>Pyura discoveryi</i> <i>Pyura setosa</i> <i>Pyura georgiana</i> <i>Cnemidocarpa verrucosa</i> Ascidacea sp.4 Ascidacea sp.10 Ascidacea sp.14 Ascidacea sp.15 * Synascidiacea spp. <i>Synoicum</i> spp. Sycoczoa spp. Synascidiacea sp.1 Synascidiacea sp.5 Synascidiacea sp.8 Synascidiacea sp.12 Synascidiacea sp.13 Synascidiacea sp.16 Synascidiacea sp.17 Synascidiacea sp.19 Synascidiacea sp.20 Synascidiacea sp.26</p>

Abundanzen und Präsenzen

Die flächennormierten Abundanzwerte ($n/100 \text{ m}^2$) für die 126 in der Gemeinschaftsanalyse berücksichtigten Taxa sind in der Gemeinschaftstabelle (Tab. 3.9) stationsweise aufgeführt. Die entsprechenden Werte der verbleibenden 42 Taxa sind der Tab. 3.10 zu entnehmen.

Die Anthozoa spp., Crinoidea spp., Asteroidea spp und der Seeigel *Sterechinus* spp. kamen auf allen 29 Stationen des antarktischen Untersuchungsgebietes vor. Die nächsthöheren Präsenzen von jeweils 96,6 % fanden sich für die Hornkoralle *Thouarella* spp. und die solitäre Ascidie *Pyura georgiana*. Der Median der Präsenzen lag bei 24,1 %. Die höchsten Abundanzen fanden sich für die Schwämme *Rossella antarctica* mit $8.019,5/100 \text{ m}^2$ auf Station 471 und *Stylocordyla borealis* (runde Wuchsform) mit $4.097,1/100 \text{ m}^2$ auf Station 418. Mittlere Abundanzwerte lagen bei etwa $27,0/100 \text{ m}^2$. Für die einzelnen Stationen wurden folgende maximale Abundanzen ermittelt:

Station 305:	<i>Melicerita obliqua</i>	831,6/100 m ²
Station 307:	<i>Melicerita obliqua</i>	102,6/100 m ²
Station 308:	<i>Synoicum</i> spp.	246,4/100 m ²
Station 314:	Crinoidea spp.	286,9/100 m ²
Station 332:	Crinoidea spp.	206,3/100 m ²
Station 333:	<i>Rossella racovitzae</i>	796,4/100 m ²
Station 342:	<i>Sterechinus</i> spp.	56,1/100 m ²
Station 362:	<i>Alcyonice violacuspadata</i>	68,0/100 m ²
Station 387:	<i>Melicerita obliqua</i>	369,2/100 m ²
Station 418:	<i>Stylocordyla borealis</i> (R)	4.097,1/100 m ²
Station 424:	Crinoidea spp.	329,8/100 m ²
Station 438:	<i>Melicerita obliqua</i>	201,1/100 m ²
Station 471:	<i>Rossella antarctica</i>	8.019,5/100 m ²
Station 472:	<i>Alcyonice violacuspadata</i>	45,3/100 m ²
Station 472b:	<i>Alcyonice violacuspadata</i>	181,0/100 m ²
Station 512:	<i>Melicerita obliqua</i>	170,2/100 m ²
Station 8:	<i>Thouarella</i> spp.	30,0/100 m ²
Station 13:	Irregularia spp.	90,3/100 m ²
Station 15:	<i>Sterechinus</i> spp.	881,3/100 m ²
Station 16:	Crinoidea spp.	109,2/100 m ²
Station 22:	<i>Thouarella</i> spp.	89,4/100 m ²
Station 31:	<i>Melicerita obliqua</i>	1.444,8/100 m ²
Station 58:	<i>Thouarella</i> spp.	163,6/100 m ²
Station 59:	Crinoidea spp.	207,8/100 m ²
Station 60:	Crinoidea spp.	50,6/100 m ²

Station 77:	<i>Ceriantharia</i> sp.5	37,8/100 m ²
Station 78I:	<i>Ceriantharia</i> sp.5	64,5/100 m ²
Station 78II:	<i>Thouarella</i> spp.	155,1/100 m ²
Station 79:	<i>Thouarella</i> spp.	178,9/100 m ²

Im gesamten Untersuchungsgebiet stellen die Schwämme bezüglich der Individuenzahl (16.948,6/100 m²) und der Dominanz (47,8 %) die stärkste Gruppe. Der Glasschwamm *Rossella antarctica* zeigte, über alle Stationen betrachtet, mit 24,1 % die höchste Dominanz, kam aber im Bellingshausen- und Amundsenmeer nur auf der Station 79 vor. Die nächsthöheren Dominanzwerte fanden sich für die runde Wuchsform des Schwamms *Stylocordyla borealis* mit 11,6 %. Die Bryozoenkolonien stellten 11,9 % (4.228,1/100 m²) der Gesamtabundanz, wobei die sichelförmige *Melicerita obliqua* mit 10,1 % die weitaus dominanteste Art in dieser Gruppe war. Der Anteil der Anthozoa an der Gesamtabundanz betrug 14,5 % (5.149,2/100 m²) und wurde zum maßgeblichen Teil von den Octocorallia bestimmt. So stellte die Hornkoralle *Thouarella* spp. 5,3 % der Gesamtabundanz. Der relative Anteil der Hexacorallia hingegen betrug nur 2,8 % (1.007,6/100 m²) und wird wesentlich von der Zylinderrose *Ceriantharia* sp. 5 (2,0 %) bestimmt, die aber nur auf Stationen im Bellingshausenmeer mit höheren Abundanzen gefunden wurde. Der relative Anteil der Ascidien an der Gesamtabundanz betrug 7,4 %. Die koloniebildenden Vertreter dieser Gruppe wie z. B. *Synoicium* spp. (2,5 %) sind hier deutlich stärker vertreten als die solitären Formen. Der Median der Dominanzwerte lag bei 0,02 %.

Gemeinschaftsanalyse

Ausgehend von der reduzierten Arten-Stations-Tabelle (Kap. 3.2.2) lieferte die Klassifikation der Stationen ein Dendrogramm, in dem bei einem Similaritätsmaß von etwa 20 % vier Stationsgruppen zu erkennen sind (Abb. 3.7). Die Benennung der Cluster erfolgte vor allem aufgrund der geographischen Lage der Stationen. Zwei Stationsgruppen (WSI und WSII) setzen sich aus Stationen aus dem Weddellmeer zusammen, während sich in den anderen zwei Clustern (BASI und BASII) Stationen aus dem Bellingshausen- und Amundsenmeer finden. Die Ordination der Stationen bestätigt grundsätzlich das Ergebnis der Klassifikation, obgleich die Trennung der Stationsgruppen nicht so deutlich ist. Der MDS-Plot als Ergebnis der Ordination zeigt im Gegensatz zu den diskreten Stationsgruppen des Dendrogramms eine eher kontinuierliche Verteilung der Stationen (Abb. 3.8). So zeigen z. B. die Stationen 16 und 60 eine deutliche Nähe zum Cluster BASI, während die Stationen 13 und 59 sich deutlich davon abgrenzen lassen und

untereinander eine wesentliche Distanz aufweisen. Station 362, die nach der Klassifikation zum Stationscluster WSII gehört, zeigt im MDS-Plot eine große Ähnlichkeit mit Stationsgruppe WSI, was aus dem Dendogramm nicht hervorgeht. Deutlicher als das Dendogramm zeigt der MDS-Plot die Trennung der Stationen aus dem Bellingshausen- und Amundsenmeer und den Stationen aus dem Weddellmeer. Weiterhin wird deutlich, daß sich die Gruppe WSI in zwei gut interpretierbare Cluster zweiter Ordnung WSI-flach und WSI-tief untergliedern läßt.

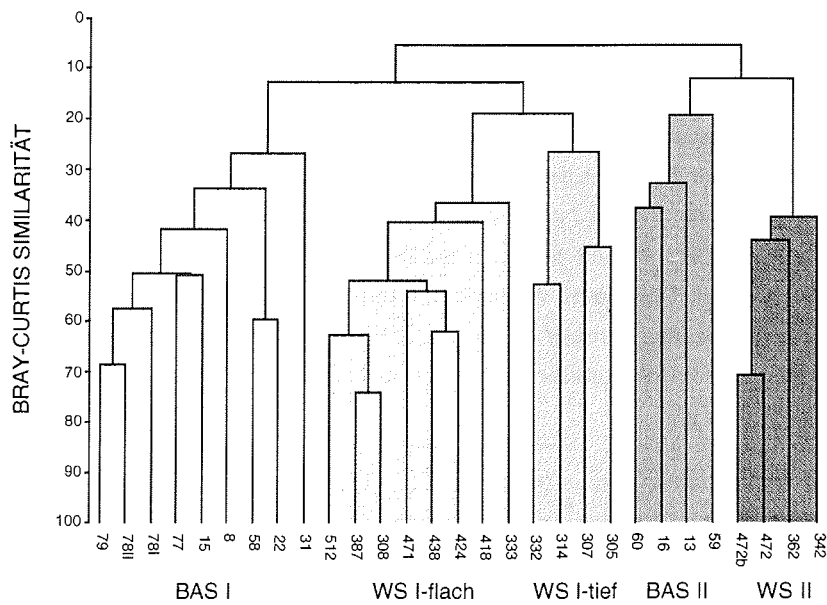


Abb. 3.7 Stationsdendrogramm der 29 Stationen im Weddellmeer und Bellingshausen-/Amundsenmeer. 126 Taxa, $\sqrt{\sqrt{\cdot}}$ -Transformation, Bray-Curtis-Index, complete linkage.

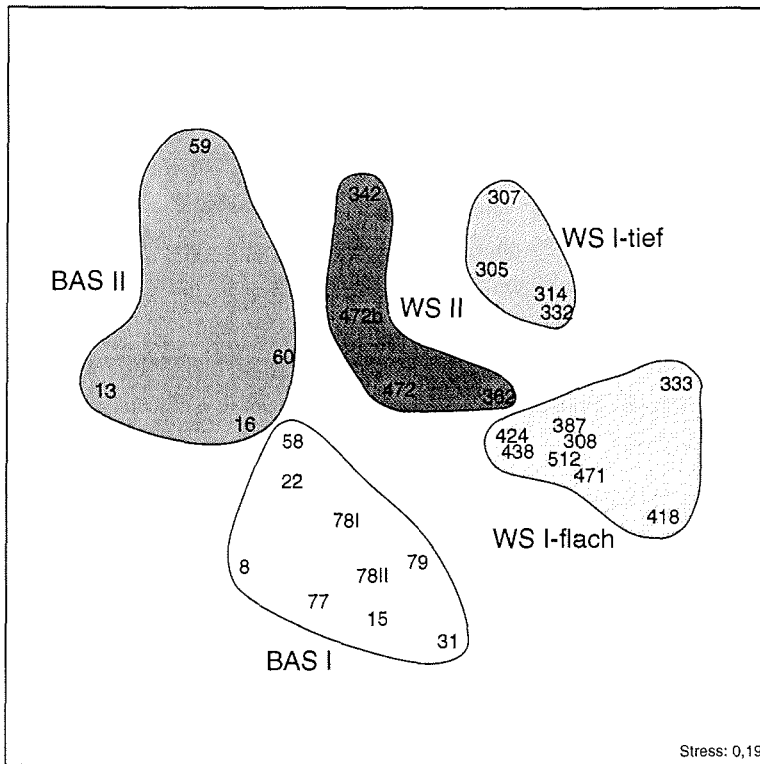


Abb. 3.8 MDS-Plot der 29 Stationen im Weddellmeer und Bellingshausen-/Amundsenmeer. 126 Taxa, \sqrt{V} -Transformation, Bray-Curtis-Index. Die Zusammenfassung der Stationen durch Kreise erfolgte auf Grundlage der Clusteranalyse.

Das Cluster **WSI-flach** wird von sechs Stationen auf dem schmalen Schelf vor Kapp Norvegia und zwei weiteren Stationen auf dem Schelfrücken nördlich von Halley Bay in Tiefen von 175 bis 417 m gebildet (Abb. 2.3 und Tab. 3.11). Der Meeresboden besteht dort aus weichen Sedimenten mit wechselnden Anteilen von Sand, Kies, Steinen oder biogenen Einlagerungen wie Schill oder Schwammnadelfilz. Das Sediment ist zum Teil vollständig mit Bryozoen, Gorgonarien und Schwämmen bedeckt (Foto 4). In dieser Stationsgruppe kamen 107 der 126 in der gesamten Analyse berücksichtigten Taxa vor. Die Anzahl der Taxa auf den einzelnen Stationen lag zwischen 32 und 59, die mittleren Abundanzen im Bereich von 5,5/100 m² (Stat. 424) und 147,5/100 m² (Stat. 471). Der

höchste Abundanzwert von 8.019,5/100 m² wurde für den Glasschwamm *Rossella antarctica* auf Station 471 ermittelt. *R. antarctica* ist zugleich das dominanteste Taxon in der Stationsgruppe WSI-flach.

Cluster **WSI-tief** (Foto 5) mit je zwei Stationen nahe der Schelfkante vor Kapp Norvegia und nördlich von Halley Bay (Abb. 2.3) in Wassertiefen von 427-538 m (Tab. 3.11). Der Meeresboden ist von weichen Sedimenten geprägt, in die Sand, Kies und Schill in wechselnden Anteilen eingelagert sind. Die Bedeckung mit Bryozoen ist fleckhaft. Es wurden 60 der insgesamt 126 analysierten Taxa gefunden. Die Taxazahlen auf den einzelnen Stationen lagen zwischen 20 und 36. Die mittleren Abundanzen variierten in einem Bereich von 5,3/100 m² (Stat. 332) bis 45,2/100 m² (Stat. 305). Die höchste Individuendichte von 831,6/100 m² wurde für die Bryozoenart *Melicerita obliqua* auf Station 305 ermittelt, die zugleich mit 72,6 % das mit Abstand dominanteste Taxon in der Stationsgruppe WSI-tief ist.

Cluster **WSII** mit drei Stationen auf dem Schelf westlich von 25°W und einer weiteren Station im nördlichen Bereich des Filchner Grabens auf der Schwelle zum Kontinentalhang (Abb. 2.3). Die Wassertiefen lagen zwischen 412 und 555 m (Tab. 3.11). Der Meeresboden wird von sehr weichen Sedimenten gebildet. Häufig waren "Mounds" zu beobachten, die auf endobenthische Aktivität schließen lassen. Nur auf Station 363 fand sich eine Bedeckung mit Bryozoen von etwa 20 %. Von den insgesamt 126 analysierten Taxa kamen 83 in dieser Stationsgruppe vor. Die Anzahl der Taxa auf den einzelnen Stationen lag zwischen 24 (Stat. 342) und 57 (Stat. 472). Die kleinsten Werte für die mittleren Abundanzen fanden sich auf Station 342 mit 1,6/100 m², die höchsten Werte wurden auf Station 472b mit 13,3/100 m² erreicht. Die höchste Abundanz von 181,0/100 m² wurde auf Station 472b für das in dieser Gruppe dominanteste Taxon, die elaspode Seegurke *Alcyonice violacuspadata*, ermittelt.

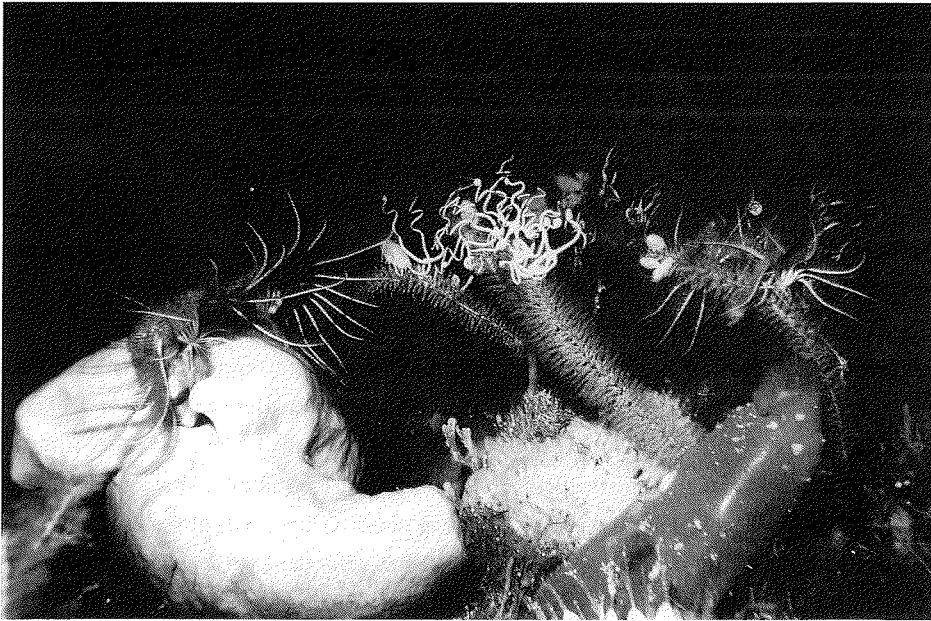


Foto 4 Stationsgruppe WSI-flach. Reiche Epifauna. Von links nach rechts: Glasschwamm mit Haarsternen, gelblicher Schwamm, Gorgonarien *Thouarella* spp., darauf Schlangensterne *Astrotoma agassizii*, Seegurken *Abyssocucumis* spec., Haarsterne. Vordergrund solitäre Ascidie.

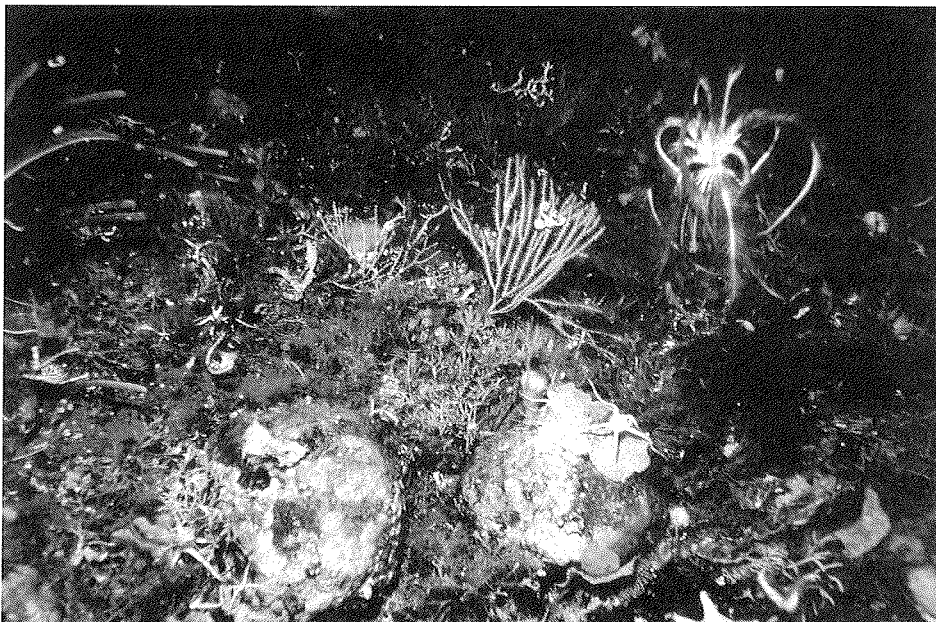


Foto 5 Stationsgruppe WSI-tief. Epifauna bestehend aus verschiedenen Bryozoen, Hydrozoen und Gorgonarien. Oben rechts: schwimmender Haarstern. Auf der Hornkoralle im Zentrum ein Schlangensterne aus der Familie Gorgonocephalidae.

Das Cluster **BASI** besteht aus 9 Stationen in Tiefen von 171 bis 476 m (Tab. 3.11). Der "Kern" dieser Stationsgruppe wird von sechs Stationen in der Marguerite Bay im nordöstlichen Bellingshausenmeer gebildet. Hinzu kommen zwei Stationen auf dem Schelf im zentralen Bellingshausenmeer und eine Station im Amundsenmeer (Abb. 2.4). Der Meeresboden besteht aus weichen Sedimenten, die insbesondere in der Marguerite Bay mit Steinen bis zu einer Größe von Findlingen durchsetzt sind. Auf den beiden Stationen im zentralen Bellingshausenmeer ist der Weichboden bis zu 50 % mit einem graugrünen Belag bedeckt. "Mounds" waren auf allen Stationen in dieser Gruppe zu beobachten. Die Bedeckung mit Bryozoen war gering. Insgesamt wurden 86 Taxa gefunden. Die Anzahl der Taxa auf den einzelnen Stationen lag zwischen 20 (Stat. 8) und 46 (Stat. 78I). Die mittleren Abundanzen variierten in einem Bereich von 1,3/100 m² (Stat. 58) bis 72,0/100 m² (Stat. 31). Die höchste Individuendichte von 1.444,8/100 m² wurde für die Bryozoenart *Melicerita obliqua* auf Station 31 ermittelt, die aufgrund dieser hohen Abundanz auch das dominanteste Taxon in dieser Gruppe ist, obwohl *M. obliqua* in dem Cluster BASI nur auf dieser einzelnen Station gefunden wurde. Die Zylinderrose *Ceriantharia* sp.5 (Foto 6), die den nächst höchsten Dominanzgrad (24,8 %) aufweist, war dagegen auf acht Stationen dieses Clusters vertreten.

Das Cluster **BASII** setzt sich aus zwei Stationen vor Alexander Island im Bellingshausenmeer und zwei Stationen im äußeren Schelfbereich des Amundsenmeers (Abb. 2.4) in Tiefen von 328 bis 561 m zusammen (Tab. 3.11). Die Unterwasservideos zeigen auf den Stationen 13, 59 und 60 weiches Sediment, wobei Steineinlagerungen selten waren (Foto 7). Dagegen findet sich auf Station 16 ein stark unsortiertes Sediment mit einem hohen Anteil an Steinen der unterschiedlichsten Größe. Zwischen den Steinen ist weiches, sandiges Sediment zu erkennen. Auf allen Stationen fanden sich deutliche Infaunaspuren ("Mounds"). Die Bedeckung mit Bryozoen ist gering. Nur auf Station 59 fand sich eine Bryozoenbedeckung von etwa 20 %. In der Stationsgruppe kamen 54 der 126 analysierten Taxa vor. Die Taxazahlen lagen zwischen neun (Stat. 59) und 33 (Stat. 60). Für die mittleren Abundanzen wurden Werte von 1,3/100 m² (Stat. 13) bis 2,7/100 m² ermittelt. Für das dominanteste Taxon in dieser Stationsgruppe, die elaspode Seegurke *Peniagone vignioni*, fanden sich auf Station 60 die höchsten Abundanzen von 13,1/100 m².



Foto 6 Stationsgruppe BASI. Epifauna bestehend aus Bryozoen und Gorgonarien, zwei dendrochirote Seegurken *Abyssocucumis* spec. auf einer Gorgonarien-Kolonie, zwei Zylinderrosen (Hintergrund und rechts).



Foto 7 Stationsgruppe BASII. Notothenioider Fisch *Trematomus larseni*, stäbchenförmige Bryozoen *Melicerita obliqua*, polynoider Borstenwurm *Laetmonice producta* (obere linke Ecke).

Tab. 3.11 Anzahl der Stationen, Tiefenbereich, Taxazahl, dominanteste Taxa und mittlere Abundanzen der Stationsgruppen im Weddell- und Bellingshausen-/Amundsenmeer. Medianwerte in Klammern.

Cluster	Stationen	Tiefe (m)	Taxazahl	dominanteste Taxa	mittlere Abundanzen (n/100 m ²)
WSI-flach	8	175-417 (311)	32-59 (56)	<i>Rossella antarctica</i>	5,5-147,5
				<i>Stylocordyla borealis</i> (R)	(12,0)
				Gorgonaria spp.	
WSI-tief	4	427-538 (479)	20-36 (26)	<i>Melicerita obliqua</i>	5,2-45,2
				Stylasteria spp.	(8,3)
				Dendrochirotida spp.	
WSII	4	412-555 (454)	24-57 (45)	<i>Alclyonice violaecuspidata</i>	1,6-13,3
				<i>Synoicum</i> spp.	(3,9)
				Psolidae spp.	
BASI	9	171-476 (202)	20-46 (30)	<i>Melicerita obliqua</i>	1,3-72,0
				<i>Ceriantharia</i> sp.5	(3,5)
				Gorgonaria spp.	
BASII	4	328-561 (415)	9-33 (23)	<i>Peniagone vignioni</i>	0,7-2,7
				Stylasteria spp.	(1,4)
				<i>Notocrangon antarcticus</i>	

In der **Gemeinschaftstabelle** (Tab. 3.9) sind die Stationen und Taxa in der den Ergebnissen der Clusteranalyse entsprechenden Reihenfolge spalten- bzw. zeilenweise aufgetragen. Ergänzend zur Gemeinschaftstabelle wurden in Abb. 3.9 die Präsenzen innerhalb der Clusterkombinationen dargestellt. Auf die Darstellung von Taxa-Clustern mit weniger als sechs Taxa wurde verzichtet.

Die Taxa des Taxaclusters I fanden sich mit den höchsten Präsenzen (45,6 %) und Abundanzen (6.044,5/100 m²) in der Stationsgruppe WSI-flach, während sie im Cluster WSI-tief bei einer Abundanz von 27,7/100 m² nur eine Präsenz von 13,2 % zeigten. Die Taxagruppe II ist das umfangreichste Cluster, dessen Taxa auf allen Stationsgruppen vorkamen. Für die Abundanzen und insbesondere die Präsenzen fanden sich aber mit Abstand die höchsten Werte im Stationscluster WSI-flach (4.489,9/100 m² und 82,2 %). Die Taxa der Cluster I und II können somit als typische Vertreter der Stationsgruppe

WSI-flach angesehen werden und führen so zur Trennung des Clusters WSI in die zwei Stationscluster zweiter Ordnung WSI-flach und WSI-tief. Die Taxa des Clusters V zeigten die höchsten Präsenzen im Stationscluster BASI (63,4 %) und WSII (60,0 %), wobei die Abundanzen im Cluster BASI mit 867,7/100 m² deutlich höher waren als im Cluster WSII mit 79,9/100 m². Die Taxa des Clusters VI sind wiederum in der Stationsgruppe WSI-flach vertreten. Auffällig sind die hohen Abundanzen von 8.576,3/100 m², die aber auf die hohen Individuendichten des Glasschwamms *Rossella antarctica* auf Station 471 und 333 zurückzuführen sind. Mittlere Präsenzen und Abundanzen im gesamten Untersuchungsgebiet fanden sich für das Taxocluster VIII. Ein ähnliches Muster bezüglich der Präsenzen und Abundanzen zeigen die Taxagruppen IX und X. In ihnen fanden sich Taxa, für die in der Stationsgruppe WSII die höchsten Präsenzen von 58,3 % (Taxocluster IX) und 68,8 % (Taxocluster X) ermittelt wurden.

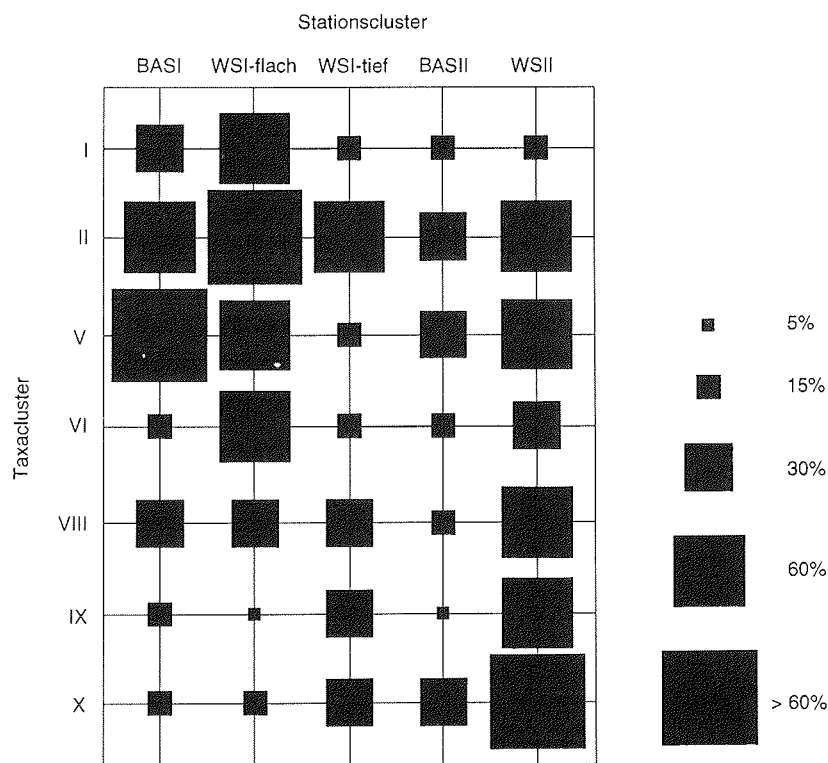


Abb. 3.9 Zusammenfassende Darstellung der Präsenzen innerhalb der Clusterkombinationen.

V	<i>Synascidicea</i> sp. 16	0.1	2.0	4.1	1.0	0.3	0.1	0.3	1.6	3.3	0.3	0.3	22.3	0.3	0.8	0.1	0.8	48.3
	<i>Rhodalia miranda</i>	0.1	0.6	1.1	0.3	1.3	0.3	1.3	3.3	0.3	0.3	1.4	42.5	0.3	0.8	0.1	0.8	48.3
	<i>Actinaria</i> sp. 12	0.2	0.1	0.2	0.3	2.3	0.4	0.9	4.6	0.7	0.2	0.3	0.3	0.2	0.8	2.6	1.1	34.8
	<i>Lyrotis flavipalpis</i>	1.1	0.2	0.5	1.8	1.8	0.5	0.9	0.3	0.3	1.0	1.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	31.0
	<i>Lucifora producta</i>	1.9	1.2	0.2	1.2	0.4	0.5	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	9.6	0.2	0.2	1.7	0.3	44.8
	<i>Pyra serosa</i>	17.2	5.8	64.5	57.8	12.6	4.6	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	9.6	2.3	0.5	6.1	8.0	41.4
	<i>Cerithium</i> sp. 5	101.0	66.6	0.1	0.5	8.1	1.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	2.3	0.5	1.7	0.8	1.6
	<i>Actinia</i> sp. 6	0.2	0.7	0.1	0.5	0.1	1.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	1.7	0.8	27.6
	<i>Ascidacea</i> sp. 10	0.2	2.3	2.3	2.1	1.2	10.7	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	20.7
	<i>Octopoda</i> spp.	0.8	1.0	1.1	2.1	1.2	10.7	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	27.6
	<i>Bathypolys tenuicolum</i>	1.7	0.8	2.7	3.1	3.3	0.4	2.8	4.2	5.4	4.1	1.1	0.3	0.5	0.2	2.6	3.9	79.3
	<i>Ctenocidaris</i> spp.	0.8	0.3	0.5	1.0	0.4	0.3	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.9	1.5	0.4	0.4	41.4
	<i>Nemertea</i> spp.	0.1	1.8	25.3	2.6	2.7	5.0	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	2.0	6.9	3.5	6.3	7.5
	<i>Notogammar antarcticus</i>	2.2	0.8	6.6	0.5	0.5	0.7	0.8	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.5	1.7	1.1	51.7
	<i>Heipolvaia charcoti</i>	2.2	0.8	6.6	0.5	0.5	0.7	0.8	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.5	1.7	1.1	51.7
	<i>Isocypris alba</i>	2.2	0.8	6.6	0.5	0.5	0.7	0.8	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.5	1.7	1.1	51.7
	<i>Ascidacea</i> sp. 14	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.1	0.2	0.2	0.2	0.2	24.1
	<i>Glyptonurus antarcticus</i>	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	6.9
	<i>Aphesia antarctica</i>	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	37.9
	<i>Aphesia antarctica</i>	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	20.7
	<i>Geoplinea</i> sp. 6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	10.3
	<i>Geoplinea</i> sp. 6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	10.3
	<i>Geoplinea</i> sp. 6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	10.3
	<i>Geoplinea</i> sp. 6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	10.3
	<i>Geoplinea</i> sp. 6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	10.3
	<i>Geoplinea</i> sp. 6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	10.3
	<i>Geoplinea</i> sp. 6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	10.3
	<i>Geoplinea</i> sp. 6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	10.3
	<i>Chondria westholensis</i>	0.5	0.1	1.0	0.3	0.4	6.0	0.5	0.3	0.3	0.2	1.1	0.2	2.2	3.8	0.7	8.3	1.7
	<i>Labidaster anulatus</i>	0.5	0.1	1.0	0.3	0.4	6.0	0.5	0.3	0.3	0.2	1.1	0.2	2.2	3.8	0.7	8.3	1.7
	<i>Bathypolys rubiginatus</i>	0.5	0.1	1.0	0.3	0.4	6.0	0.5	0.3	0.3	0.2	1.1	0.2	2.2	3.8	0.7	8.3	1.7
	<i>Plexacanthinella</i> spp.	0.5	0.1	1.0	0.3	0.4	6.0	0.5	0.3	0.3	0.2	1.1	0.2	2.2	3.8	0.7	8.3	1.7
	<i>Pennagone vignieri</i>	0.4	0.2	0.5	0.5	8.8	5.7	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Actinaria</i> sp. 13	0.4	0.2	0.5	0.5	2.3	0.6	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Alyonara</i> sp. 3	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Actinaria</i> sp. 3	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Gas</i>	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Pseudoscheroles villosus</i>	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Geoplinea</i> sp. 3	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Pentothaura ergata</i>	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Alyonara</i> sp. 1	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Kirkpatrickia variolosa</i>	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Serolidia</i> spp.	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Geoplinea</i> sp. 4	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Alyonara</i> sp. 1	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Solenaria</i> sp. 1	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Chondria</i> sp. 1	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Marseniopsis mollis</i>	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Selenaria</i> sp. 2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Brachyopoda</i> spp.	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Pseudoscheroles mollis</i>	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Dendrochiroda</i> sp. 1	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Umbellula</i> spp.	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Tetania varroa</i> sp. 1	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Cylindroidea</i> spp.	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Alora magnifica</i>	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Ceintaria</i> sp. 2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Etemozia</i> spp.	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Diplosentis brucei</i>	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Polyseta</i> spp.	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Polyseta</i> spp.	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Polyseta</i> spp.	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Hydrozoa</i> sp. 4	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Choresmus antarcticus</i>	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Thalopus</i> spp.	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Haliclona</i> sp. 2	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.8
	<i>Echiuroidea</i> sp. 1	0.4	0.1	0.2	0.4	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	13.1	0.5	0.5	1.0	0.

Tab. 3.10 Abundanzen der Taxa, die nicht in der Gemeinschaftsanalyse berücksichtigt wurden. A-h Ordnung der Stationen aus der Clusteranalyse. Abundanzen in n/100 m²; keine Werte = 0,0.

Stationscluster	BAS I								WS I-flach								WS I-tief					BAS II					WS II					Präsenz (%)
	79	79II	78I	77	15	8	58	22	31	512	387	308	471	438	424	418	333	332	314	307	305	60	16	13	59	472b	472	352	342			
<i>Pandora</i> spp.	0,7	1,9	1,1	3,1	0,8	0,8	0,6	1,0	110,5	100,5	32,6	15,6	95,2	48,3	785,1	240,6	1,5	11,3	25,3	5,2	0,9	0,3	0,2	1,6	20,8	10,5	8,9	93,1				
<i>Pocillopora</i> spp.	0,6	3,9	2,0	0,5	3,3	0,4	0,3	0,5	63,0	44,2	15,3	44,9	175,7	20,4	25,5	796,4	1,3	1,4	12,2	3,5	0,5	0,5	1,0	4,3	1,1	11,1	82,8					
<i>Densipinnaria</i> spp.	6,5	8,1	8,5	8,8	12,3	3,0	3,0	8,8	0,9	0,3	1,5	13,4	2,8	2,0	22,5	2,1	8,1	9,2	9,7	3,2	1,7	1,0	0,1	62,4	26,5	86,2	3,4					
<i>Cladophora</i> spp.																												3,4				
<i>Solenastrea</i> spp.																												3,4				
<i>Hydrozoa</i> spp.																												3,4				
<i>Heliopora</i> spp.																												3,4				
<i>Heliopora</i> sp. 3																												3,4				
<i>Heliopora</i> sp. 8																												3,4				
<i>Artibeon</i> spp.																												3,4				
<i>Artibeon</i> sp. 3																												3,4				
<i>Corallithera</i> spp.																												100,0				
<i>Corallithera</i> sp. 4																												3,4				
<i>Alcyonaria</i> spp.																												3,4				
<i>Alcyonaria</i> sp. 1																												3,4				
<i>Thyreoxenia</i> spp.	57,4	6,7	7,6	10,9	130,1	1,5	8,7	0,7	29,9	19,0	1,3	1,7	70,0	23,6	19,4	7,4	2,2										3,4					
<i>Thyreoxenia</i> sp. 1	178,9	155,1	52,6	32,1	180,6	30,0	163,6	88,4	0,5	45,1	195,6	34,3	183,3	30,8	69,3	187,0	13,4										96,6					
<i>Cyathocoma</i> spp.																												3,4				
<i>Myrtillocypris</i> spp.																												3,4				
<i>Myrtillocypris</i> sp. 1																												3,4				
<i>Nuthria</i> spp.																												3,4				
<i>Nuthria</i> sp. 1																												3,4				
<i>Psychrolutes</i> spp.																												3,4				
<i>Psychrolutes</i> sp. 1																												3,4				
<i>Hamothoe</i> spp.																												3,4				
<i>Hamothoe</i> sp. 1																												3,4				
<i>Sabellidae</i> sp. 1																												3,4				
<i>Serpulidae</i> spp.																												3,4				
<i>Serpulidae</i> sp. 1																												3,4				
<i>Pyrosomidae</i> spp.																												3,4				
<i>Pyrosomidae</i> sp. 1																												3,4				
<i>Syllis</i> spp.																												3,4				
<i>Syllis</i> sp. 1																												3,4				
<i>Pterasterias</i> spp.																												3,4				
<i>Pterasterias</i> sp. 1																												3,4				
<i>Entonerostris</i> spp.																												3,4				
<i>Entonerostris</i> sp. 1																												3,4				
<i>Oniroidea</i> spp.	104,7	15,8	13,6	0,5	100,7	9,0	13,2	7,5	51,9	76,7	77,7	59,4	51,8	104,0	329,8	197,6	3,3	206,3	286,9	15,6	115,0	50,6	109,2	7,6	207,8	31,2	26,1	16,1	3,1	100,0		
<i>Oniroidea</i> sp. 1	14,3	15,1	6,6	4,7	21,6	9,5	2,1	0,5	7,0	10,4	6,1	7,7	32,2	15,7	20,0	59,5	16,9	10,6	11,6	5,4	12,1	2,7	2,9	1,2	1,9	8,7	7,0	6,9	2,3	100,0		
<i>Asteroides</i> spp.																												3,4				
<i>Asteroides</i> sp. 15																												3,4				
<i>Asteroides</i> sp. 21																												3,4				
<i>Gorgonocephalus</i> spp.																												3,4				
<i>Gorgonocephalus</i> sp. 1																												3,4				
<i>Stereoceras</i> spp.	49,4	9,0	4,2	33,2	891,3	1,5	5,1	0,6	44,9	2,4	0,6	0,5	0,3	4,2	0,7	10,6	0,9	0,9	0,7	2,0	1,7	1,1	0,9	0,2	3,9	68,4	24,3	0,3	96,1	100,0		
<i>Stereoceras</i> sp. 1																													3,4			
<i>Irregularia</i> spp.																													82,8			
<i>Irregularia</i> sp. 1	47,8	26,9	2,7	0,5	10,2	1,9	8,1		0,5	2,5	94,9	8,0	32,6		0,2		0,7	2,8	16,4	1,0	3,5	0,7	6,9	0,2	4,3	0,4	9,2	0,8	82,8			
<i>Abyssocirrus</i> spp.																												3,4				
<i>Abyssocirrus</i> sp. 1																												3,4				
<i>Scotoplanes</i> spp.																												3,4				
<i>Scotoplanes</i> sp. 1																												3,4				
<i>Pyura</i> spp.	0,7	1,2	0,6	10,9	3,0	1,1	0,9	0,5	0,5	0,6	1,4	8,1	1,3	1,4	1,1		6,3	3,4		0,9	1,4	26,1	0,5	0,3	45,0	26,6	25,3	82,8	82,8			
<i>Pyura</i> sp. 1	23,6	16,5	8,3	13,0	44,0	22,4	1,0	0,9	1,0	0,1	6,8	0,6	5,5	2,0	6,5	2,1	0,9	0,3		0,5	6,9	7,0	59,7	9,5	2,3	0,9	3,8	10,6	2,3	96,6		
<i>Synascodonta</i> spp.	6,1	0,1	1,5		1,5		1,4	1,3	0,5	5,7	19,4	10,9	8,8	15,3	12,6	209,3	59,0					0,7	0,5		1,2	1,8	11,7		79,3	79,3		
<i>Synascodonta</i> sp. 12																												3,4		3,4		

Charakteristische Taxa

Die charakteristischen Taxa für die einzelnen Stationscluster (definiert als Diskriminatoren, Kap. 3.2.3), die aus den einzelnen Paarungen der Stationsgruppen berechnet wurden, sind in Tab. 3.12a zusammengefaßt. In Tab. 3.12b sind die charakteristischen Taxa im Vergleich der beiden Cluster WSI-flach und WSI-tief aufgeführt. Gute Charakterarten weisen bei einer geringen Standardabweichung eine hohe mittlere Dissimilarität δ_i auf, ausgedrückt durch einen hohen Wert für δ_i und das Verhältnis von $\delta_i/SD(\delta_i)$.

Im Vergleich der Stationsgruppenpaarungen sind die Zylinderrose *Ceriantharia* sp.5, die solitäre Ascidie *Cnemidocarpa verrucosa*, die Bryozoe *Camptoplites tricornis* und die benthische Staatsqualle *Rhodalia miranda* charakteristische Taxa der Stationsgruppe BASI.

Typische Vertreter der Stationsgruppe WSI sind die Synascidien der Gattung *Synoicium* spp., die Seesterne *Henricia* spp. und der Schwamm *Isodictya* sp.2. Die terrebelliden Polychaeten *Pista* spp. kamen auf 80 % der Stationen im Weddellmeer vor, während sie im Bellingshausen- und Amundsenmeer nur mit einer Präsenz von 23 % gefunden wurden. Dies macht sie sowohl zu charakteristischen Taxa des Clusters WSI im Vergleich zu BASII, als auch zu Charakterarten des Clusters WSII im Vergleich zu BASI. Der Glasschwamm *Rossella nuda* ist im Vergleich mit beiden Clustern des Bellingshausen- und Amundsenmeers charakteristisch für die Stationsgruppe WSI. Im Vergleich der Stationscluster BASI und WSI trägt die Bryozoe *Melicerita obliqua* am meisten zur Trennung der beiden Cluster bei ($\delta_i = 3,53$), obwohl sich die mittleren Abundanzen von *M. obliqua* in beiden Stationsgruppen kaum unterscheiden. Während *M. obliqua* auf den Stationen des Clusters WSI regelmäßig auftrat, wurde sie im Cluster BASI nur auf der Station 31 gefunden. Auf dieser Station 31 wurden für *M. obliqua* die mit Abstand höchsten Besiedlungsdichten im gesamten Untersuchungsgebiet von 1.444,8/100 m² ermittelt, was über alle Stationen des Clusters gemittelt zu einer dem Cluster WSI vergleichbaren mittleren Abundanz führt. Die Tatsache, daß *M. obliqua* im Cluster BASI mit solch hohen Abundanzen vorkam, obwohl sie den Berechnungen nach im Vergleich der beiden Stationsgruppen als typischer Vertreter des Clusters WSI gelten kann, macht ihre Einstufung als Charakterart problematisch.

Im Vergleich mit den übrigen Stationsgruppen ist die Seegurke *Bathyploetes rubipunctatus* charakteristisch für das Cluster BASII. Ein Vergleich der mittleren Abundanzen für *B. rubipunctatus* in den Clustern WSI und BASII zeigt, daß die Einstufung von

B. rubipunctatus als Charakterart des Clusters BASII ähnlich problematisch ist wie für *Melicerita obliqua* im Cluster WSI.

Tab. 3.12a Mittlere Abundanzen der charakteristischen Taxa im paarweisen Vergleich der Stationsgruppen. Die Reihenfolge der Taxa entspricht ihrem Beitrag (δ_i) zur mittleren Dissimilarität (δ) zwischen den entsprechenden Stationsgruppenpaarungen. Mittlere Dissimilarität des Taxons i (δ_i), Standardabweichung von δ_i ($SD(\delta_i)$), Verhältnis des Wertes der mittleren Dissimilarität δ_i des Taxons i zu seiner Standardabweichung ($\delta_i/SD(\delta_i)$).

	Taxa	mittlere Abundanz (n/100m ²)				δ_i	δ_i/SD
		BASI	WSI	BASII	WSII		
Vergleich BASI - WSI $\delta = 73,76$	<i>Melicerita obliqua</i>	160,5	174,5			3,53	1,82
	<i>Ceriantharia</i> sp.5	75,1	0,0			2,57	1,81
	<i>Synoicium</i> spp.	0,2	60,2			1,66	1,76
	<i>Rossella nuda</i>	0,5	16,1			1,18	2,05
	<i>Henricia</i> spp.	0,0	2,4			1,04	1,87
Vergleich BASI - BASII $\delta = 72,66$	<i>Cnemidocarpa verrucosa</i>	5,1		0,0		2,19	2,03
	<i>Camptoplites tricornis</i>	8,1		0,2		2,16	2,00
	<i>Rhodalia miranda</i>	1,4		0,0		1,60	2,08
	<i>Bathyploetes rubipunctatus</i>	0,0		0,4		1,43	5,59
	<i>Ctenocidaris</i> spp.	2,1		1,1		1,07	1,81
Vergleich WSI - BASII $\delta = 78,64$	<i>Rossella nuda</i>		16,1	0,2		1,71	1,75
	<i>Pista</i> spp.		15,5	0,3		1,51	1,72
	<i>Isodictya toxophila</i>		1,6	0,0		1,36	2,20
	<i>Isodictya</i> sp.2		1,2	0,0		1,03	1,83
	<i>Bathyploetes rubipunctatus</i>		0,5	0,4		0,92	2,20
Vergleich BASI - WSII $\delta = 70,29$	Psolidae spp.	0,0			26,1	2,17	2,70
	<i>Pterobranchia</i> sp.3	0,0			7,2	1,74	3,33
	<i>Pista</i> spp.	0,7			7,0	1,64	2,50
	<i>Pseudostichopus mollis</i>	0,0			1,3	1,26	3,16
	<i>Stylasteria</i> spp.	0,0			1,4	1,18	3,38
Vergleich WSI - WSII $\delta = 66,78$	<i>Notocrangon antarcticus</i>		0,0		5,1	1,41	3,83
	<i>Pseudostichopus mollis</i>		0,6		1,3	0,90	2,27
	<i>Henricia</i> spp.		2,4		0,1	0,83	1,64
	Pycnogonidae spp.		1,1		6,0	0,70	1,63
	<i>Isodictya</i> sp.2		1,2		0,1	0,68	1,56
Vergleich BASII - WSII $\delta = 75,89$	Psolidae spp.			0,0	26,1	2,58	2,71
	<i>Pterobranchia</i> sp.3			0,0	7,2	2,08	3,13
	<i>Polymastia invaginata</i>			0,0	1,2	1,53	2,81
	<i>Bathyploetes rubipunctatus</i>			0,4	0,0	1,15	3,76
	Pycnogonidae spp.			0,5	6,0	1,11	3,97

Die Seegurken der Familie Psolidae spp. und die Hemichordaten Pterobranchia sp.3 sind charakteristische Taxa der Stationsgruppe WSII. Beide Taxa fehlen auf den Stationen des Bellingshausen- und Amundsenmeers. Im Vergleich der beiden Weddellmeercluster sind die Garnele *Notocrangon antarcticus*, die Seegurke *Pseudostichopus mollis* und die Asselspinnen typische Arten des Clusters WSII.

Beim Vergleich der beiden Stationscluster zweiter Ordnung WSI-flach und WSI-tief ist auffällig, daß fünf der sechs Taxa, die am meisten zur Trennung der beiden Stationsgruppen beitragen, mit höheren mittleren Abundanzen im Cluster WSI-flach vorkamen. Bei diesen fünf für das Cluster WSI-flach charakteristischen Taxa handelt es sich um die Schwämme *Rossella nuda* und *Cinachyra antarctica*, die Lanzenseegel *Notocidaris* spp., Pterobranchia sp. 2 (Hemichordata) und die Seescheide *Cnemidocarpa verrucosa*. Im Gegensatz zu diesen Taxa wurde die vorwiegend in der Tiefsee vorkommende Seefeder *Umbellula* spp. im Cluster WSI-tief mit höheren mittleren Abundanzen gefunden.

Tab. 3.12b Charakteristische Taxa im Vergleich der Stationsgruppen zweiter Ordnung WSI-flach und WSI-tief.

	Taxa	mittlere Abundanz (n/100m ²)		δ_i	δ_i/SD
		WSI-flach	WSI-tief		
Vergleich WSI-flach - WSI-tief $\delta = 65,11$	<i>Rossella nuda</i>	23,6	1,2	1,42	2,36
	<i>Cinachyra antarctica</i>	4,9	0,1	1,14	1,99
	<i>Notocidaris</i> spp.	4,4	0,2	0,89	1,79
	Pterobranchia sp.2	3,3	0,1	0,83	1,78
	<i>Umbellula</i> spp.	0,5	2,4	0,80	1,67
	<i>Cnemidocarpa verrucosa</i>	2,1	0,0	0,81	2,24

Diversitäten und Äquität

Die Berechnungen zur Diversität und Äquität der Stationen auf dem antarktischen Schelf wurden anhand eines Datensatzes mit 139 Taxa durchgeführt (Kap. 3.2.1). Die Ergebnisse sind in Tab. 3.13 zusammengefaßt.

Von diesen Taxa kamen auf den Stationen des Clusters BASI insgesamt 87 Taxa vor. Auf den einzelnen Stationen variierte die Taxazahl von 23 bis zu maximal 46 Taxa bei einem Median von 35. Der Median der Gesamtabundanz lag bei 248,0/100 m², wobei die Gesamtabundanzen in einem weiten Bereich von 115,0/100 m² (Stat. 8) bis zu 1.820,0/100 m² (Stat. 15) variierten. Die Mediane der Diversitätsindices nach HURLBERT (1971) und SHANNON und WEAVER (1949) lagen bei 14,70 bzw. 1,95. Für die Äquitätswerte errechnete sich ein Median von 0,53. Die geringen Diversitäts- und Äquitätswerte der Station 31 bei einer im Vergleich zu den anderen Stationen hohen Gesamtabundanz sind auf das massenhafte Vorkommen der Bryozoe *Melicerita obliqua* zurückzuführen.

In der Stationsgruppe WSI-flach kamen insgesamt 112 Taxa vor. Die Taxazahl pro Station lag bei einem Median von 61 zwischen 34 und 63. Die Gesamtabundanzen innerhalb dieser Stationsgruppe schwankten zwischen 648,0 auf Station 512 und 8.880,0 Individuen pro 100 m² auf Station 471. Der Median lag bei 928,0/100 m². Der Median der Diversität $E(S_{100})$ nach HURLBERT (1971) lag bei 17,54. Für die Shannon-Wiener-Indices errechnete sich ein Median von 2,33, bei einem Median für die Äquität von 0,57. Die auf Station 333 dominanten Schwämme *Cinachyra barbata* und *Rossella antarctica* führten zu den im Vergleich mit den anderen Stationen niedrigen Diversitätsindices. Dies gilt ebenfalls für die Station 471. Da hier im Vergleich zu Station 333 nur eine Art, der Schwamm *Rossella antarctica*, die Station dominiert, liegen die Diversitäts- und insbesondere die Äquitätswerte noch niedriger.

Auf den Stationen der Stationsgruppe WSI-tief kamen insgesamt 62 Taxa vor, von denen pro Station 24 (Stat. 305 und 307) bis maximal 43 (Stat. 332) gefunden wurden. Der Median der Taxazahl lag bei 30. Für die Gesamtabundanz wurden bei einem Median von 560/100 m² Werte von 170,0 bis 1.070,0/100 m² ermittelt. Die Mediane der Diversitätsindices und der Äquität lagen unter den Medianwerten des Clusters WSI-flach.

Tab. 3.13 Strukturelle Merkmale. Taxazahl, Gesamtartabundanz ($n/100 \text{ m}^2$), Diversität $E(S_n)$ nach HURLBERT (1971), Diversität nach SHANNON & WEAVER (1949) und Äquität nach PIELOU (1969).

Cluster	Station	Taxazahl	Gesamtartabundanz ($n/100 \text{ m}^2$)	$E(S_{100})$	Diversität	Äquität
BASI	8	23	115,0	16,60	2,22	0,71
	15	35	1820,0	10,95	1,71	0,48
	22	36	158,0	14,39	1,61	0,45
	31	26	1630,0	7,03	0,62	0,19
	58	34	248,0	14,70	1,57	0,45
	77	31	174,0	19,12	2,43	0,71
	78I	48	246,0	19,27	2,47	0,64
	78II	39	339,0	15,00	1,95	0,53
	79	46	643,0	13,89	2,22	0,58
Median		35	248,0	14,70	1,95	0,53
WSI-flach	308	60	754,0	20,76	2,53	0,62
	333	34	1730,0	7,89	1,41	0,40
	387	62	1100,0	18,08	2,38	0,58
	418	60	6350,0	17,41	1,74	0,42
	424	60	755,0	21,68	2,37	0,58
	438	61	694,0	17,60	2,28	0,55
	471	62	8880,0	7,64	0,59	0,14
	512	63	648,0	17,47	2,47	0,60
	Median		61	928,0	17,54	2,33
WSI-tief	305	24	1070,0	8,89	0,97	0,30
	307	24	170,0	12,80	1,53	0,48
	314	36	660,0	10,89	1,73	0,48
	332	43	460,0	16,82	1,98	0,53
Median		30	560,0	11,85	1,63	0,48
BASII	13	21	155,0	10,37	1,47	0,48
	16	32	252,0	10,63	1,73	0,50
	59	15	239,0	6,67	0,64	0,24
	60	40	145,0	19,19	2,38	0,65
Median		21	197,0	10,50	1,60	0,49
WSII	342	30	145,0	22,37	2,30	0,68
	362	57	325,0	25,07	2,96	0,73
	472	59	348,0	23,60	2,98	0,73
	472b	45	695,0	19,66	2,57	0,68
Median		51	337,0	23,60	2,77	0,70

Die geringste Gesamttaxazahl von 54 fand sich im Cluster BASII. Der Median der Taxazahl pro Station lag bei 21. Ebenfalls geringe Werte wurden für die Gesamtabundanzen ermittelt. Der Median lag hier bei 197,0/100 m². Für die beiden Diversitätsindices wurden innerhalb dieses Clusters sehr unterschiedliche Werte ermittelt. Die Dominanz der Crinoiden auf Station 59 führt bei einer nur geringen Taxazahl von 15 zu niedrigen Diversitäts- und Äquitätswerten, während sich die Gesamtabundanz auf Station 60 gleichmäßig auf die 40 Taxa verteilt.

Bei einem Median von 51 Taxa pro Station kamen im Cluster WSII insgesamt 84 Taxa vor. Der Median der Gesamtabundanz lag bei 337,0/100 m². Die Gesamtabundanzen verteilten sich gleichmäßig über die Taxa, ausgedrückt durch hohe Werte für die Äquität (Median: 0,70). Dies führt zu hohen Diversitätswerten für die vier Stationen dieses Clusters.

Der Kruskal-Wallis *H*-Test auf signifikante Unterschiede zwischen den Stationsgruppen hinsichtlich ihrer strukturellen Merkmale ergab, daß sich mindestens eine Stationsgruppe bezüglich der Taxazahl, der Gesamtabundanz ($n/100 \text{ m}^2$), der Diversität $E(S_n)$ nach HURLBERT (1971), der Diversität nach SHANNON und WEAVER (1949) und der Äquität nach PIELOU (1969) auf dem 5%-Niveau ($\alpha = 0,05$) signifikant von den anderen unterscheidet (Tab. 3.14). Eine statistisch abgesicherte Rangfolge der Stationsgruppen bezüglich der einzelnen strukturellen Parameter war aufgrund der ungleichen Stichprobenumfänge nicht möglich. Tendenziell läßt sich aber mittels der Mittelwerte der Ränge abschätzen, in welcher Stationsgruppe die jeweils höheren Werte vorkommen. Im Stationscluster WSII fanden sich die höchsten Werte für $E(S_{100})$, Diversität und Äquität, während in der Stationsgruppe WSI-flach die höchsten Taxazahlen vorkamen.

Tab. 3.14 Kruskal-Wallis *H*-Test für Taxazahl, Gesamtabundanz ($n/100 \text{ m}^2$), Diversität $E(S_n)$ nach HURLBERT (1971), Diversität nach SHANNON & WEAVER (1949) und Äquität nach PIELOU (1969). p = Fehlerwahrscheinlichkeit.

	Taxazahl $p = 0,004$	Gesamtabundanz $p = 0,012$	$E(S_{100})$ $p = 0,017$	Diversität $p = 0,048$	Äquität $p = 0,049$
Mittel der Ränge					
BASI	11,9	12,6	13,3	13,7	14,9
WSI-flach	24,1	23,6	16,5	16,1	13,1
WSI-tief	9,9	15,5	9,8	9,4	9,8
BASII	7,0	6,4	9,0	10,5	12,8
WSII	17,0	12,1	27,0	25,8	26,5

k-Dominanzkurven

Die k-Dominanzkurven liefern einen komplexen Überblick über die Verteilung der Individuen auf die Taxa innerhalb der einzelnen Stationsgruppen (Abb. 3.10).

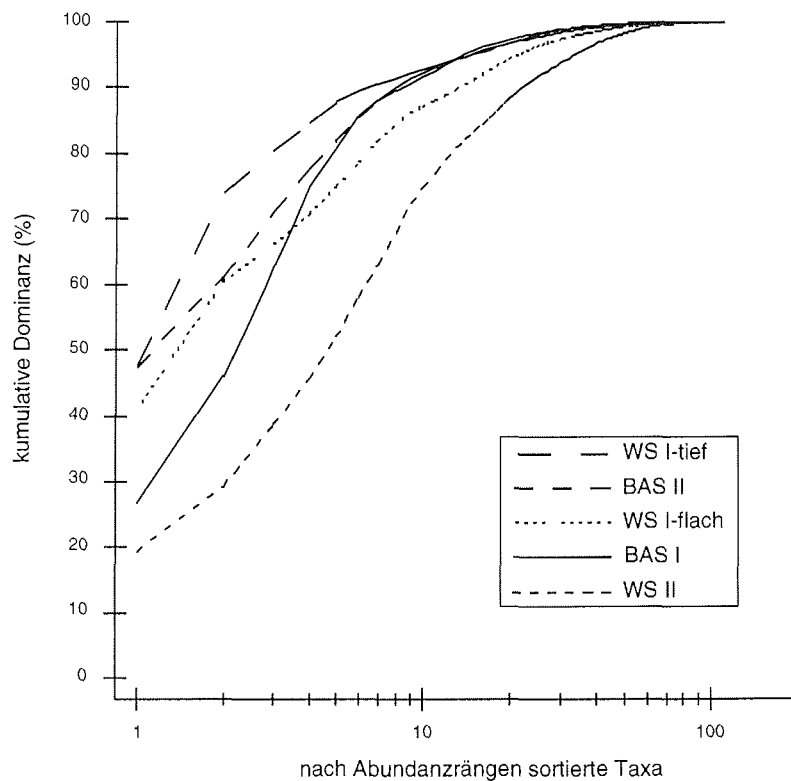


Abb. 3.10 k-Dominanzkurven der Stationsgruppen WSI-flach, WSI-tief, WSII, BASI und BASII.

Den geringsten Dominanzgrad zeigt die Kurve der Stationsgruppe WSII, da sie in ihrer Gesamtheit unter den Kurven für die anderen Stationsgruppen liegt, damit ist das Cluster WSII die diverseste Stationsgruppe. Mehr als 20 Taxa stellten im diesem Cluster 90 % der Gesamtabundanz, von der etwa 20 % auf das dominanteste Taxon entfielen. Die Kurven der übrigen Cluster sind hinsichtlich ihrer Dominanzmuster nicht miteinander vergleichbar, da sich die Kurven kreuzen (LAMBSHEAD et al. 1983). Die Kurven der beiden Cluster WSI-tief und BASII beginnen mit dem höchsten Anteil von etwa 48 % an der Gesamtabundanz für das jeweils dominanteste Taxon. Im Cluster WSI-tief stellten nur

sieben Taxa 90 % der Gesamtabundanz, während es im Cluster BASII neun Taxa waren. In der Stationsgruppe WSI-flach entfielen 40 % der Gesamtabundanz auf das Taxon mit dem höchsten Abundanzwert. Im weiteren Verlauf flacht die Kurve aber ab, so daß 15 Taxa 90 % der Gesamtabundanz ausmachten. Die Kurve für das Cluster BASI verläuft steiler. 90 % der Gesamtindividuen entfielen schon auf die acht dominantesten Taxa, wobei der Anteil des dominantesten Taxons aber nur etwa 28 % ausmachte.

Erklärung der biologischen Verteilungsmuster durch abiotische Parameter

Die Umweltparameter geographische Länge und Breite, Tiefe und Abstand zur Schelfkante bzw. Schelfeiskante sind für die einzelnen Stationen in Tab. A.2 und A.3 aufgeführt. Die Analyse wurde mit allen fünf Parametern durchgeführt, da keine Paarung der abiotischen Parameter deutlich miteinander korreliert war (Tab. 3.15). Da im "Draftsman plot" (Abb. 3.11) die Variablen Abstand zur Schelfkante und Schelfeiskante eine deutlich gehäufte Verteilung niedriger Werte zeigten, wurden diese Parameter logarithmisch ($\ln = \log_e$) transformiert (Kap. 3.2.4).

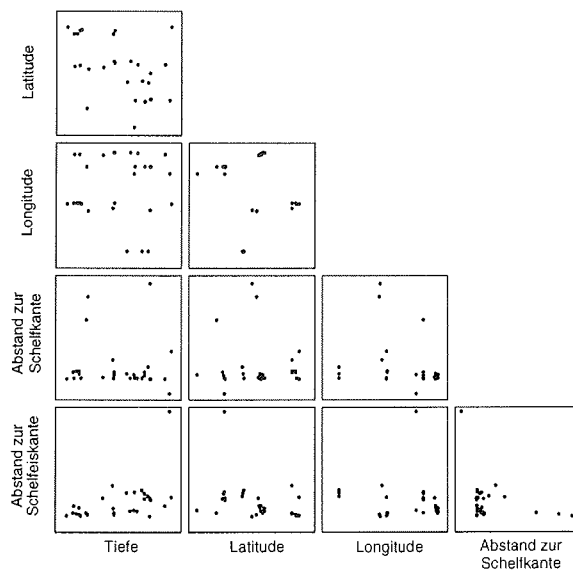


Abb. 3.11 "Draftsman-Plot" der fünf Parameter (nicht transformiert). Die Werte und Dimensionen der Variablen sind Tab. A.2 und A.3 zu entnehmen. Die Korrelationskoeffizienten sind in Tab. 3.15 zusammengefaßt.

Tab. 3.15 Korrelationstabelle der Umweltparameter. LAT: geographische Breite, LON: geographische Länge, SK: Abstand zur hangparallelen 500 m-Tiefenlinie (Schelfkante), EK: Abstand zur Schelfeiskante.

	Tiefe	LAT	LON	SK	EK
Tiefe	1,00				
LAT	-0,48	1,00			
LON	0,03	-0,26	1,00		
SK	-0,08	-0,01	-0,25	1,00	
EK	0,49	-0,35	-0,02	-0,31	1,00

Bei der Korrelationsanalyse (BIO-ENV-Analyse, Tab. 3.16) zwischen der biologischen und der abiotischen Similaritätsmatrix wurde deutlich, daß sich die biologischen Verteilungsformen weder durch eine einzelne, noch durch irgendeine der möglichen Kombination der untersuchten Variablen erklären lassen. Alle Korrelationskoeffizienten (ρ_s) zeigten nur eine schwache Korrelation der beiden Datensätze.

Tab. 3.16 Kombination der Umweltvariablen mit den höchsten Rangkorrelationen zwischen der biotischen und abiotischen Matrix (BIO-ENV-Analyse). k: Anzahl der berücksichtigten Variablen. LAT: geographische Breite, LON: geographische Länge, SK: Abstand zur hangparallelen 500 m-Tiefenlinie (Schelfkante), EK: Abstand zur Schelfeiskante.

k	Beste Kombinationen der Variablen (ρ_s : Spearman-Rang-Korrelationkoeffizient)				
1	LON (0,20)	LAT (0,08)	SK (0,02)	Tiefe (-0,02)	EK (-0,08)
2	LAT, LON (0,20)	LON, SK (0,14)	LAT, SK (0,13)	Tiefe, LON (0,13)	...
3	LAT, LON, SK (0,22)	Tiefe, LAT, LON (0,17)	LAT, LON, EK (0,16)
4	Tiefe, LAT, LON, SK (0,20)	LAT, LON, SK, EK (0,16)
5	Tiefe, LAT, LON, SK, EK (0,15)				

3.4 Diskussion

3.4.1 Arktis

In dem folgendem Kapitel gehe ich zunächst auf die Entstehung des Lebensraumes ein und diskutiere anschließend die im Kapitel 3.3.1 dargestellten Ergebnisse der Gemeinschaftsanalyse.

Die Entwicklung des arktischen Ozeans zu einem Kaltwasserlebensraum liegt erdgeschichtlich nicht sehr lange zurück. Vor nur etwa 6 Mio. Jahren war das Nordpolarmeer noch deutlich wärmer als heute und wahrscheinlich dauernd eisfrei (THIEDE 1986), es bestanden offene Verbindungen zum Atlantik und Pazifik. Vor 1,8 Mio. Jahren setzte in Intervallen von 10.000 bis 20.000 Jahren ein Wechsel zwischen Warm- und Kaltzeiten ein, in deren Folge die nördliche Hemisphäre allmählich abkühlte (DAYTON et al. 1994). Der Höhepunkt der letzten Vereisung liegt etwa 18.000 Jahre zurück. Die abwechselnden Warm- und Kaltzeiten führten zu Meeresspiegelschwankungen von bis zu 85 m, durch die viele sublitorale Habitate verloren gingen (DAYTON et al. 1994). Mächtige Eismassen, die während der Eiszeiten auftraten, stießen weit in den Ozean vor und bedeckten große Teile des Schelfs. Infolge der dauernden Eisbedeckung verringerte sich die Primärproduktion in der Wassersäule und somit auch die Nahrungsversorgung des Benthos. Ein Ausweichen in südliche Meeresgebiete war nicht immer möglich, da weite Teile des arktischen Ozeans zeitweise vollkommen isoliert waren und sich ein zusammenhängendes System aus Brack- oder Süßwasserseen ausbildete (KNOX & LOWRY 1977). Die sinkenden Temperaturen, der Verlust von Biotopen, die verringerte Nahrungszufuhr und die Erniedrigung des Salzgehalts führte, da sich diese Prozesse nach erdgeschichtlichen Maßstäben sehr rasch vollzogen, zum Aussterben vieler Arten während der pleistozänen Glazial- und Interglacialzeiten. Aus diesem Grund handelt es sich wahrscheinlich bei der rezenten arktischen Fauna weder um eine alte noch um eine speziell angepaßte Fauna (DAYTON et al. 1994). Die arktischen Meere scheinen seit 14.000-6.000 Jahren im Stadium der aktiven Besiedlung durch temperatur-tolerante Arten vorwiegend aus dem Nordatlantik zu sein (ZENKEVITCH 1963, KNOX & LOWRY 1977, DAYTON et al. 1994). Dies führt zu der Einschätzung, daß es sich beim arktischen sublitoralen Benthos um eine zoogeographisch "unreife" Fauna handelt (ZENKEVITCH 1963, BILYARD & CAREY 1980).

Tiefenzonierung

Auffälligstes Merkmal der epibenthischen Faunenzusammensetzung im arktischen Untersuchungsgebiet ist eine deutliche Tiefenzonierung. Dabei läßt sich folgende Tendenz beobachten (Kap. 3.3.1): Auf den flachen Bänken sind die Taxazahlen niedriger als auf den tieferen Stationen im Grabensystem. Sie liegen auf den Bänken bei maximal 20 Taxa und sind mit 32 Taxa im Graben am höchsten. Hinsichtlich der Besiedlungsdichten ist ein solch ausgeprägter bathymetrischer Trend in dem untersuchten Tiefenbereich nicht festzustellen. So finden sich die höchsten Gesamtabundanzen innerhalb der Stationsgruppe TRANS, während die Besiedlungsdichten auf den Bänken stark schwanken. Die Bodenfauna auf den Stationen des Clusters GRABEN ist allgemein individuenärmer. Eindeutig ist jedoch ein mit zunehmender Tiefe abnehmender Dominanzgrad erkennbar. Auf den sechs Stationen des Clusters BANK stellt das dominanteste Taxon knapp 50 % der Gesamtabundanz, während innerhalb der Stationsgruppe GRABEN auf das dominanteste Taxon weniger als 20 % der Gesamtabundanz entfallen. Der gleiche Trend ist für die mit dem Dominanzmuster eng verknüpfte Diversität zu beobachten. Dementsprechend finden sich im Cluster GRABEN sowohl für den Shannon-Wiener-Index als auch für die Diversität $E(S_n)$ nach HURLBERT (1971) die höchsten Werte, während sich für die Stationsgruppe BANK allgemein deutlich niedrigere Diversitätswerte berechneten.

Allgemein ist eine Tiefenzonierung der Benthosfauna ein charakteristisches Merkmal arktischer Meeresgebiete (ZENKEVITCH 1963, CAREY & RUFF 1977, PIEPENBURG & SCHMID 1996b, PIEPENBURG et al. 1996). In mehreren auf dem Schelf und Kontinentalhang vor Nordostgrönland durchgeführten Benthosuntersuchungen wurden ebenfalls tiefenabhängige Besiedlungsmuster beschrieben (PIEPENBURG 1988, MAYER & PIEPENBURG 1996, PIEPENBURG & SCHMID 1996a). Da ein direkter physiologischer Einfluß der Tiefe in dem hier untersuchten Tiefenbereich zwischen 30 und 400 m ausgeschlossen werden kann (SOMERO 1990), müssen andere für die Besiedlungsstrukturen wichtige ökologische Prozesse mit der Tiefe verknüpft sein. Grundsätzlich wichtige Faktoren sind in diesem Zusammenhang die Größe des verfügbaren Nahrungsangebots (CURTIS 1975) und die Häufigkeit von physikalischen Störungen. Die Tiefenzonierung kann aber auch durch andere Faktoren wie lokale Bodenströmungsmuster und die damit verbundene Substratbeschaffenheit überlagert sein (PIEPENBURG 1988). Vor dem Hintergrund der ausgeprägten Tiefenabhängigkeit werden im folgenden für die einzelnen Stationsgruppen die besonderen Charakteristika der Besiedlungsmuster und deren mögliche Ursachen diskutiert.

Stationsgruppe BANK

Die flachen Stationen der Stationsgruppe BANK sind charakterisiert durch eine im Vergleich mit den anderen Stationsgruppen geringere Taxazahl und einen hohen Dominanzgrad einzelner Taxa. Zu den häufigsten Taxa gehören die Assel *Arcturus cf. hastiger*, die nur bis in Tiefen von etwa 100 m vorkam, die Weichkoralle *Gersemia* spp., der Schlangenster *Ophiacantha bidentata* und der Seeigel *Strongylocentrotus* spp.. Vergleichbare Dominanzmuster fanden auch PIEPENBURG und SCHMID (1996a) für Stationen zwischen 40 und 150 m Wassertiefe aus dem gleichen Untersuchungsgebiet. Auch hier gehören *A. hastiger* und *Strongylocentrotus* spp. zu den dominanten Arten, für die vergleichbar hohe Individuendichten ermittelt wurden.

Das dominante Vorkommen einzelner Arten ist ein Indiz für instabile Umweltbedingungen oder Störungen in der Entwicklung des Ökosystems (GRAY 1984). Das Benthos der arktischen Schelfbereiche ist charakterisiert durch eine Vielzahl sowohl physikalischer als auch biologischer Störungen (DAYTON 1990). Besonders die flachen Bereiche bis zu einer Wassertiefe von etwa 70 m sind tiefgreifenden Störungen ausgesetzt. Neben dem Einfluß von strandenden Eisbergen, auf den in Kapitel 4 detailliert eingegangen wird, beeinflussen Grauwale (NERINI & OLIVER 1983, JOHNSON & NELSON 1984) und Walrosse (OLIVER et al. 1985) die benthischen Strukturen in der Arktis. Walrosse durchwühlen bei der Nahrungssuche nach Muscheln große Bereiche des Meeresbodens bis in Tiefen von 60 m. NELSON & JOHNSON (1987) berechneten, daß die 200.000 im Gebiet des nordöstlichen Beringmeers vorkommenden Walrosse jährlich etwa 75 Millionen Kubikmeter Sediment umlagern. Tatsächlich wurden auf den flachen Bänken im Untersuchungsgebiet ausgedehnte Flächen beobachtet, die mit Schill der Muschel *Mya* spp. bedeckt waren. Unvorhersagbare physikalische und biologische Störungen führen dort möglicherweise zu allgemein instabilen Umweltbedingungen, was zur Folge hat, daß die Ausbildung eines Konkurrenzgleichgewichts verhindert wird (HUSTON 1979). Dies würde die hohen Dominanzgrade und die geringe Diversität der einzelnen Stationen auf den flachen Bänken erklären. Ähnliche Auswirkungen von Störungen auf die Dominanz und Diversität wurden für die küstennahen Bereiche im nordöstlichen Chukchimeer nachgewiesen. FEDER et al. (1994) führen auch hier die beobachteten hohen Dominanz- und niedrigen Diversitätswerte auf den Einfluß von physikalischen Störungen durch starke Strömungen, direkte Eiseinwirkung und wühlende Großsäuger zurück.

Auffällig ist, daß die einzelnen Stationen der Stationsgruppe BANK von unterschiedlichen Taxa dominiert werden und daß es bezüglich der dominanten Taxa deutliche Unterschiede zwischen den nördlichen und südlichen Stationen gibt. Die

nördlichen Stationen 36, 42 und 190 werden dominiert vom unselektiv omnivoren *Stronglyocentrotus* spp. (DE RIDDER & LAWRENCE 1982), während die dominanten Taxa (*Arcturus* cf. *hastiger*, *Ophiacantha bidentata*, *Gersemia* spp., Schwämme und Bryozen) der flachen Stationen 127, 239 und 242 im Süden des Untersuchungsgebiets Suspensionsfresser oder "particle feeders" (*sensu* CLARKE 1983) sind. Dies scheint zunächst ein widersprüchliches Ergebnis zu sein, da durch die speziellen hydrographischen Verhältnisse in der Polynja (Kap. 2.1) die Primärproduktion und Sedimentation von frischem organischem Material und somit das potentielle Nahrungsangebot für Suspensionsfresser im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebiets besonders hoch ist (RITZRAU 1994). Dieser erhöhte Nahrungseintrag ist aber auf die Sommermonate, in denen die Polynja geöffnet ist, beschränkt. Die Seeigel können wahrscheinlich aufgrund ihrer vagilen und omnivoren Lebensweise rasch auf das erhöhte sommerliche Nahrungsangebot reagieren und es nutzen, während sie im Winter auf andere Nahrungsquellen ausweichen. Die dominanten, zumeist sessilen Suspensionsfresser im Süden profitieren dagegen vom kontinuierlichen lateralen Eintrag von organischem Material aus den angrenzenden Meeresgebieten durch die nach Norden gerichtete küstennahe Strömung. Es ist allgemein bekannt, daß mehr organisches Material den Meeresboden durch laterale Advektion erreicht, als durch vertikale Sedimentation (GRAF 1992).

Stationsgruppe TRANS

Bei der Stationsgruppe TRANS handelt es sich um ein heterogenes Cluster, das sich nicht eindeutig charakterisieren läßt und mit beiden anderen Stationsgruppen in Beziehungen steht. So zeigt die flachste Station in diesem Cluster deutliche Ähnlichkeit zur Stationsgruppe BANK, während die mit 186 m tiefste Station hinsichtlich der Faunenzusammensetzung auffällige Gemeinsamkeiten mit den tiefen Stationen des Clusters GRABEN erkennen läßt. Wahrscheinlich handelt es sich um eine Übergangszone zwischen den flachen Bänken und dem Grabensystem, die sich nicht anhand einer typischen Gemeinschaft beschreiben läßt. So finden sich mit Ausnahme des Schlangensterms *Ophiocten sericeum* und der Seegurke *Psolus phantapus* keine weiteren Taxa oder Taxagruppen, die ihren Verbreitungsschwerpunkt auf den Stationen dieses Clusters haben (Abb. 3.4). Die Besiedlungsstrukturen an den Flanken des Grabensystems werden wahrscheinlich durch Faktoren wie lokale Bodenströmungsmuster und die davon abhängige Bodenbeschaffenheit und Nahrungsversorgung bestimmt. Dies führt zu der Ausbildung von mehreren kleinräumigen Artenassoziationen.

Stationsgruppe GRABEN

Die Bodenfauna in den tieferen Bereichen des Grabensystems ist im Vergleich mit den anderen Stationsgruppen durch höhere Taxazahlen und geringeren Dominanzgrad gekennzeichnet. Die gleichmäßige Verteilung der insgesamt geringeren Abundanzen auf die einzelnen Taxa führt zu höheren Diversitätswerten auf den Stationen des Clusters GRABEN. In den geschützten Gräben kann man von relativ konstanten Umweltbedingungen auszugehen. Die überwiegend weichen Sedimente deuten auf eine geringe bodennahe Strömung hin. Um so erstaunlicher ist es, daß über die Hälfte (57 %) der hier beobachteten Organismen Suspensionsfresser sind. Dieser relativ hohe Anteil deutet darauf hin, daß zum einen ausreichend viel organisches Material aus dem Pelagial durch direkte Sedimentation oder lateralen Transport im antizyklonalen Wirbel in größere Tiefen gelangt und daß dieses Material trotz der beobachteten feinen Sedimentstruktur durch ausreichende Bodenströmungsgeschwindigkeiten in Suspension gehalten bzw. resuspendiert wird. Tatsächlich wurden im Untersuchungsgebiet in Wassertiefen zwischen 186 und 404 m bodennah Konzentrationen von partikulärem organischem Kohlenstoff (POC) zwischen 29,4 und 136,0 µg/l und Strömungsgeschwindigkeiten von 6,4 bis 21,0 cm/s gemessen (RITZRAU 1994). Sedimentiertes Material kann dabei durch Resuspensionsschleifen (GRAF 1992) horizontal weite Strecken zurücklegen. Dennoch muß von einer ausgeprägten Saisonalität des Nahrungsangebots ausgegangen werden. Das im Jahresverlauf stark schwankende Nahrungsangebot verlangt eine opportunistische Lebensstrategie von den sessilen Suspensionsfressern, die es ihnen ermöglicht, sowohl auf einen hohen Nahrungseintrag zu reagieren, als auch lange Zeiten der Nahrungsknappheit zu überdauern (GRAY 1984, PEARSON & ROSENBERG 1987). Diese Arten müssen sich vermutlich durch Verlangsamung des Wachstums an Nahrungsmangel anpassen können. Ein eindrucksvolles Beispiel für die erfolgreiche dauerhafte Ansiedlung dieser Arten ist die dichte Schwammgesellschaft auf Station 128. Solch dichte Schwammgesellschaften sind bis jetzt nur für subarktische (*sensu* ZENKEVITCH 1963) Gebiete wie das Kola Inlet im südlichen Barentsmeer beschrieben (ZENKEVITCH 1963). Die Abundanzen und Größen der hier dominanten Schwammarten sind mit Arten der Schwammgesellschaften in der Antarktis vergleichbar (Kap. 3.3.2, BARTHEL & GUTT 1992). So wurden für den etwa 30 cm großen Schwamm *Geodia* spp. mit etwa 1.000 Individuen pro 100 m² höhere Individuendichten ermittelt als für die von der Gestalt und Größe vergleichbare antarktische Art *Cinachyra barbata* (max. 311/100 m² Station 333 Weddellmeer, max. 23,2/10 m² BARTHEL & GUTT 1992), und der etwa 50 cm hohe Glasschwamm *Schaudinna* spp. erreicht mit 163/100 m² eine Bestandsdichte, die mit der des antarktischen Glasschwamm *Rossella racovitzae* im Weddellmeer vergleichbar ist. Die

großen, langlebigen und langsamwüchsigen Schwämme profitieren offensichtlich von den konstanten Umweltbedingungen im Grabensystem.

Bedeutung der Umweltparameter für die Verteilungsmuster

Der statistische Vergleich der biologischen und abiotischen Similaritäts-Matrizen (BIO-EN-Analyse, Kap. 3.3.1) ergab, daß sich die großräumigen Besiedlungsmuster nicht allein durch die Tiefe erklären lassen, sondern daß die *Kombination* der Parameter Tiefe und geographische Breite am höchsten mit den biologischen Strukturen korreliert ist. Hierbei handelt es sich aber um keinen echten faunistischen Nord-Süd Gradienten. Vielmehr führen der auffällige Nord-Süd Unterschied der dominanten Taxa im Cluster BANK (s.o.) und die deutliche Häufung, der sich sehr ähnlichen Stationen der Stationsgruppe GRABEN zwischen etwa 80° und 81°N, zu der deutlichen latitudinalen Korrelation.

Zusammenfassend ist festzuhalten: Die Zusammensetzung der epibenthischen Bodenfauna auf dem Schelf vor Nordostgrönland ist deutlich tiefenzoniert. Die tiefenabhängige Zonierung der Besiedlungsstrukturen ist dabei Ausdruck anderer mit der Tiefe gekoppelter Faktoren. Auf den flachen Bänken führen möglicherweise physikalische Störungen zu ausgeprägten Dominanzmustern. Dabei waren in Bereichen mit hoher sommerlicher Primärproduktion nicht die zu vermutenden Suspensionsfresser dominant, sondern vielmehr unselektiv omnivore Taxa, die in ihrer Ernährungsweise flexibel sind und so besonders gut auf eine gepulste Primärproduktion reagieren können. Vermutlich konstantere Umweltbedingungen führen in den tiefen Bereichen der Gräben zur Entwicklung einer diversen Bodenfauna, die zu mehr als der Hälfte aus Suspensionsfressern besteht. Eine deutliche Übergangszone zwischen den Gemeinschaften auf den Bänken und in den Gräben unterstützt das Gemeinschaftskonzept, nach dem die Arten entsprechend ökologischen Gradienten kontinuierlich verteilt sind und die Gemeinschaften allmählich ineinander übergehen (Kap. 3.1).

3.4.2 Antarktis

Bei der Beschreibung des hochantarktischen Benthos (DEARBORN 1968, DELL 1972, RICHARDSON & HEDGPETH 1977, ARNTZ et al. 1994) wird im allgemeinen von einem zirkumpolaren Charakter in Artenverbreitung und der Zusammensetzung sowie Zonierung der Lebensgemeinschaften ausgegangen (HEDGPETH 1971, KNOX & LOWRY 1977, DAYTON 1990). Diese Aussagen stützen sich vor allem auf Untersuchungen aus dem Sublitoral bis etwa 100 m Tiefe (GRUZOV et al. 1968, DAYTON et al. 1970, DAYTON et al. 1974, MÜHLENHARDT-SIEGEL 1988, KIRKWOOD et al. 1988). Umfassende quantitative Gemeinschaftsanalysen aus den tieferen hochantarktischen Schelfbereichen liegen bis jetzt nur aus dem Rossmeer (BULLIVANT 1967), dem Weddellmeer (Voß 1988, GALLÉRON et al. 1992, GERDES et al. 1992) und dem Lazarevmeer (GUTT & STARMANS im Druck) vor. Die Ergebnisse der neueren Arbeiten bestätigen die allgemeine Charakterisierung von VOß (1988): Polychaeten und Echinodermen sind überall häufig, während sessile Suspensionsfresser nur in Gebieten mit nahrungsreicher Bodenströmung in hohen Abundanzen vorkommen. Bei den von Suspensionsfressern dominierten Gemeinschaften lassen sich zumindest auf dem Schelf des Ross- und Weddellmeers Assoziationen unterscheiden, die von Schwämmen und Bryozoen oder nur von Bryozoen dominiert sind. Auf Weichböden mit vermutlich geringer Bodenströmung und reduziertem horizontalem Nährstoffeintrag überwiegen errante Sedimentfresser. Die großräumigen Verteilungsmuster (10-100 Kilometerskala) werden dabei oft durch kleinräumige fleckenhafte Verteilungsmuster (10-1000 Meterskala) einzelner Arten und Artenassoziationen überlagert (GUTT 1991, GUTT & PIEPENBURG 1991, GUTT et al. 1991, BARTHEL & GUTT 1992, GUTT & KOLTUN 1995, GUTT & STARMANS im Druck). Vor diesem Hintergrund werden im folgenden die in Kapitel 3.3.2 dargestellten Ergebnisse der Gemeinschaftsanalyse diskutiert.

Die Clusteranalyse und Multidimensionalen Skalierung ergab fünf Stationsgruppen. Drei Cluster (WSI-flach, WSI-tief und WSII) setzen sich ausschließlich aus Stationen aus dem Weddellmeer zusammen, während sich in den verbleibenden zwei Stationsgruppen (BASI und BASII) nur Stationen aus dem Bellingshausen- und Amundsenmeer finden. Aufgrund dieser deutlichen geographischen Trennung diskutiere ich zunächst die Stationsgruppen beider Regionen getrennt voneinander. Anschließend werden die Gemeinschaften aus dem Weddellmeer und Bellingshausen-/Amundsenmeer vergleichend betrachtet.

Weddellmeer

Die mittels multivariater Statistik ermittelten Stationsgruppen im Weddellmeer lassen sich durch eine Reihe von allgemeinen Merkmalen voneinander abgrenzen. Auf den Stationen des arten- und individuenreichen Clusters **WSI-flach**, mit sechs Stationen vor Kapp Norvegia und zwei weiteren Stationen auf dem Schelf nördlich von Halley Bay, findet sich eine von Suspensionsfressern dominierte Gemeinschaft. Der relative Anteil der filtrierenden Taxa an der Gesamtindividuenzahl beträgt 96 %. Der Meeresboden ist hier zum Teil vollständig mit Schwämmen, Bryozoen und Gorgonarien bedeckt. Auf einigen Stationen dominieren einzelne Schwammarten die Gemeinschaften. Zu diesen Arten gehören die Glasschwämme *Rossella racovitzae* (Stat. 333), *R. antarctica* (Stat. 333 und 471) und der gestielte Schwamm *Stylocordyla borealis* (Stat. 418). Die hohen Besiedlungsdichten dieser Arten führen zu relativ geringen Diversitätswerten für diese einzelnen Stationen (Tab. 3.13) und einen hohen Dominanzgrad für die gesamte Stationsgruppe (Abb. 3.10). Die hohen Diversitätswerte der übrigen Stationen in diesem Cluster und die insgesamt hohen Taxazahlen (107 der 126 analysierten Taxa kamen hier vor) deuten aber auf eine allgemein artenreiche und diverse Gemeinschaft hin. Diese Einschätzung wird durch die Beobachtung unterstützt, daß strukturbildende Formen wie die Glasschwämme einen großen Anteil an den komplexen biologischen Wechselbeziehungen haben (DAYTON et al. 1974, KUNZMANN 1992, BARTHEL 1997, GUTT & STARMANS im Druck). Die aufragenden Schwämme, Gorgonarien und im geringeren Umfang auch Bryozoen sorgen für eine dreidimensionale Gliederung des benthischen Lebensraumes. Sie werden als lebendes Substrat von diversen Epibionten genutzt und stellen so zusätzliche ökologische Nischen zur Verfügung (GUTT 1991, SCHICKAN 1996). Die abgestorbenen Teile der Schwämme und Bryozoen bieten als Schwammnadelfilz und Bryozoenschill anderen Arten eine Vielzahl von Mikrobiotopen (BARTHEL 1992) und erhöhen damit vermutlich die Diversität gegenüber rein terrigenen Sedimenten. Das Cluster **WSI-tief** unterscheidet sich nicht nur durch die größeren Wassertiefen von der Stationsgruppe WSI-flach. Die Taxa- und Individuenzahlen sind hier deutlich niedriger. Auch bestehen hinsichtlich der dominanten Faunenelemente auffällige Unterschiede. Schwämme, vor allem Glasschwämme, sind auf den Stationen des Clusters WSI-tief selten. Die Besiedlung ist von teilweise fleckhaft vorkommenden Bryozoen geprägt. Die Dominanz der Bryozoe *Melicerita obliqua* und der Crinoiden führt in Verbindung mit der geringen Taxazahl zu niedrigeren Diversitätswerten als im Cluster WSI-flach. Der Stationsgruppe WSI-tief ist kein typisches Taxacluster zuzuordnen (Abb. 3.9) und beim Vergleich der beiden WSI-Cluster ist nur die vorwiegend in der Tiefsee vorkommende Seefeder *Umbellula* spp. charakteristisch für die Stationsgruppe WSI-tief. Diese Tatsachen legen die Vermutung nahe, daß es sich bei der Gemeinschaft des Clusters

WSI-tief um eine "ausgedünnte" WSI-flach-Gemeinschaft handelt. Andere Verhältnisse finden sich auf den Stationen der Stationsgruppe **WSII** im südlichen Bereich des Untersuchungsgebiets. Feine Sedimente, die auf eine geringe bodennahe Strömung hindeuten, charakterisieren die Stationen dieses Clusters. Nur auf Station 362, der südlichsten Station im Untersuchungsgebiet, ist der Meeresboden fleckhaft mit Bryozoen der Gattung *Cellarinella* bedeckt. Zwischen den Bryozoen finden sich aber auch hier feine Sedimente. Auf den Weichböden dominieren vagile detritophage Taxa wie z. B. die Seegurke *Alcyonice violaeuspidata*, die Seeigel *Sterechinus* spp. und Irregularia spp. und die Garnele *Notocrangon antarcticus*. Die mit Ausnahme der Bryozoen auf Station 362 seltenen sessilen Suspensionsfresser, zumeist inkrustierende Schwämme und Gorgonarien, siedeln hauptsächlich auf großen "dropstones" (vom Eis verfrachtete Steine), nur wenige sessile Taxa wie die Ascidien *Synoicium* spp., *Pyura discoveryi*, *P. georgiana* und die Seefeder *Umbellula* spp. wachsen direkt auf dem feinen Sediment. Kriech- oder Fraßspuren, Faeceshäufchen und kleine Sedimenthügel ("Mounds") deuten auf Tiere der Infauna hin, die hier möglicherweise bessere Lebensbedingungen finden als im grobkörnigen Sediment. Die Taxazahlen liegen im allgemeinen zwischen denen der Cluster WSI-tief und WSI-flach. Die Besiedlungsdichten sind mit denen des Clusters WSI-tief vergleichbar. Die gleichmäßige Verteilung der Abundanzen auf die verschiedenen Taxa führt zum geringsten Dominanzgrad und den höchsten Diversitätswerten im ganzen Untersuchungsgebiet (Weddellmeer).

Die umfassendste Beschreibung des Makrozoobenthos aus dem Weddellmeer stammt von VOß (1988). Er unterscheidet dabei grundsätzlich drei Gemeinschaften mit unterschiedlicher Faunenzusammensetzung, die von GALÉRON et al. (1992) und GUTT (1991) bestätigt wurden:

- Die "Östliche Schelfgemeinschaft" im Bereich des antarktischen Küstenstroms auf zumeist unsortierten Sedimenten in Tiefen von 204 bis 445 m. Die Fauna wird dominiert von Suspensionsfressern wie Schwämmen und Bryozoen. Artenzahl, Diversität und Äquität sind hoch.
- Die "Südliche Grabengemeinschaft" in den tieferen Bereichen des Filchner Grabens und in einer Senke vor der antarktischen Halbinsel auf Weichböden in Tiefen von 622-1176 m. Suspensionsfresser fehlen hier weitgehend, während errante Sedimentfresser häufig sind. Artenzahl und Diversität sind niedrig, die Äquität liegt im mittleren Bereich.
- Die "Südliche Schelfgemeinschaft" vor dem Filchner-Rønne Schelfeis und vor Halley Bay auf mit Steinen durchsetzten zumeist sandigen Sedimenten in Tiefen zwischen

220 und 531 m. Auch hier dominieren Suspensionsfresser, besonders Bryozoen. Artenzahl und Äquität liegen im mittleren Bereich, während die Diversität gering ist.

Die Ergebnisse meiner Arbeit bestätigen dieses großräumige Zonierungsmuster. Die nahrungsreiche Küstenströmung auf dem schmalen südöstlichen Schelf im Weddellmeer bietet offensichtlich gute Lebensbedingungen (vgl. GENIN et al. 1986) für die im Cluster WSI-flach ("Östlichen Schelfgemeinschaft") dominanten Suspensionsfresser. Diese Taxa profitieren dabei zum einen von der für das Gebiet vor Halley Bay nachgewiesenen hohen Sedimentation organischer Partikel aus der Zone der Primärproduktion (BATHMANN et al. 1991) und zum anderen von der lateralen Advektion und Resuspension von organischem Material (ARNTZ et al. 1992). Die Resuspension von organischen Partikeln sorgt wahrscheinlich auch während der Wintermonate für eine, wenn auch geringere, Verfügbarkeit von Nahrung (BERKMAN et al. 1986).

Andere Bedingungen herrschen auf den Weichböden der Stationsgruppe WSII ("Südliche Grabengemeinschaft"). Die geringere bodennahe Strömung führt nur selten zur Resuspension von Detritus. Hierdurch ergeben sich ungünstige Bedingungen für Suspensionsfresser, die hier auf das direkt sedimentierende Material angewiesen sind. Als weiterer limitierender Faktor ist das Fehlen von Hartsubstraten zu nennen. Entgegen der von VOB (1988) für die Asteroïden- und Ophiuroïdenfauna und von GUTT (1991) für die Holothurienfauna beschriebenen geringen Diversität innerhalb der "Südlichen Grabengemeinschaft" errechnen sich für das Megabenthos hohe Diversitätswerte. Die Dominanz einzelner Arten innerhalb der untersuchten taxonomischen Gruppen führt bei VOB (1988) und GUTT (1991) zu den geringen Diversitäten, wohingegen sich bei der Betrachtung der gesamten Megafauna keine so deutlichen Dominanzmuster finden; die Individuen verteilen sich gleichmäßig auf die einzelnen Taxa. Ein ähnlicher Trend zeigt sich bei VOB (1988), der in einer zweiten Berechnung 403 Taxa des Makrozoobenthos berücksichtigt.

Besondere Bedingungen verhindern wahrscheinlich die dauerhafte Ansiedlung von Schwämmen auf den Stationen des Clusters WSI-tief ("Südliche Schelfgemeinschaft"). VOB (1988) nennt in diesem Zusammenhang starke tidenabhängige Bodenströmungen und relativ instabile Umweltbedingungen durch großräumige Verlagerungen der Schelfeiskante und Schwankungen der Eisbedeckung bzw. Ausdehnung der Küstenpolynja und der damit verbundenen Primärproduktion. Auftriebserscheinungen des "warmen Tiefenwassers" (Kap. 2.2.1) im Übergangsbereich zum Kontinentalhang (ARNTZ et al. 1992, FAHRBACH et al. 1992), die wahrscheinlich nur wenig organisches Material aus der Tiefe mit sich führen, sind als weitere Einflußgröße denkbar. Da die

"südliche Schelfgemeinschaft" in ihrer geographischen Verbreitung nicht ausschließlich auf die südlichen Schelfbereiche beschränkt ist (vgl. auch GUTT 1991, GALÉRON et al. 1992, GERDES et al. 1992), ist davon auszugehen, daß wahrscheinlich mittelskalige, uns bis jetzt noch unbekannt, jedoch für die Gemeinschaftsstruktur wichtige Prozesse zur Ausbildung dieser relativ artenarmen, von Bryozoen dominierten Artenassoziationen führen.

Daß die großräumige Zonierung der Bodentierbesiedlung von mittelskaligen Faktoren überlagert sein kann, wird besonders im Gebiet nordwestlich von Halley Bay deutlich. Am nördlichen Ausgang des Filchnergrabens divergiert der Küstenstrom (CARMACK & FOSTER 1977, HELLMER & BERSCH 1985). Ein Teil strömt über dem Kontinentalhang nach Westen, während ein anderer Teil des Weddell-Küstenstroms dem Küstenverlauf nach Südwesten folgt und auf dem breiten südlichen Schelf eine zyklonische Zirkulation ausbildet. Grundsätzlich herrschen im Bereich der Küstenpolynja vor Halley Bay durch den südwestlich gerichteten Küstenstrom gute Nahrungsbedingungen für die sessilen Suspensionsfresser (Kap.3.3.2, GUTT 1991, GALÉRON et al. 1992, GERDES et al. 1992), während im nordwärts gerichteten Rückstrombereich der zyklonischen Zirkulation die Nahrungsversorgung möglicherweise reduziert ist, da diese Wassermassen unter dem Filchner Schelfeis hervorströmen. Ganz ähnliche Verhältnisse beschreiben DAYTON und OLIVER (1977) für den McMurdo Sound (Rossmeer). Dieses grundsätzliche Muster ist aber vermutlich von weiteren mittel- und auch kleinskaligen Faktoren überlagert, die mit der regionalen Bodentopographie und der davon abhängigen Hydrographie in Zusammenhang stehen. Diese speziellen hydrographischen Verhältnisse sind möglicherweise dafür verantwortlich, daß hier auf relativ engem Raum alle drei Gemeinschaften anzutreffen sind.

Bellingshausen- und Amundsenmeer

Die Clusteranalyse gruppierte die untersuchten Stationen aus dem Bellingshausen- und Amundsenmeer in zwei Cluster BASI und BASII. Die Darstellung der multidimensionalen Skalierung (Abb. 3.8) zeigt große Unterschiede innerhalb der beiden Cluster und einen eher kontinuierlichen Übergang zwischen den Stationsgruppen. Zudem läßt auch die geographische Verteilung der Stationen kein deutliches Muster erkennen. Mittlere Taxazahlen und stark schwankende Besiedlungsdichten finden sich auf den Stationen des Clusters **BASI**. Der Kern dieses Clusters wird von Stationen aus der Marguerite Bay gebildet. Individuenreiche, von Suspensionsfressern dominierte Gemeinschaften fehlen hier. Schwämme sind grundsätzlich selten und die Bedeckung mit Bryozoen ist gering und fleckenhaft. Dies führt dazu, daß eine dreidimensionale

Gliederung des benthischen Lebensraums in eine Vielzahl von Mikrobiotopen fehlt. Diese Funktion wird in abgeschwächter Weise von den hier häufigen großen Steinen ausgefüllt, die zumeist mit einer Vielzahl sessiler und vagiler Arten besiedelt sind. Auf dem weichen Sediment überwiegen errante Sedimentfresser wie Ophiuroiden, reguläre Seeigel und Holothurien. Hier finden sich nur wenige sessile Arten, bei denen es sich zumeist um Gorgonarien handelt. Auffällig ist das teilweise häufige Vorkommen einer Zylinderrose (*Ceriantharia* sp. 5). Für diese Art bieten sich auf diesen Weichböden gute Lebensbedingungen, da sie, wie es für Zylinderrosen typisch ist, in selbstgegrabenen Wohnröhren lebt. Die feine Sedimentstruktur deutet auf eine geringe bodennahe Strömung hin. Unterstützt wird diese Vermutung durch die Beobachtung, daß der Meeresboden z. T. mit einem grünen Belag aus abgestorbenem Phytoplankton bedeckt ist. Wahrscheinlich ist ein Großteil der hier im Südsommer 1994 beobachteten starken Algenblüte (Kap. 2.2.2) direkt sedimentiert. Die geringe Bodenströmung und die damit verbundene geringe Resuspension von Partikeln erklärt möglicherweise das Fehlen von dichten Schwamm- und Byzoengemeinschaften. Zwar kommt es während der sommerlichen Planktonblüten zu einem hohen Eintrag von organischem Material, dieses Material driftet aber wohl nur kurzzeitig im bodennahen Wasser und lagert sich relativ schnell auf dem Meeresboden ab. Damit ist mit einer kürzeren Phase mit ausreichendem Nahrungsangebot für Suspensionsfresser im Jahresverlauf zu rechnen. Inwieweit in diesem Gebiet ein terrigener Eintrag von feinen Sedimentpartikeln aus den angrenzenden Gletschern die Filterapparate der Suspensionsfresser beeinträchtigt (vgl. GRAY 1984, HOLTE et al. 1996), ist nicht eindeutig zu klären. Geringe Taxazahlen und Besiedlungsdichten kennzeichnen die insgesamt heterogene Stationsgruppe **BASII**. Allgemein überwiegen in diesem Cluster mit Ausnahme der Crinoiden errante detritophage Formen. Bemerkenswert ist, daß 46 der insgesamt 54 Taxa auf den Stationen des Clusters BASI vorkommen und nur die Seegurke *Bathyploetes rubipunctatus* ein charakteristisches Taxon des Clusters BASII ist (Tab. 3.12a). Diese Ergebnisse lassen vermuten, daß es sich bei den im Cluster BASII vorkommenden Artenassoziationen um verarmte BASI-Gemeinschaften handelt. Unterstützt wird diese Annahme durch die Tatsache, daß dem Cluster BASII keine charakteristische Taxagruppe zuzuordnen ist (Abb. 3.9). Wahrscheinlich führt die z. T. ganzjährige Meereisdecke (Kap. 2.2.2) und die damit verbundene Reduktion der Primärproduktion in weiten Teilen des breiten Schelfs zu insgesamt schlechten Nahrungsbedingungen für das Benthos, die eine allgemeine Verarmung der Bodenfauna zur Folge hat. Über mögliche großräumige Strömungsmuster auf dem Schelf im zentralen Bellingshausen- und Amundsenmeer, die für eine Zufuhr von allochthonem organischem Material aus angrenzenden Meeresgebieten sorgen könnten, ist leider wenig bekannt.

Beim Vergleich zwischen Weddellmeer und Bellingshausen-/Amundsenmeer lassen sich sowohl deutliche Unterschiede als auch Gemeinsamkeiten erkennen. Im Bellingshausen- und Amundsenmeer fehlen artenreiche Schwamm/Bryozoengemeinschaften, die für den östlichen Weddellmeerschelf typisch sind. Diese von Suspensionsfressern dominierten Gemeinschaften finden sich auch im Lazarevmeer (GUTT & STARMANS im Druck) und in viel geringerer Ausdehnung im Rossmeer (BULLIVANT 1967, DAYTON et al. 1970, DAYTON et al. 1974). Ihr Vorkommen beschränkt sich dabei offensichtlich auf Gebiete mit nahrungsreichen Bodenströmungen. In Bereichen mit Weichböden, in denen aufgrund der geringen bodennahen Strömungen von einem stark reduzierten horizontalen Nährstoffeintrag auszugehen ist, dominieren in beiden Regionen errante Sedimentfresser. Diese beiden grundsätzlich verschiedenen Artenassoziationen scheinen ein zirkumpolares Merkmal der Meeresbodenbesiedlung zu sein, jedoch zeigen sie keine scharfen Grenzen. Dabei ist die Faunenzusammensetzung nicht grundsätzlich abhängig von der Tiefe, der geographischen Lage oder dem Abstand zur Schelf- bzw. Schelfeiskante. Vielmehr führen wahrscheinlich klein- und mittelskalig wirkende Faktoren zu unterschiedlichen Besiedlungsstrukturen am Meeresboden.

4. Einfluß strandender Eisberge auf das polare Benthos

4.1 Einleitung

Weite Teile der antarktischen Küste werden vom Schelfeis oder Gletschern gebildet (Kap. 2.2). Der Küstenverlauf ist dabei einer natürlichen Dynamik unterworfen, bei der es in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit des Inlandeises kontinuierlich zu Abbrüchen unterschiedlich großer Stücke kommt. Die daraus resultierenden Eisberge driften aufgrund der zirkumpolaren Meeresströmungen teilweise sehr lange in den Schelfbereichen (LIEN et al. 1989). Auffällig große Abbrüche von Eisseln bis zu einer Größe von 2400 km² im Bereich des Larsen- und Wordie-Schelfeises im westlichen Weddellmeer bzw. in der Marguerite Bay wurden als mögliche Konsequenz einer globalen atmosphärischen Erwärmung diskutiert (DOAKE & VAUGHAN 1991, VAUGHAN & DOAKE 1996, ROTT 1997). In der Arktis hingegen fehlen die großen Schelfeise. Hier sind vor allem kalbende Gletscher der Ursprung driftender Eisberge. Pflugspuren strandender Eisberge am Meeresboden wurden bereits in beiden polaren Regionen nachgewiesen (BARNES et al. 1984, LIEN et al. 1989, WOODWORTH-LYNAS et al. 1991, DOWDESWELL et al. 1993). Ausführlich untersucht wurden insbesondere die Auswirkungen auf die kleinräumige Bodentopographie. In Abhängigkeit von der Struktur der Eisbergunterseite entstehen bei der Grundberührung gleichmäßig abgehobelte Flächen oder parallel verlaufende Grate und Furchen. An den Rändern der Pflugspuren bilden sich entweder Wälle aus zusammengeschobenem Sediment oder Kanten, an denen das Sediment in Blöcken abbricht. Eisbergstrandungen sind lokal begrenzte natürliche Katastrophen, wobei die Bodenfauna vernichtet wird. Nach einer solchen Störung stehen freie Flächen für die Wiederbesiedlung zur Verfügung. Die wenigen vorliegenden Arbeiten über den direkten Einfluß des Eises auf das Benthos beschränken sich auf die Litoralbereiche (KAUFFMAN 1974, GRUZOV et al. 1968), in denen Bruchstücke von Eisbergen ("Growler") und das Meereis das Benthos beeinträchtigen. Über die Konsequenzen für das Benthos der tieferen Schelfbereiche wurden bis jetzt nur Vermutungen angestellt. Speziell das artenreiche antarktische Benthos muß wegen der Langsamwüchsigkeit vieler Arten (DAYTON et al. 1974, BREY & CLARKE 1993, ARNTZ et al. 1994) als empfindlich gegenüber solchen Störungen gelten. Als besonders langsamwüchsig gelten die lokal sehr dominanten Glasschwämme (VOß 1988), die wegen ihrer Funktion als Substratbildner großen Anteil an komplexen biologischen Wechselbeziehungen haben (KUNZMANN 1992, BARTHEL 1997, GUTT & STARMANS im Druck).

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, erstmals den Einfluß strandender Eisberge auf das hochpolare Benthos anhand quantitativer Daten zu untersuchen. Im Mittelpunkt steht dabei die Beantwortung folgender Fragen:

- In welchem räumlichen Ausmaß und mit welcher Häufigkeit wird das Benthos zerstört?
- Welche Wiederbesiedlung ist festzustellen?
- Gibt es bezüglich der Artenzusammensetzung Unterschiede in der Sukzession?

Anhand der Ergebnisse soll die Bedeutung von Eisbergstrandungen für die Stabilität, Elastizität und Diversität der beiden benthischen Systeme diskutiert und verglichen werden.

4.2 Material und Methoden

Flächen am Meeresboden wurden dann als Eisbergspuren identifiziert, wenn

- die kleinräumige Bodentopographie deutliche mechanische Störungen zeigte, die aufgrund ihrer Ausdehnung und Gestalt nicht durch andere Effekte erklärt werden können. Es handelt sich dabei um Areale mit unregelmäßigen oder deutlich parallelen Pflugspuren mit einer Tiefe von etwa ≤ 1 m. An den Rändern solcher Pflugspuren zeigten sich gelegentlich kleine Wälle und Abbruchkanten;
- in der benthischen Besiedlung abrupte Wechsel auftraten, die nicht durch andere physikalischen oder biologischen Prozesse erklärt werden konnten. Hierbei handelt es sich entweder um ältere Pflugspuren, in denen die o. g. typischen Verwerfungen schon eingeebnet sind, oder um Spuren von Eisbergen, die infolge der tidenabhängigen Meeresspiegelschwankungen nur kurzzeitig dem Meeresboden auflagen.

Um die Besiedlungsstrukturen innerhalb der Eisbergpflugspuren mit den ungestörten Bereichen hinsichtlich der Diversität, Taxazahl und Besiedlungsdichte zu vergleichen (Kap. 5.4), wurden auf den jeweiligen Stationen zufällig 100 m² der ungestörten Bereiche ausgewählt. Diversitätswerte und Taxazahlen der Wiederbesiedlungsstadien beziehen sich auf die tatsächlich beobachteten Flächen von 34-85 m², wobei die beiden frühen bzw. späteren Wiederbesiedlungsstadien der Station 308 und die nicht zusammenhängenden Flächen der Station 333 zusammengefaßt wurden. Von den beiden in dieser Arbeit verwendeten Diversitätsindices (Kap. 3.2.1) wurde aufgrund der z. T. sehr geringen Individuenzahlen innerhalb der Pflugspuren der Shannon-Wiener-Index für die Berechnungen der Diversitäten benutzt.

4.3 Ergebnisse

In beiden polaren Untersuchungsgebieten wurden anhand des Videomaterials Spuren strandender Eisberge nachgewiesen. Eine vorläufige quantitative Analyse der Daten ergab, daß in den antarktischen und arktischen Untersuchungsgebieten bei einem geschätzten maximalen Alter der Eisbergspuren von 10 bzw. 5 Jahren und einem Anteil der gestörten Fläche an der gesamten analysierten Fläche von 4,4 bzw. 9,5 % der Meeresboden statistisch einmal in 230 bzw. 53 Jahren von einem strandenden Eisberg gestört wird (Tab. 4.1, GUTT et al. 1996). Diese Berechnungen sind um Daten fotografischer Transekte aus dem Weddell- und dem angrenzenden Lazarevmeer ergänzt, die nicht im Rahmen dieser Arbeit ausgewertet wurden.

Tab. 4.1 Absolute und relative Häufigkeiten von Eisbergspuren in der Antarktis und Arktis (aus GUTT et al. 1996).

Untersuchungsgebiet	Antarktis	Arktis
	Lazarevmeer südöstliches Weddellmeer Amundsenmeer Bellingshausenmeer	Nordostgrönland
untersuchter Tiefenbereich (m)	100-500	0-70
Anzahl der Stationen	74 ^a	8 ^b
analysierte Fläche Fototransekte (m ²)	2107	0
analysierte Fläche Videotransekte (m ²)	11608	4275
Stationen mit Eisbergspuren	9	4
Anzahl der Eisbergspuren	33	22
maximales Anzahl von Eisbergspuren pro Station	20	9
geschätztes maximale Alter der Eisbergspuren (Jahre)	10	5
gestörte Fläche (m ²)	603	406
gestörte Fläche (%)	4,4	9,5
Zeitraum (Jahre), in dem die untersuchte Fläche statistisch einmal von einem strandenden Eisberg gestört wird	230	53

^a zusätzlich wurden 30 Stationen tiefer 500 m ohne Eisbergspuren untersucht

^b zusätzlich wurden 17 Stationen tiefer 70 m ohne Eisbergspuren untersucht

Die durch Eisberge zerstörten Flächen wurden zuerst von vagilen Organismen wie Fischen, Haarsternen, See- und Schlangensterne oder Pilgermuscheln wiederbesiedelt. Frühe sessile Wiederbesiedler waren Hyrozoen der Familie Stylasteridae, Polychaeten der Familien Terrellidae und Sabellidae, verschiedene koloniebildende Ascidien und Bryozoen (*Camptoplites tricornis* und *Cellaria* spp. in der Antarktis). Gelegentlich traten einige Taxa innerhalb der gestörten Flächen in höheren Dichten auf als in den umgebenden ungestörten Flächen (Tab. 4.2, Abb. 4.1 und 4.2). Auf Station 59 im Amundsenmeer kamen im Bereich der seitlichen Abbruchkanten der Pflugspuren deutlich gehäuft Aktinien und ein Hornschwamm vor. Vor Nordostgrönland auf Station 240 waren solche Bereiche in hohen Dichten von einer nicht identifizierten endobenthischen Polychaetenart besiedelt. Hierbei läßt sich nicht eindeutig sagen, ob es sich um eine Wiederbesiedlung der Abbruchkanten durch diese Polychaeten handelt, oder ob die schon vor der Eisbergstrandung vorhandenen endobenthischen Strukturen durch das Aufbrechen des Sediments erst sichtbar wurden.

Tab. 4.2 Station 308, Weddellmeer. Frühe sessile Wiederbesiedler, die innerhalb der gestörten Flächen in wesentlich höheren Abundanzen vorkamen als außerhalb der gestörten Flächen. Aufgrund der niedrigen Abundanzen in den ungestörten Flächen konnten hier nur die relativen Abundanzen pro m² und die Spannweite der Abundanz berechnet werden. Für die Abundanzen innerhalb der gestörten Fläche wurden zusätzlich die Mediane und das 25te und 75te Perzentil berechnet (aus GUTT et al. 1996).

Taxa		innerhalb der gestörten Flächen	außerhalb
<i>Pista</i> spp. (Terebellidae)	Abundanz (n/m ²)	16,6	0,03
	Spannweite (n/m ²)	4,3-22,1	0,0-3,0
	Median (n/m ²)	19,8	-
	25te Perzentil	11,5	-
	75te Perzentil	22,1	-
	analysierte Fläche (m ²)	14,1	684,8
junge <i>Synoicium addeanum</i> (Asciacea)	Abundanz (n/m ²)	59,7	1,3
	Spannweite (n/m ²)	37,4-82,9	0,0-43,4
	Median (n/m ²)	61,7	-
	25te Perzentil	40,4	-
	75te Perzentil	74,4	-
	analysierte Fläche (m ²)	14,1	684,8

In Abbildung 4.1 und 4.2 sind exemplarisch Ausschnitte zweier Videotransekte aus dem Weddellmeer dargestellt.

M₁-M₃ (Abb. 4.1) bezeichnen Bereiche mit einer reifen und diversen Gemeinschaft, die zum großen Teil aus sessilen Suspensionsfressern besteht. Zu dieser Gruppe gehören *Thouarella* spp. (Gorgonaria), *Abyssocucumis liovillei* (Holothuroidea), *Synoicum addreanum* (Asciacea), *Astrotoma agassizii* (Ophiuroidea) und Cephalodiscidae spp. (Pterobranchia). Die häufigsten vagilen Taxa waren *Pomachocrinus kerguelensis* (Crinoidea), Asteroidea spp. und Cidaroida spp. (Echinoidea). In der Gruppe "Schwämme" sind sowohl Demospongiae als auch Hexactinellida vertreten. Zu den häufigsten Demospongiae gehörten *Stylocordyla borealis* und *Cinachyra barbata*. *Rossella racovitzae*, *R. antarctica* und *R. nuda/Scolymastra joubini* waren die häufigsten Vertreter der Glasschwämme.

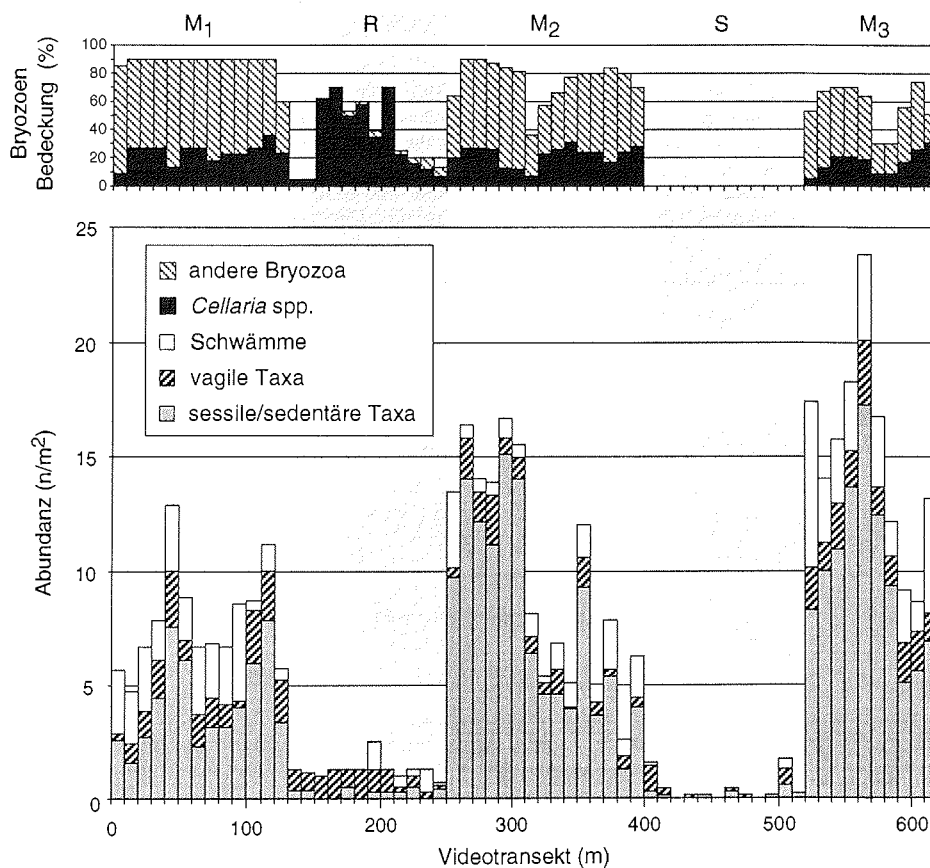


Abb. 4.1 Videotransekt der Station 387 (Weddellmeer). Erläuterungen siehe Text.

S kennzeichnet den Bereich einer Pflugspur ohne nennenswerte Besiedlung. Lediglich in einer kleinen Senke wurde ein auf der Seite liegender Glasschwamm beobachtet. Bei dem mit **R** bezeichneten Bereich handelte es sich um eine Pflugspur, die schon teilweise von sessilen Taxa wiederbesiedelt war. Insbesondere die Bryozoenart *Cellaria* spp. war hier sehr häufig. Der Bedeckungsgrad mit *Cellaria* spp. war hier höher als in weiten Teilen der Bereiche M₁-M₃. Die Abundanzen der vagilen Taxa sind mit den Werten der reifen Gemeinschaften vergleichbar.

Ein Ausschnitt des Videotranssekts der Station 308 ist in Abbildung 4.2 dargestellt.

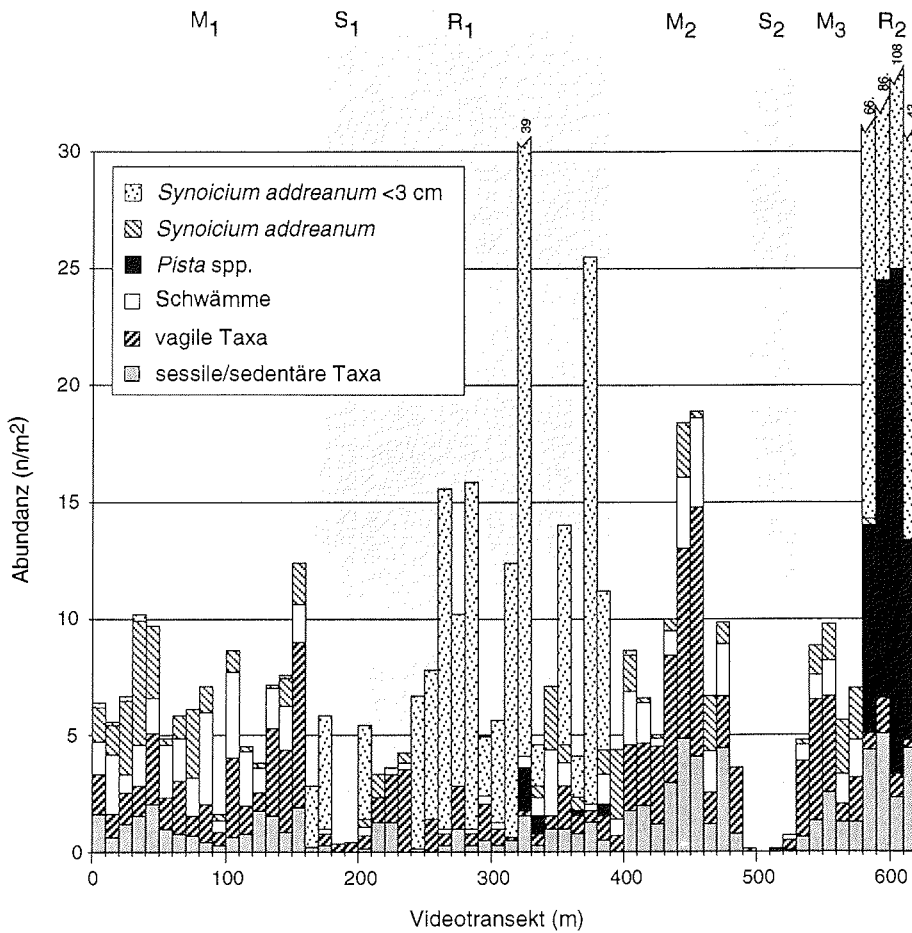


Abb. 4.2 Videotranspekt der Station 308 (Weddellmeer). Erläuterungen siehe Text.

Wie in Abb. 4.1 bezeichnen auch hier **M1-M3** Bereiche mit einer reifen und diversen Gemeinschaft (s. o.). **S1** und **S2** kennzeichnen zwei kaum besiedelte Pflugspuren. Zwei weitere Pflugspuren finden sich in den mit **R1** und **R2** bezeichneten Abschnitten. Im Vergleich zu **M1-M3** sind deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der sessilen Megafauna zu erkennen. Der Bereich **R1** wird in weiten Teilen von kleinen Kolonien der Ascidie *Synoicum adreanum* dominiert, die hier mit Abundanzen von bis zu 33,7 Individuen pro m² vorkam. Die langsamwüchsigen Glasschwämme waren hier weniger vertreten als in den reifen Gemeinschaften. Der Abschnitt **R2** wird von zwei Taxa dominiert. Neben den auch hier dominanten kleinen *Synoicum adreanum* war dieser Bereich in hohen Dichten von bis zu 82,9 Individuen pro m² mit der terebelliden Polychaetenart *Pista* spp. besiedelt. Schwämme fehlen hier völlig.

4.4 Diskussion

Ein einzigartiges Merkmal des polaren Benthos ist der zerstörerische Einfluß strandender Eisberge. Das arktische Benthos ist charakterisiert durch eine Vielzahl von physikalischen Störungen, beginnend mit dem Durchpflügen der obersten Sedimentschichten durch grabende Tiere bis hin zu massiven Störungen durch Grauwale, Walrösser und Eisberge (NERINI & OLIVER 1983, OLIVER et al. 1985, DAYTON 1990, DAYTON et al. 1994). Für das antarktische Benthos hingegen wird i. d. R. von konstanten Umweltbedingungen ausgegangen (DAYTON & OLIVER 1977, LIPPS & HICKMAN 1982, DAYTON 1990, DAYTON et al. 1994). ARNTZ et al. (1994) relativieren diese Konstanz und kommen zu dem Schluß, daß neben bemerkenswert gleichbleibenden physikalischen Eigenschaften eine Reihe von Umweltparametern im Jahresverlauf deutlichen z. T. nicht vorhersehbaren Schwankungen unterworfen sind. Als relativ konstante Parameter nennen sie z. B. Salzgehalt, geringer Eintrag von terrigenem Material und niedrige Wassertemperaturen, die jedoch im Übergangsbereich zum Kontinentalhang durch Auftriebserscheinungen des "warmen Tiefenwassers" (Kap. 2.2.1) deutlich schwanken können (ARNTZ et al. 1992). Zu den deutlich variablen Parametern zählen sie neben der Meereisbedeckung, dem Ankereis, der Schelfeiskante, den Meeresströmungen und der vom Lichteinfall abhängigen Primärproduktion auch strandende Eisberge.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, daß strandende Eisberge in *beiden* Untersuchungsgebieten einen erheblichen zerstörerischen Einfluß auf das Benthos haben (Tab. 4.1), wobei es aber zwischen beiden Gebieten wesentliche Unterschiede hinsichtlich der Struktur der Eisberge und der von ihnen beeinflussten Schelfbereiche gibt. Bei den in der Antarktis häufigen Eisbergen handelt es sich zumeist um Tafel Eisberge (HEMPEL 1985). Zwischen den Jahren 1981 und 1985 wurden in den Gewässern um den antarktischen Kontinent 70.000 Eisberge (>10 m) registriert (LIEN et al. 1989), von denen aufgrund der fehlenden Flachwasserbereiche in der Hochantarktis nur große Exemplare mit einem Tiefgang von >100 m auf Grund laufen und die benthische Besiedlung zerstören. Auf dem Videomaterial ließen sich rezente Spuren von Eisbergen bis in eine Tiefe von etwa 450 m beobachten. In Schelfbereichen mit unebener Topographie des Meeresbodens scheint es Konzentrationen gestrandeter Eisberge zu geben. Fächerlot-Aufnahmen zeigten allerdings, daß bei solchen "Eisbergfriedhöfen" Pflugspuren von Eisbergen nicht deutlich häufiger zu beobachten sind, als in Schelfbereichen mit relativ ebener Bodentopographie (BOHLMANN et al. im Druck). Dieser zunächst widersprüchlich erscheinende Befund kann damit erklärt werden, daß strandende Eisberge in solchen unebenen Gebieten aufgrund der quer zur vorherrschenden Strömungsrichtung verlaufenden Tiefenlinien zunächst nur kurze

Pflugspuren hinterlassen, bevor sie dann über Jahre oder Jahrzehnte liegen bleiben und nur infolge starker Stürme wieder aufschwimmen. Driftende Eisberge, die auf dem ebenen Schelf den Meeresboden durchpflügen, hinterlassen dagegen u. U. wiederholt lange Pflugspuren. Dies bedeutet, daß strandende Eisberge nicht nur besonders exponierte flache Bereiche des Schelfs beeinflussen, sondern daß die benthischen Lebensgemeinschaften in weiten Teilen des antarktischen Schelfs solchen natürlichen Störungen ausgesetzt sind.

In der Arktis sind die zumeist unregelmäßig geformten Eisberge kleiner und im Vergleich zur Antarktis weniger häufig (HEMPEL 1985). Daß trotz dieser Tatsache der Anteil der durch Eisberge gestörten Flächen im arktischen Untersuchungsgebiet mit 9,5 % doppelt so hoch wie in der Antarktis (4,4 %) ist, läßt sich auf die komplexe Topographie des Meeresbodens vor Nordostgrönland zurückführen (Kap. 2.1, Abb. 2.1). Die zahlreichen flachen Bänke bilden eine Vielzahl von Hindernissen für die driftenden Eisberge. Die geringe Größe führt wahrscheinlich dazu, daß die gestrandeten Eisberge nach kurzer Zeit entweder mit der nächsten Flut oder einem Sturm wieder aufschwimmen oder in kleinere Teile zerbrechen. Dies erklärt auch das Fehlen von "Eisbergfriedhöfen" vor Nordostgrönland.

Die nach einer Eisbergstrandung frei gewordenen Flächen wurden in beiden Untersuchungsgebieten zuerst von schwimmfähigen Tieren, wie Haarsternen, Fischen oder Pilgermuscheln (Arktis) wiederbesiedelt. Anschließend beginnen vagile benthische Tiere, vor allem Schlangensterne, einzuwandern. In diesen frühen Stadien der Sukzession gleichen sich die beiden Untersuchungsgebiete. Weitere Sukzessionsstadien konnten in der Arktis nicht unterschieden werden, da sich die benthische Megafauna in dem Tiefenbereich bis 70 m zu einem Großteil aus vagilen Taxa zusammensetzt (Kap. 3.3.1), die unmittelbar nach der Störung wieder in die freien Flächen einwandern. Das führt vermutlich dazu, daß die ehemals gestörten Flächen schon nach relativ kurzer Zeit nicht mehr deutlich von den ungestörten Flächen zu unterscheiden und somit als solche zu identifizieren sind. In der Antarktis wurden dagegen weitere spätere Sukzessionsstadien beobachtet, deren gemeinsames Merkmal ein Massenvorkommen bestimmter weniger sessiler Taxa war (Tab. 4.2, Abb. 4.1 und 4.2). Diese Beobachtung kann entweder durch ein im Vergleich zu anderen Arten schnelleres Wachstum erklärt werden, oder es handelt sich hierbei um besonders erfolgreiche Rekrutierung in Kombination mit dem Fehlen von Raum- und Nahrungskonkurrenz in den freien Flächen. Die Abbildung 4.1 zeigt ein recht einfaches Bild zweier Pflugspuren. Während der Bereich **S** eine frische Pflugspur in einem frühen Stadium der Sukzession mit zumeist vagilen Arten kennzeichnet, hat in dem Bereich **R** schon eine Wiederbesiedlung mit sessilen Arten eingesetzt, die von der

Bryozoenart *Cellaria* spp. dominiert wird. Wesentlich komplexere Strukturen fanden sich auf Station 308 (Abb. 4.2). **S₁** und **S₂** kennzeichnen auch hier frische Pflugspuren mit fast ausschließlich vagilen Formen. Die Pflugspur **S₁** liegt im Bereich einer älteren Pflugspur **R₁** mit einer dichten Besiedlung sessiler Arten. Auffälligste Merkmale dieses späteren Sukzessionsstadium sind die im Vergleich zu den reifen und diversen Gemeinschaften hohen Abundanzen von kleinen, jungen Kolonien der Ascidie *Synoicum addreanum*. Ein weiteres Sukzessionsstadium fand sich in dem mit **R₂** bezeichneten Abschnitt des Transekts, dessen Kennzeichen ein explosionsartiges Auftreten von jungen *S. addreanum* und der terrebelliden Polychaetenart *Pista* spp. ist. Auf Station 333 im Weddellmeer wurden in unregelmäßigen Abständen 21 Löcher in der dichten Besiedlung mit sessilen Taxa beobachtet. Bei diesen Löchern mit einer Ausdehnung von etwa einem Quadratmeter handelt es sich wahrscheinlich um Spuren eines Eisbergs, der infolge des Seegangs oder der Tide wiederholt kurzzeitig dem Meeresboden auflag. Auch eine instabile Lage des Eisbergs und daraus resultierende Rollbewegungen (LIEN et al. 1989) könnten die Ursache dieses besonderen Musters am Meeresboden sein. Die Besiedlung in den Löchern wurde als frühes Sukzessionsstadium interpretiert, da sich hier kaum sessile Taxa fanden. Auch hier fehlten in den gestörten Flächen die sonst auf dieser Station sehr häufigen Glasschwämme (Tab. 3.9) völlig.

Eine zeitliche Zuordnung der Sukzessionsstadien kann zur Zeit nur grob abgeschätzt werden. Die verschiedenen Muster der Sukzession sind möglicherweise sowohl abhängig von der Artenzusammensetzung auf den angrenzenden ungestörten Flächen, als auch vom Zeitpunkt und dem räumlichen Ausmaß der Störung, da Rekrutierungsprozesse saisonal gekoppelt sein können und in Abhängigkeit von der Fortpflanzungsstrategie (planktotrophe oder lecitotrophe Larvalentwicklung) Unterschiede in der Verbreitung der Larven bestehen (DAYTON 1989, DAYTON 1984). Da Eisbergstrandungen ein lokal begrenztes und zeitlich variables Ereignis sind, kommt es am Meeresboden zu einem Mosaik aus Bereichen mit reifen und diversen Gemeinschaften und verschiedenen fleckenhaften, phasenverschobenen (desynchronen) Sukzessionsstadien. Solche mosaikartigen Strukturen sind auch in anderen Meeresgebieten ein verbreitetes Merkmal benthischer Gemeinschaften (DAYTON 1984, REISE 1991). Dieser fortwährende Wechsel zwischen Zerstörung und Wiederbesiedlung und das daraus folgende Mosaik aus Bereichen mit unterschiedlichen Besiedlungsstrukturen ist möglicherweise ein Grund für die oft beobachtete fleckenhafte Verteilung des antarktischen und arktischen Benthos (GUTT 1991, GUTT & KOLTUN 1995, PIEPENBURG & SCHMID 1996a, b, GUTT & STARMANS im Druck).

Ein möglicher Trend in der zeitlichen Entwicklung der Diversität in den wiederbesiedelten Flächen ist in Abbildung 4.3 dargestellt. Die Abbildung zeigt, daß die Diversität in den frühen Stadien der Sukzession (in Abb. 4.1 und 4.2 mit **S** bezeichnet), in denen vagile Arten in die freien Flächen einwandern, Werte erreicht, die sowohl über, als auch unter denen der ungestörten Gemeinschaften liegen. Allerdings sind hier die Anzahl der Taxa und insbesondere die Individuendichten stark reduziert, so daß die hohe Diversität auf die gleichmäßige Verteilung (evenness, Äquität) der wenigen Individuen auf die wenigen Taxa zurückzuführen ist. In den späteren Sukzessionsstadien (in Abb. 4.1 und 4.2 mit **R** bezeichnet) geht infolge der Dominanz einzelner Arten trotz steigender Taxa- und Individuenzahlen die Diversität grundsätzlich zurück.

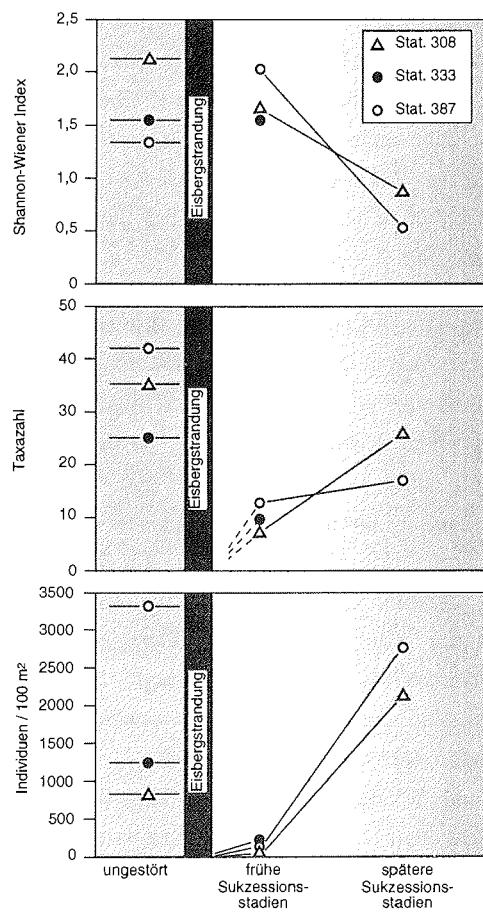


Abb. 4.3 Diversität nach SHANNON & WEAVER (1949), Taxazahl und Besiedlungsdichte für die ungestörten Gemeinschaften und Sukzessionsstadien.

Unklar sind die langfristigen Auswirkungen von Störungen auf die Diversität von Lebensräumen. SANDERS (1969) führte die hohe Diversität in der Tiefsee auf die "stabile" Umwelt zurück, in der Konkurrenz zu einer Nischenspezialisierung und so zu einer hohen Diversität führt ("stability-time hypothesis"). Dagegen kamen DAYTON und HESSLER (1972) zu dem Schluß, daß die hohe Diversität in der Tiefsee auf fortlaufende biologische Störungen (Zehrungsdruck) zurückzuführen ist, durch die die benthischen Populationsdichten konstant auf einem niedrigen Niveau gehalten werden, so daß ein Ausschluß durch Konkurrenz nicht stattfindet. HUSTON (1979) stellte ein Modell vor, das nicht nur auf die Tiefsee anwendbar ist und sowohl Konkurrenz als auch Zehrung berücksichtigt. Huston geht von einem, für jede mögliche Artenkombination einer Gemeinschaft unterschiedlichen, Schwellenwert der Populationsdichte aus, bei dem die Konkurrenz eintritt, was zur Reduktion oder zum Auslöschen einer Art führen kann ("competitive equilibrium"). Dieses Konkurrenzgleichgewicht ist abhängig von den individuellen Wachstumsraten der Arten. Sind diese Wachstumsraten vieler Arten der Gemeinschaft niedrig, so dauert es lange, bis sich das Konkurrenzgleichgewicht einstellt, und die Diversität ist hoch. Ein weiterer Parameter, der die Diversität beeinflusst, ist die Häufigkeit von Störungen (biologische und physikalische). Dabei wird die Diversität am größten, wenn die Häufigkeit der Störungen gerade eben die Ausbildung des Konkurrenzgleichgewichts verhindert (HUSTON 1979).

Die quantitative Analyse (Tab. 4.1) zeigt die langfristige Bedeutung von Eisbergstrandungen für das Benthos. Überträgt man diese Ergebnisse auf das Modell von HUSTON (1979), bleibt den Populationen in der Antarktis und Arktis ein statistisch gemittelter Zeitraum von 230 bzw. 53 Jahren (Tab. 4.1), um ein Konkurrenzgleichgewicht auszubilden. Viele Schlüsselarten der Antarktis, insbesondere die Schwämme (DAYTON 1978), die als Substratbildner wesentlichen Anteil an den vielfältigen biologischen Wechselbeziehungen haben (BARTHEL 1992, KUNZMANN 1992, GUTT & STARMANS im Druck), sind langsamwüchsig (CLARKE 1983, ARNTZ et al. 1994). Die Beobachtung, daß viele der Glasschwämme auf dem regelmäßig durch Eisberge gestörten östlichen Weddellmeerschelf mit maximalen Größen von etwa 60 cm wesentlich kleiner sind, als die gleichen Arten in den vor Eisbergen geschützten Bereichen des Rossmeers (DAYTON 1972), ist eventuell ein Hinweis auf ein noch nicht erreichtes Konkurrenzgleichgewicht innerhalb der Schwammgemeinschaften im Weddellmeer, was eine Erklärung für die hohe Diversität dieser Gemeinschaften sein könnte (CONNELL 1978).

Es scheint, als habe sich das komplexe benthische System in der Antarktis im Verlauf seiner langen evolutionären Entwicklung (ARNTZ et al. 1994) an natürliche Katastrophen

wie Eisbergstrandungen angepaßt. Eisbergstrandungen führen dabei zu einem Mosaik aus phasenversobenen Sukzessionszyklen am Meeresboden. REMMERT (1985, 1991) sieht in dem Konzept der desynchronen Zyklen als Mosaikbausteine von Ökosystemen „ein allgemeines Prinzip der Regelung in Ökosystemen und gleichzeitig ein Prinzip, welches sehr viel einfacher Schäden und Störungen korrigiert, als dies durch einfache Vernetzung der Funktionen unterschiedlicher Organismen möglich wäre – eben weil Katastrophen in das System von vornherein eingebaut sind“. Unter Berücksichtigung der langen Wachstums- und Regenerationszeiten kann das antarktische Benthos als ein System betrachtet werden, das nur langsam in der Lage ist, nach natürlichen Störungen in den ursprünglichen Zustand zurückzukehren. Aber gerade aufgrund der langsamen Wachstumsraten und der komplexen biologischen Wechselwirkungen ist davon auszugehen, daß vermehrte Eisbergstrandungen dazu führen, daß deren Folgen nicht mehr kompensiert werden können. Ein solches Szenario ist für eine anhaltende globale Erwärmung denkbar. Für das arktische Benthos, das sich anscheinend noch im Zustand der aktiven Kolonisation aus den angrenzenden borealen Gebieten befindet (KNOX & LOWRY 1977, DAYTON et al. 1994), würden die Folgen vermehrter Strandungen wahrscheinlich aufgrund der geringeren Artzahl, des größeren Umfangs der Populationen und der weniger komplexen biologischen Wechselbeziehungen nicht so deutlich ausfallen.

5. Artenvielfalt, Abundanzen und Diversitätsmuster im bipolaren Vergleich

5.1 Einleitung

Die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen dem arktischen und antarktischen Benthos sind seit langem Gegenstand der Diskussion, oft auch von Spekulationen (DUNBAR 1968, 1977, HEDGPETH 1971, GEORGE 1977, KNOX & LOWRY 1977, DAYTON et al. 1994). Auffällige Unterschiede bestehen demnach in der Faunenzusammensetzung, Besiedlungsdichten, Diversität (KNOX & LOWRY 1977) und der autökologischen Anpassung der Arten (GEORGE 1977). Erklärt werden diese ökologischen Unterschiede durch Unterschiede im Alter, Ursprung und in der Entwicklung der Fauna, dem Grad der zoogeographischen Isolation, der Klimageschichte und den großräumigen Strömungsmustern (HEMPEL 1985). Bei solch großräumigen Vergleichen, die überwiegend auf Literaturdaten beruhen, besteht allerdings die Gefahr, daß die Ergebnisse von Unterschieden in der räumlichen Skala und der eingesetzten Probennahmemethode beeinflusst sind. Vergleichende Studien auf der Grundlage von quantitativen Daten (PIEPENBURG et al. 1997) sind z. Zt. noch selten. In diesem Kapitel sollen daher die verschiedenen Untersuchungsgebiete in bezug auf Faunenzusammensetzung, Ernährungstypen, Artenvielfalt und Besiedlungsdichte direkt miteinander verglichen werden. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf dem Vergleich der Diversitätsmuster auf unterschiedlichen räumlichen Skalen.

Ein komplexes Wirkungsgefüge aus sowohl physikalischen Gradienten wie Sedimenttyp, Tiefe und Häufigkeit von Störungen, als auch biologischen Wechselbeziehungen wie Nahrungsangebot, Konkurrenz und Räuber-Beute-Verhältnisse beeinflussen grundsätzlich die Diversität in marinen Biotopen (GRAY 1984, HUSTON 1994). Die Beziehung zwischen diesen Prozessen und die der Probennahme zugrundeliegende räumliche Skala ist die Grundlage für die Unterscheidung zwischen der Diversität innerhalb eines Biotops und der Diversität zwischen benachbarten Lebensräumen (alpha- und beta-Diversität; WHITTAKER 1960, MACARTHUR 1965). Alpha-Diversität spiegelt die Koexistenz von verschiedenen Arten wider, die im gleichen Gebiet vorkommen, aber um die gleichen Ressourcen konkurrieren. Beta-Diversität hingegen spiegelt die Art und Weise wider, in der die Organismen auf wechselnde Umweltbedingungen reagieren (HUSTON 1994), bzw. wie wechselnde Umweltbedingungen das Vorkommen der Arten

beeinflussen. Dabei ist eine hohe beta-Diversität das Ergebnis einer geringen Ähnlichkeit der Artenzusammensetzung in den verschiedenen Lebensräumen.

Die Ergebnisse dieses Vergleichs erlauben eine Überprüfung der Hypothesen über die Unterschiede bezüglich der Diversität und Abundanzen zwischen dem arktischen und antarktischen Megabenthos.

5.2 Material und Methoden

Um die Untersuchungsgebiete miteinander zu vergleichen, wurde der Gesamtdatensatz auf jeweils zehn Stationen aus jedem der drei Gebiete reduziert. Um die Ausdehnung der beprobten Gebiete anzugleichen, fanden aus dem Material von ANT XI/3 nur die Stationen aus dem Bellingshausenmeer Berücksichtigung, während aus dem Weddellmeer (ANT VI/3) nur Stationen nördlich 76°S (Halley Bay) und östlich 30°W in die Analyse eingingen.

Pro Station wurde zufällig eine zusammenhängende Fläche von 100 m² ausgewählt, um die Vergleichbarkeit der einzelnen Stationen untereinander zu gewährleisten. Stationen, deren analysierte Gesamtfläche weniger als 100 m² betrug (Tab. A.1, A.2 und A.3), gingen nicht in die Analyse ein.

Da es in den antarktischen Untersuchungsgebieten keine Stationen mit Wassertiefen <140 m gab, wurden die Stationen vor Nordostgrönland in zwei Tiefenklassen, <140 m und 141-380 m, mit jeweils zehn Stationen unterteilt, von denen nur die tieferen Stationen direkt mit den beiden antarktischen Untersuchungsgebieten verglichen wurden.

In der Analyse wurden nur Taxa berücksichtigt, die auch in die Diversitätsberechnungen innerhalb der Artenassoziationen eingingen (Kap. 3.2.1). Für die Berechnung der Diversität der einzelnen Stationen wurde der Diversitätsindex nach HURLBERT (1971) verwendet (Kap. 3.2.1). Dabei wurde unter Berücksichtigung der gefundenen absoluten Abundanzen die Größe der Unterprobe auf 70 Individuen festgelegt.

Die Stationsgruppen wurden hinsichtlich der Taxazahl, Besiedlungsdichte und Diversität mittels des von SACHS (1984) vorgeschlagenen Rangtests nach Nemenyi miteinander verglichen und auf mögliche Unterschiede geprüft. Dabei werden den Beobachtungswerten der vereinigten Stichproben Rangzahlen zugeordnet. Gleich großen Werten werden mittlere Ränge zugeteilt. Die Ränge der einzelnen Stationsgruppen werden dann addiert. Bildet man alle möglichen absoluten Differenzen dieser Summen, dann lassen sich diese anhand eines kritischen Tabellenwertes *D* auf signifikante Unterschiede prüfen.

Die alpha-Diversität der einzelnen Biotope (Stationen) wird allgemein als Funktion von Artenzahl und Äquität beschrieben (Kap. 3.2.1). Die (beta-) Diversität zwischen benachbarten Lebensräumen ist dagegen schwieriger zu quantifizieren, da Artenzahl und Äquität aller zu vergleichenden Biotope miteinander in Beziehung gesetzt werden müssen. Für die Berechnung der beta-Diversität wurden die Abundanzen der auf den einzelnen

Stationen der jeweiligen Untersuchungsgebiete vorkommenden Taxa in zehn zufälligen Permutationen (Reihenfolgen) stationsweise kumulativ aufsummiert. Dabei wurden innerhalb jeder Permutation der Shannon-Wiener-Index und die Taxazahl für jeweils die erste Station, für die Summe der ersten zwei, die Summe der ersten drei, bis hin zu der Summe aller Stationen berechnet und der Mittelwert für alle zehn Permutationen ermittelt. Die beiden Diversitätsindices nach SHANNON und WEAVER (1949) und HURLBERT (1971) sind signifikant korreliert (Spearman-Rang-Korrelation: $\rho = 0,927$, $p = 0,0054$ (Weddellmeer); $\rho = 0,851$, $p = 0,0107$ (Bellingshausenmeer); $\rho = 0,964$, $p = 0,0038$ (Nordostgrönland >140 m)). Aus diesem Grund wurden die Berechnungen der beta-Diversitätsmuster nur mit einem, dem Shannon-Index, durchgeführt.

Da Diversität sowohl Artenreichtum ("richness") als auch Äquität ("evenness") mißt, müssen bei der Interpretation der Ergebnisse beide Aspekte berücksichtigt werden. Gruppen von Stationen, die sich aufgrund des Artinventars und/oder infolge deutlich unterschiedlicher Abundanzen der vorkommenden Arten unterscheiden, zeigen im Verlauf der kumulativen Summierung einen Anstieg des Shannon-Wiener-Indexes. Hingegen zeigen Stationsgruppen, die sich bezüglich der vorkommenden Arten *und* deren Abundanzen nur wenig unterscheiden, keinen oder nur einen leichten Anstieg des Diversitätsindexes.

Das hier vorgeschlagene Verfahren zur Ermittlung der beta-Diversität ist eine explorative Methode. Die Darstellung in Kurvenform bietet aber die Möglichkeit eines schnellen ersten Einblicks in komplexe ökologische Zusammenhänge. Die Kurven können nicht mittels einer Regressionsanalyse miteinander verglichen werden, da die einzelnen Datenpunkte nicht unabhängig voneinander sind.

5.3 Ergebnisse

Höhere Taxa und Ernährungstypen

Schwämme (Porifera), Blumentiere (Anthozoa, hauptsächlich Octocorallia), Moostiere (Bryozoa), Seescheiden (Ascidiacea) und Stachelhäuter (Echinodermata) bilden den Großteil der analysierten Taxa in der Antarktis. In dem arktischen Untersuchungsgebiet gehören neben den Echinodermen, Schwämmen und Anthozoen die Borstenwürmer (Polychaeta) zu den wichtigen taxonomischen Gruppen. Bryozoen und Ascidien dagegen kamen hier nur in geringen Anteilen vor.

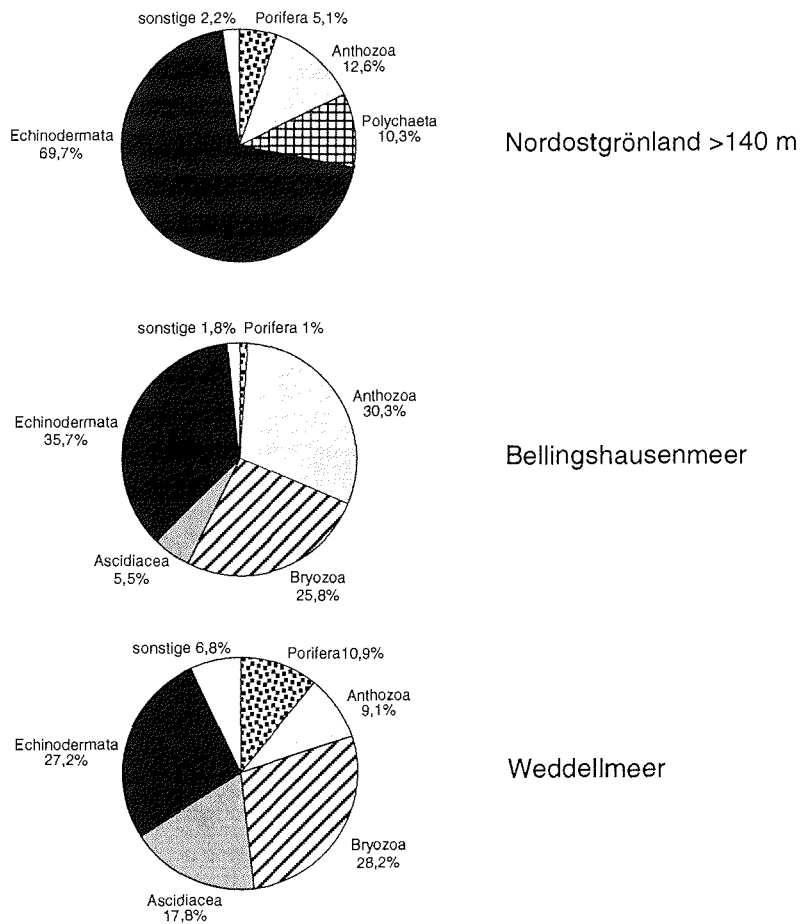


Abb. 5.1 Relative Anteile (%) der höheren Taxa auf den Stationen der drei Untersuchungsgebiete.

Im Weddellmeer sind die Individuen recht gleichmäßig auf die unterschiedlichen höheren Taxa verteilt (Abb. 5.1), wobei die Bryozoen und Echinodermen die stärksten Gruppen bilden. Im Vergleich dazu dominieren im Bellingshausenmeer die Anthozoen, Bryozoen und Echinodermen, während Schwämme und Ascidien einen vergleichsweise geringen Anteil an der Gesamtindividuenzahl haben. Auffällig sind auch die Unterschiede in der Zusammensetzung innerhalb der verschiedenen Gruppen. So stellen im Weddellmeer die Crinoiden die meisten Individuen in der Gruppe Echinodermata, während im Bellingshausenmeer der reguläre Seeigel *Sterechinus* spp. das dominanteste Taxon in dieser Gruppe ist. Auf den tiefen Stationen vor Nordostgrönland dominieren eindeutig Stachelhäuter. Die 11 Echinodermenarten, angeführt von den Ophiuroiden *Ophiacantha bidentata* und *Ophiocten sericeum*, machen hier annähernd 70 % der Individuen aus.

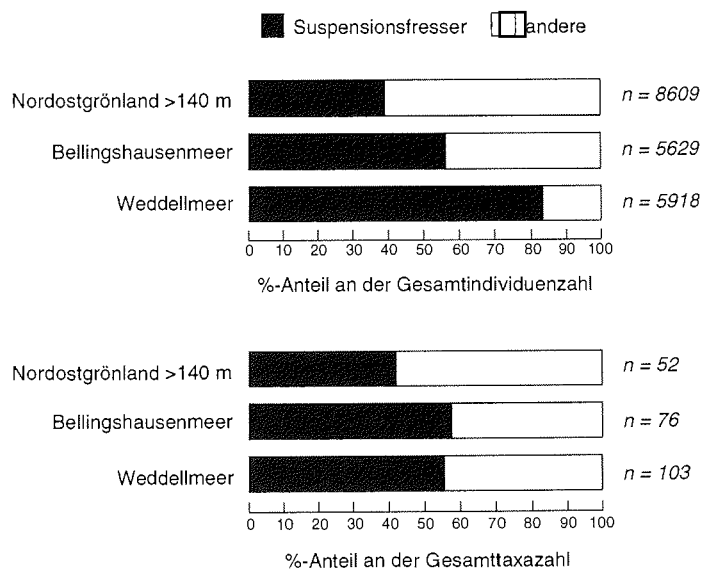


Abb. 5.2 Relative Anteile (%) der Suspensionsfresser auf den Stationen der drei Untersuchungsgebiete.

Um die trophischen Strukturen in den Untersuchungsgebieten zu verdeutlichen, wurden die analysierten Taxa in zwei Gruppen eingeteilt: "Suspensionsfresser" und "andere". Eine Einteilung in weitere trophische Kategorien wie z. B. Sedimentfresser, Räuber oder Aasfresser war nicht möglich, da zum einen für etliche Taxa die Ernährungsweise nicht bekannt ist und zum anderen einige Taxa als unselektive Omnivore in ihrer Ernährungsweise sehr flexibel sind. Suspensionsfresser nutzen die im bodennahen Wasser driftenden organischen Partikel und werden zuweilen auch als "particle feeders"

bezeichnet (CLARKE 1983). Zur Kategorie "andere" gehören überwiegend Taxa, die sich vom organischen Material nach dessen endgültiger Ablagerung am Meeresboden ernähren (deposit feeders) sowie Räuber und Aasfresser.

Auf den Stationen des Weddellmeers (Abb. 5.2) stellen die Suspensionsfresser den größten Anteil (84 %) an der Gesamtindividuenzahl, obwohl das Verhältnis zwischen "Suspensionsfressern" und "anderen" bezüglich des Anteils an der Gesamttaxazahl annähernd gleich ist. Der Grund liegt in den teilweise hohen Besiedlungsdichten der Bryozoenart *Melicerita obliqua* und Crinoiden. Ausgeglichene Verhältnisse hinsichtlich der Individuen- und der Taxaanteile fanden sich für die Stationen des Bellingshausenmeers. Der Anteil der Suspensionsfresser an der Gesamtindividuenzahl und Taxazahl ist auf den tieferen Stationen vor Nordostgrönland mit 39 % bzw. 42 % etwas geringer als der Anteil der Gruppe "andere". Hierbei ist anzumerken, daß die Ophiuroidenart *Ophiacantha bidentata* als fakultativer Filtrierer gilt, deren Nahrung sich aber zum größten Teil aus suspendierten Partikeln besteht (PEARSON & GAGE 1984). *O. bidentata* wurde deshalb der Kategorie "Suspensionsfresser" zugeordnet.

Artenvielfalt, Abundanzen und Diversitäten

Die Anzahl der Taxa, Abundanzen und Diversitäten nach HURLBERT (1971) der jeweils zehn Stationen aus den drei Untersuchungsgebieten sind in Abb. 5.3 in Form von "Box- und-Whisker-plots" zusammengefaßt. Die fünf horizontalen Linien bezeichnen das 10te, 25te, 50te, 75te und 90te Perzentil der Variablen. Alle Werte über dem 90ten und unter dem 10ten Perzentil werden einzeln dargestellt.

Die höchsten Werte von bis zu 40 verschiedenen Taxa pro Station erreichten die Stationen des Weddellmeers. Allerdings war in dieser Gruppe die Spannweite der Werte am größten. So kamen auf Station 314 nur 18 Taxa vor, während sich auf Station 387 die oben erwähnten 40 Taxa fanden. Deutlich niedrigere Werte von 15 bis 22 Taxa pro Station wurden für die tiefen (>140 m) Schelfbereiche vor Nordostgrönland ermittelt. Mittlere Taxazahlen von 15 bis 27 Taxa charakterisieren die Stationen des Bellingshausenmeers. Die größten Streuungen der Werte fanden sich bei der Analyse der Besiedlungsdichten. So variierten die Häufigkeiten für die Stationen vor Nordostgrönland von 72 Individuen pro 100 m² auf Station 30 bis zu 3.190/100 m² auf Station 155. Ähnliches gilt für das Bellingshausenmeer, wo die Spannweite der Abundanzwerte zwischen 99 und 2.050/100 m² lag. Betrachtet man aber die Gesamtheit der Werte, so sind die drei Untersuchungsgebiete hinsichtlich der Besiedlungsdichten durchaus

vergleichbar. Die Ergebnisse zur Berechnung der Diversitäten, ausgedrückt durch die zu erwartende Taxazahl in einer Unterprobe von 70 Individuen (Rarefaction-Methode), zeigen ein ähnliches Bild wie die Ergebnisse für die Taxazahlen. Auch hier errechneten sich die höchsten Werte für die Stationen des Weddellmeers. Die jeweils niedrigsten Werte sind in allen drei Stationsgruppen vergleichbar.

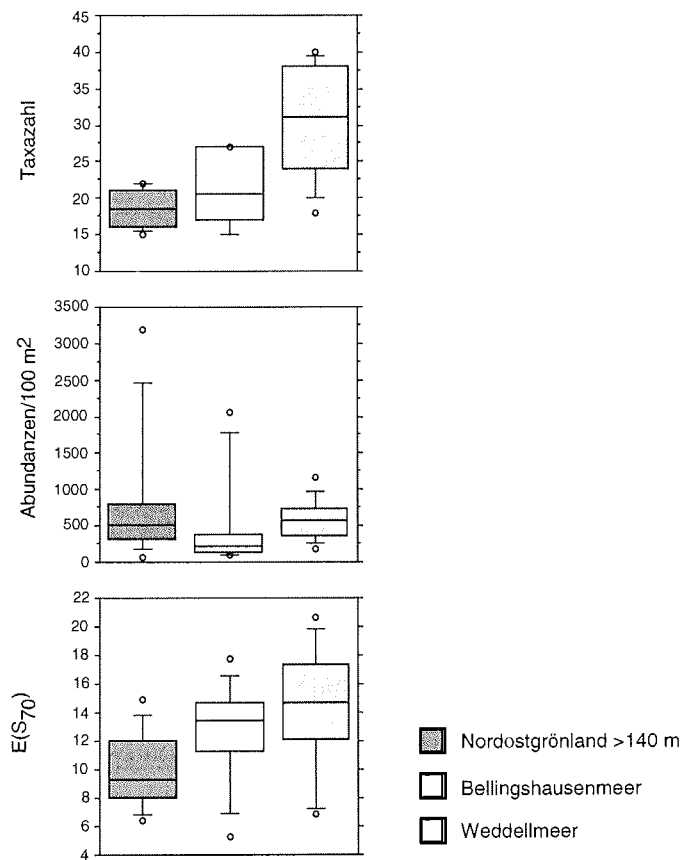


Abb. 5.3 Taxazahl, Besiedlungsdichte und Diversität $E(S_n)$ nach HURLBERT (1971) der je zehn Stationen aus den drei Untersuchungsgebieten.

Die Ergebnisse des Rangtests nach Nemenyi sind in drei Matrizen in Tab. 5.1 dargestellt. Nur der Vergleich der Taxazahlen zwischen den Stationen des Weddellmeers und des tiefen Schelfs vor Nordostgrönland ergab einen signifikanten Unterschied. Bei allen anderen möglichen Kombinationen waren die Unterschiede nicht signifikant.

Tab. 5.1 Rangtest nach Nemenyi auf signifikante Unterschiede der Taxazahl, Abundanz ($n/100 \text{ m}^2$) und Diversität $E(S_n)$ nach HURLBERT (1971). Nicht signifikante Unterschiede auf dem 95%igen Signifikanzniveau sind mit – gekennzeichnet.

Taxazahl	Weddellmeer	Bellingshausenmeer
Bellingshausenmeer Nordostgrönland >140 m	– signifikant	–

Abundanz/100 m ²	Weddellmeer	Bellingshausenmeer
Bellingshausenmeer Nordostgrönland >140 m	–	–

Diversität (E(S ₇₀))	Weddellmeer	Bellingshausenmeer
Bellingshausenmeer Nordostgrönland >140 m	–	–

beta-Diversitätsmuster

Die Abbildungen 5.4a und 5.4b zeigen die Ergebnisse der Berechnungen der Diversität (Shannon-Wiener-Index) und der Taxazahl im Verlauf der kumulativen Summierung für die jeweils zehn Stationen aus dem Weddell- und Bellingshausenmeer und den tiefen (>140 m) Schelf vor Nordostgrönland. Alle Diversitätskurven starten mit vergleichbaren Mittelwerten von 1,85 (Nordostgrönland >140 m), 1,77 (Weddellmeer) und 1,83 (Bellingshausenmeer) für den Shannon-Wiener-Index der einzelnen Stationen (alpha-Diversität). Die Kurve der Stationen des Weddellmeers steigt im weiteren Verlauf deutlich an und nähert sich ab den Summen aus sieben Stationen asymptotisch dem Endwert von 2,70 für die Summen aller zehn Stationen. Dies deutet auf eine hohe beta-Diversität zwischen den Stationen des Weddellmeers hin. Die Diversitätskurven der Stationen vor Nordostgrönland und aus dem Bellingshausenmeer zeigen dagegen einen uneinheitlichen Verlauf mit einem nur leichten Anstieg der Werte für den Shannon-Index. Die Endwerte liegen mit 2,25 (Bellingshausenmeer) und 2,37 (Nordostgrönland >140 m) deutlich unter dem Wert der Stationen des Weddellmeers. Aus dem Verlauf der beiden Kurven läßt sich eine geringere beta-Diversität als im Weddellmeer ableiten. Der Wert für die mittleren Taxazahlen der einzelnen Stationen im Weddellmeer ist mit 30,7 höher als die mittleren Werte der Stationen aus dem Bellingshausenmeer (21,9) und vor Nordostgrönland (17,8). Die Gesamttaxazahl der zehn Stationen im Weddellmeer ist mit 103 Taxa doppelt so hoch wie auf den Stationen vor Nordostgrönland (52) und noch deutlich höher als im Bellingshausenmeer, wo auf den zehn Stationen insgesamt 76 Taxa vorkamen.

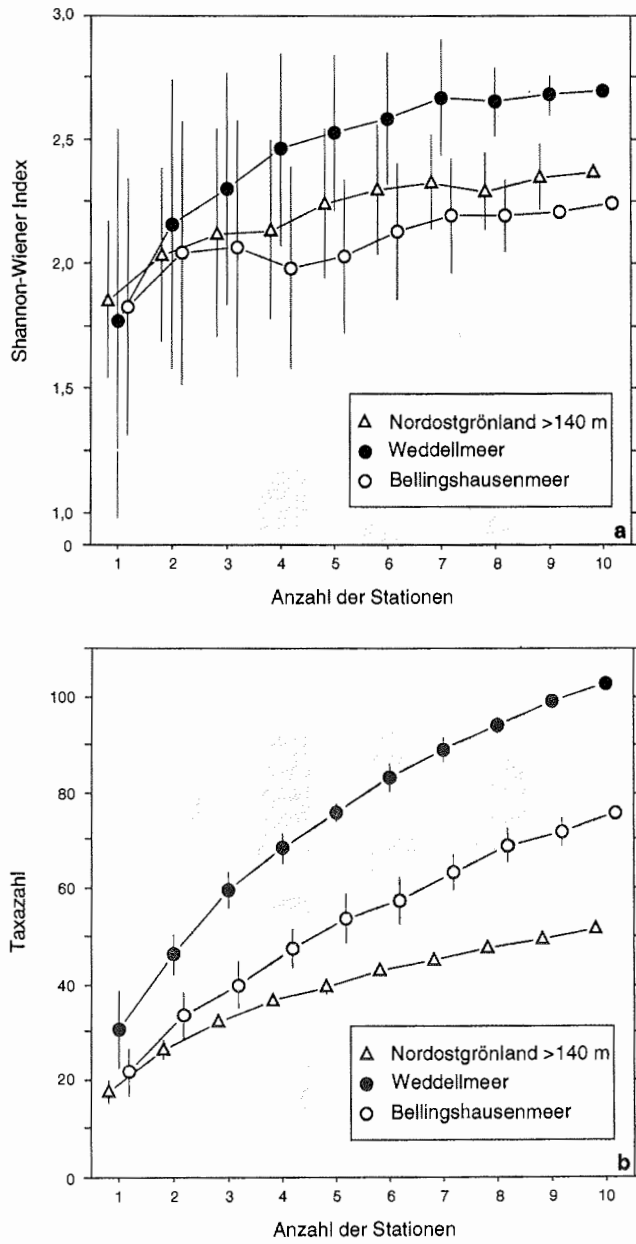


Abb. 5.4a und b Diversität (H') nach SHANNON & WEAVER (1949) und Taxazahl im Verlauf der kumulativen Summierung für die jeweils zehn Stationen aus den drei Untersuchungsgebieten. Angegeben ist jeweils der Mittelwert der zehn Permutationen. Die Balken zeigen die Standardabweichung (SD).

Die Ergebnisse der Berechnungen der Diversitätsmuster und der Taxazahl für die Stationen vor Nordostgrönland flacher als 140 m, die nicht im direkten Vergleich mit den beiden antarktischen Untersuchungsgebieten berücksichtigt wurden (Kap. 5.2), sind in den Abbildungen 5.5a und 5.5b dargestellt. In diesen Abbildungen sind die Kurven der tieferen Stationen (>140 m) nochmals aufgetragen, um die zwei Tiefenklassen miteinander zu vergleichen.

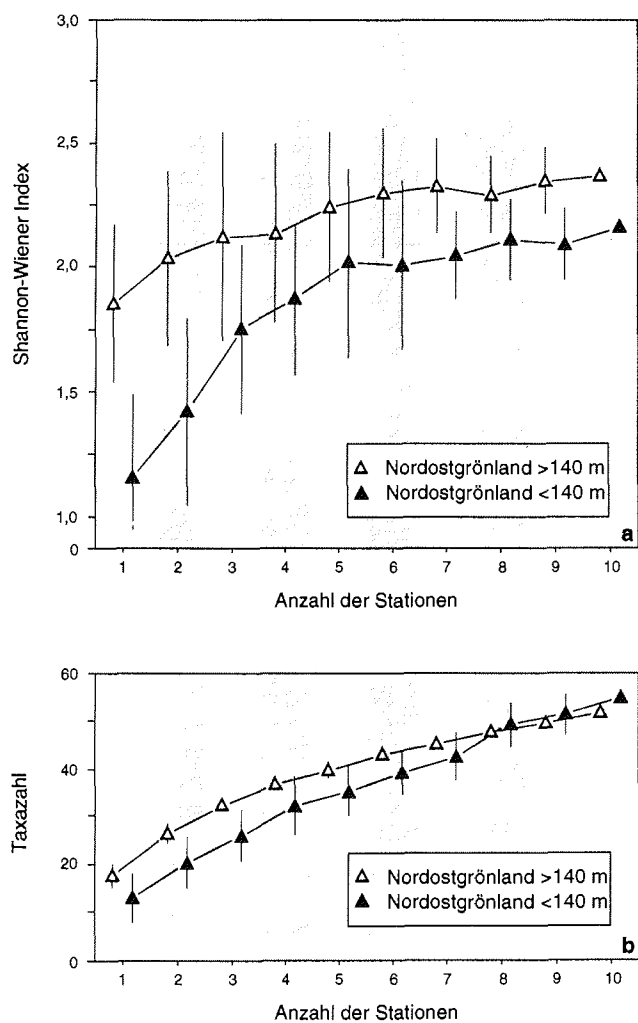


Abb. 5.5a und b Diversität (H') nach SHANNON & WEAVER (1949) und Taxazahl im Verlauf der kumulativen Summierung für die jeweils zehn Stationen der beiden Tiefenklassen vor Nordostgrönland. Angegeben ist jeweils der Mittelwert der zehn Permutationen. Die Balken zeigen die Standardabweichung (SD).

Die Diversitätskurve der Stationen flacher als 140 m startet mit einem Mittelwert von 1,16 für den Shannon-Wiener-Index der einzelnen Stationen (alpha-Diversität). Im weiteren Verlauf zeigt die Kurve einen deutlichen Anstieg und nähert sich ab der Summe aus fünf Stationen asymptotisch dem Endwert für die Summe aller zehn Stationen von 2,16. Damit liegt der mittlere Wert für die alpha-Diversität deutlich niedriger als für die tieferen Stationen (1,85), während der Unterschied der Endwerte nicht so deutlich ausfällt (2,16 bzw. 2,37). Der deutliche Anstieg und die geringe alpha-Diversität deuten auf eine hohe beta-Diversität zwischen den flachen Stationen hin. Die Werte der mittleren Taxazahlen der einzelnen Stationen <140 m liegen mit 12,8 unter den mittleren Werten der Stationen >140 m (17,8). Allerdings ist die Gesamttaxazahl aller zehn flachen Stationen mit insgesamt 55 Taxa höher als auf den Stationen >140 m, auf denen insgesamt 52 Taxa vorkamen.

5.4 Diskussion

Bei großräumigen Vergleichen von Besiedlungsstrukturen verschiedener Lebensräume tritt grundsätzlich eine Vielzahl von Schwierigkeiten auf. So können die Ergebnisse von Unterschieden in der Probennahme, der räumlichen Skala, der Tiefenverteilung und Fläche der beprobten Stationen beeinflusst werden. Aufgrund der im Kapitel 5.2 beschriebenen Reduktion der Gesamtdatensätze lassen die im folgenden diskutierten Ergebnisse einen direkten Vergleich zu.

Höhere Taxa und Ernährungstypen

Die Zusammensetzung der höheren Taxa zeigt eindrucksvoll die Dominanz der Echinodermen auf dem tieferen Schelf vor Nordostgrönland. Dies ist insbesondere auf die sehr hohen Anzahlen der Schlangensterne *Ophiocten sericeum* und *Ophiacantha bidenta* zurückzuführen. Der relativ hohe Anteil der Suspensionsfresser an der Gesamttaxazahl zeigt, daß auf dem tieferen Schelf nicht grundsätzlich schlechte Bedingungen für Suspensionsfresser herrschen. Die beiden antarktischen Untersuchungsgebiete zeigen keine so deutliche Dominanz einer einzelnen Gruppe. Während sich im Weddellmeer die Individuen recht gleichmäßig auf die einzelnen höheren Taxa verteilen, sind im Bellingshausenmeer Anthozoen, Bryozoen und Echinodermen am häufigsten vertreten.

Ein auffälliger Unterschied zwischen den beiden Regionen ergibt sich beim Vergleich der relativen Anteile der Suspensionsfresser an der Gesamtindividuen- und Gesamttaxazahl. Während im Bellingshausenmeer die Individuen- und Taxaanteile zwischen Filterern und "anderen" ausgeglichen sind, haben die Suspensionsfresser im Weddellmeer den weitaus größeren Individuenanteil, ihr Anteil an der Gesamttaxazahl ist aber deutlich geringer und liegt unter dem Taxaanteil des Bellingshausenmeers. Dichte, individuenreiche Schwammgesellschaften gehören auf dem östlichen Weddellmeerschelf zu den typischen Lebensgemeinschaften (vgl. Kap. 3.4.2). Da aber mit den zahlreichen Schwämmen viele andere Benthosorganismen vergesellschaftet sind (DAYTON et al. 1974, WÄGELE 1988, KUNZMANN 1992, SCHICKAN 1996, BARTHEL 1997, GUTT & STARMANS im Druck), die jedoch im Vergleich zu den Schwämmen in geringeren Dichten vorkommen, ergibt sich bezüglich der relativen Anteile der beiden Ernährungstypen an der Gesamttaxazahl ein relativ ausgeglichenes Verhältnis. Auf dem Schelf vor Nordostgrönland fehlen vergleichbar komplexe Schwammgesellschaften. Der dennoch relativ hohe Individuenanteil der Suspensionsfresser ist auf die hohen Besiedlungsdichten des fakultativ-suspensionsfressenden Schlangensterne *O. bidenta* zurückzuführen.

Artenvielfalt, Abundanzen und Diversitäten

Im antarktischen Untersuchungsgebiet finden sich im Vergleich mit dem nordostgrönländischen Schelf z. T. signifikant höhere Taxazahlen, sowohl für die Gesamtheit der Stationen (Abb. 5.4b) als auch stationsweise (Abb. 5.3). Dies macht deutlich, daß der Artenreichtum in den antarktischen Schelfgebieten nicht nur großräumig, sondern überwiegend auch kleinräumig größer ist als vor Nordostgrönland. Dieses Ergebnis bestätigt die allgemein anerkannte Hypothese des größeren Artenreichtums des antarktischen Benthos. Grundlage dieser Hypothese ist der Vergleich der Artenzahl verschiedener Taxa. Das antarktische Benthos ist je nach betrachteter systematischer Gruppe zwischen 50 % und 100 % reicher an Arten (KNOX & LOWRY 1977, WHITE 1984). Viele dieser antarktischen Taxa sind endemisch. Auf dem Artniveau beträgt der endemische Anteil in den verschiedenen höheren taxonomischen Gruppen zwischen 57 % und 95 % (DAYTON 1990). Das arktische Benthos zeigt aufgrund der Dominanz boreal-arktischer Arten einen deutlich geringeren Grad an Endemismen (GEORGE 1977). Diese auffälligen Unterschiede werden auf das weit höhere Alter der Antarktis als Kaltwasserlebensraum und die längere Isolation ihrer Fauna zurückgeführt (Kap. 5.1). Die höchste Gesamttaxazahl findet sich auf den Stationen des Weddellmeers; allerdings unterscheiden sich die Taxazahlen pro Station z. T. erheblich voneinander. Erklärt werden diese Ergebnisse durch den Umstand, daß auf dem Weddellmeerschelf sowohl Schwammgemeinschaften als auch von erranten Sedimentfressern dominierte Weichbodengemeinschaften vorkommen, die sich wesentlich in ihrem Taxainventar unterscheiden. Die hohe Gesamttaxazahl im Weddellmeer ist somit zumindest teilweise das Ergebnis der hohen "abiotischen" Diversität dieses Schelfgebietes. Im Bellingshausenmeer, mit vermutlich großräumig relativ einheitlichen Umweltbedingungen, ist die Gesamttaxazahl niedriger (Abb. 5.4b). Dennoch liegt die Gesamttaxazahl und auch die Taxazahl pro Station im Bellingshausenmeer über den Werten für den nordostgrönländischen Schelf.

Das Ergebnis, daß hinsichtlich der Abundanzen kein signifikanter Unterschied zwischen den arktischen und antarktischen Untersuchungsgebieten besteht, steht im Widerspruch zu der Beobachtung, daß die Besiedlungsdichten in der Antarktis als um eine Größenordnung größer als in der Arktis beschrieben werden (DUNBAR 1977, DAYTON 1990, GREBMEIER & BARRY 1991). Diese Angaben beziehen sich jedoch auf das Makrobenthos (>1 mm) der Epi- und Infauna, wobei größere Formen bedingt durch die Sammelmethode nicht angemessen erfaßt wurden. Einen großen Anteil an den hohen Abundanzen des Megabenthos auf dem Schelf vor Nordostgrönland haben die Ophiuroiden, die mehr als 50 % der Gesamtindividuen ausmachen. In der Antarktis sind

die vorkommenden Ophiuroiden in der Mehrzahl wesentlich kleiner. Im Gebiet vor Kapp Norvegia erreichen nur etwa 9 % aller Ophiuroiden einen Scheibendurchmesser von mehr als 4 mm (DAHM 1995). Diese Größenverteilung macht deutlich, daß bei der Analyse der Videoaufnahmen (Megafauna) weit mehr als 90 % der Ophiuroiden nicht erfaßt wurden. Allerdings beträgt der Anteil aller Ophiuroiden an der Gesamtbioasse auf dem östlichen Schelf nur etwa 17-21 % (DAHM 1995), während im Vergleich dazu die Schwämme etwa 47 % der Gesamtbioasse ausmachen (GERDES et al. 1992). In vergleichbaren Tiefen auf dem Schelf vor Nordostgrönland liegt der Gewichtsanteil der Ophiuroiden zwischen 45 % und mehr als 95 % (PIEPENBURG & SCHMID 1996a). Diese Gegenüberstellung zeigt, daß in der vorliegenden Analyse in beiden polaren Regionen die, bezüglich der Biomasse, bedeutendsten Taxa erfaßt wurden. Dabei ist die Gesamtbioasse in der Antarktis im allgemeinen deutlich höher als in der Arktis (GEORGE 1977, KNOX & LOWRY 1977). So ermittelten z. B. PIEPENBURG und SCHMID (1996a) für das Makrozoobenthos im Bereich der Belgica-Bank vor Nordostgrönland in Tiefen von 100-580 m anhand von Agassiz-Trawl-Fängen und Unterwasserfotos ein aschefreies Trockengewicht (AFTG) von 0,1-1,7 g AFTG m⁻². Bei einem mittleren Anteil des aschefreien Trockengewichts am Feuchtgewicht von etwa 10 % (PIEPENBURG, pers. Mitt.) ergibt sich ein Feuchtgewicht von 1,0-17,0 g m⁻². Im Vergleich dazu ermittelten GERDES et al. (1992) in Mehrfachkastengreifer-Proben aus der östlichen Schelfregion des Weddellmeers ein Feuchtgewicht von 0,12-1.672,97 g m⁻².

Bei der Beurteilung der Diversität von verschiedenen Lebensgemeinschaften wird oft allein die Artenzahl (= Artenvielfalt) berücksichtigt, während der zweite Aspekt der Diversität, die Verteilung der Individuen auf die verschiedenen Arten (Äquität) oder das Dominanzmuster, selten beachtet wird. Dieser Umstand verdeutlicht die unklare Definition und Auslegung des Konzepts "Diversität" (HURLBERT 1971). Um die Diversität möglichst umfassend zu charakterisieren, ist es nötig, beide Aspekte in die Beurteilung einzubeziehen. Der konkret ermittelte Wert ist aber in starkem Maße abhängig von Skala der beprobten Fläche und methodischen Faktoren, wie z. B. Probennahme und Bestimmungsniveau (SANDERS 1968, HURLBERT 1971), so daß direkte Vergleiche einzelner Diversitätswerte und Artzahlen grundsätzlich schwer fallen. Bei der Auswahl des Datensatzes für den direkten Vergleich der polaren Untersuchungsgebiete wurde der methodische Fehler minimiert (Kap. 5.2), dennoch müssen die Ergebnisse eher als Tendenz oder Trend betrachtet werden.

Die zum größten Teil höheren Diversitätswerte der Stationen aus den antarktischen Untersuchungsgebieten unterstützen die Auffassung, daß das Benthos der Antarktis allgemein diverser ist als die benthischen Lebensgemeinschaften der arktischen

Schelfregionen (GEORGE 1977, KNOX & LOWRY 1977, WHITE 1984, PICKEN 1985). Allerdings ist der Unterschied nicht signifikant. Eine hohe Diversität ist nämlich kein grundsätzliches Merkmal der antarktischen Megabenthosgemeinschaften (ARNTZ et al. im Druck). Auffällige Unterschiede bestehen zwischen den artenreichen, von Suspensionsfressern dominierten Gemeinschaften des tieferen Schelfs und den z. T. extrem artenarmen Gemeinschaften im Flachwasser (ARNTZ et al. im Druck). Meine Ergebnisse zeigen, daß es auch auf dem tieferen antarktischen Schelf Artenassoziationen gibt, die von einem oder einigen wenigen Taxa in hohem Maß dominiert werden und somit eine geringe Diversität aufweisen. Gemeinschaften mit einem solchen Dominanzmuster, die auch als "oligomixed" (*sensu* GEORGE 1977) bezeichnet werden, gelten gemeinhin als typisch für arktische Bodentiergemeinschaften (GEORGE 1977). Bei den antarktischen Stationen mit einem hohen Dominanzgrad handelt es sich aber nicht um die individuenärmeren Weichbodengemeinschaften, vielmehr erweisen sich besonders jene Weddellmeer-Stationen als weniger divers, die im Kapitel 3.4.2 aufgrund ihres Taxainventars als "ausgedünnte" Suspensionsfressergemeinschaften beschrieben wurden.

beta-Diversitätsmuster

Beta-Diversität ist im wesentlichen ein Maß dafür, wie unterschiedlich bzw. wie ähnlich verschiedene Proben in bezug auf die vorkommenden Arten und deren Abundanzen sind (MAGURRAN 1988). Der Begriff beta-Diversität wurde von WHITTAKER (1960) eingeführt, der auch einen Index zu dessen Berechnung vorstellte. Spätere, von WILSON und SHMIDA (1984) an Beispieldatensätzen mit verschiedenen Indices durchgeführte Berechnungen zeigten, daß die mit Whittakers Index ermittelten Ergebnisse die wirklichen Verhältnisse am besten widerspiegeln. Allerdings gehen in alle Indices nur Präsenz/Absenz-Daten ein. Die engere Auslegung des Konzepts "Diversität" verlangt aber, daß neben der Artzahl auch die Abundanzverteilung oder "evenness" bei der Beurteilung der Diversität beachtet werden muß (s. o.). Aus diesem Grund habe ich die Berechnungen zur beta-Diversität anhand des Shannon-Indexes durchgeführt, der gleichzeitig sowohl den Artenreichtum als auch die Verteilung der Individuen auf die Arten berücksichtigt (vergl. Kap. 3.2.1 und 5.2).

Die Berechnung zeigt, daß zwischen den Stationen des Weddellmeers eine höhere beta-Diversität zu beobachten ist als zwischen den Stationen der anderen beiden Untersuchungsgebiete. Eine Erklärungsmöglichkeit ist die schon bei der Diskussion der Ergebnisse zur Taxazahl erwähnten Heterogenität des südöstlichen Weddellmeerschelfs. Zum einen finden sich auf unsortierten Sedimenten von Suspensionsfressern dominierte Gemeinschaften, zum anderen existieren in Gebieten mit wesentlich andern

Umweltbedingungen typische Weichbodenfaunen. Die Besiedlungsstrukturen spiegeln dabei Umweltgradienten wider, entlang derer sich die verschiedenen Arten entsprechend ihrer ökologischen Ansprüche verteilen. Im Weddellmeer ist dieser Gradient, der sich wahrscheinlich überwiegend auf die Nahrungsversorgung des Benthos zurückführen läßt, sehr groß. Entsprechend hoch ist die Diversität zwischen den einzelnen Lebensräumen und die Gesamtdiversität der Summen aller zehn Stationen. Im Bellingshausenmeer und auf dem tiefen Schelf vor Nordostgrönland sind die Unterschiede weniger ausgeprägt. Hier herrschen vermutlich insgesamt gleichförmige Umweltbedingungen, die zu einer geringeren beta-Diversität führen. Da die Kurven der Taxazahlen in beiden Untersuchungsgebieten einen deutlichen Anstieg im Verlauf der Summation zeigen, ist die geringe beta-Diversität zwischen den einzelnen Stationen vermutlich in erster Linie auf das gemeinsame Vorkommen der gleichen dominanten Taxa zurückzuführen und nicht so sehr auf das identische Taxainventar. Dies bedeutet, daß hinsichtlich der dominanten Faunenelemente aufgrund der großräumig relativ gleichbleibenden Umweltbedingungen kaum Unterschiede bestehen, während die Zusammensetzung seltener Taxa wahrscheinlich von kleinskaligen Faktoren beeinflusst wird. In diesem Zusammenhang denkbar sind z. B. Unterschiede im Vorkommen von großen Steinen oder Felsen, die zu einer kleinräumigen Gliederung der Lebensraumes führen und von epibenthischen Hartbodenbewohnern und inkrustierenden Arten besiedelt werden. Fehlen diese Biotope, so fehlt auch die mit ihnen assoziierte Fauna.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden die flachen Stationen vor Nordostgrönland beim direkten Vergleich mit den antarktischen Untersuchungsgebieten nicht berücksichtigt (Kap. 5.3). Sie zeigen aber ein interessantes Diversitätsmuster, das sich sehr deutlich von dem der tieferen Stationen unterscheidet. Auffällig ist die geringe mittlere alpha-Diversität, die hohe beta-Diversität zwischen den einzelnen Stationen und der deutliche Anstieg der Taxazahlen. Erklärt werden kann dieses Muster durch die wesentlich fleckenhafte Verteilung der Artenassoziationen, von denen jede von unterschiedlichen Taxa dominiert wird (vgl. Kap. 3.4.1). Ähnlich fleckenhafte Verteilungsmuster finden sich im antarktischen Flachwasser. Videobeobachtungen einer spanischen Arbeitsgruppe im Bereich der antarktischen Halbinsel (RAMOS MARTOS, pers. Mitt.) und italienischer Kollegen im Rossmeer (DI GERONIMO, CATTANEO-VIETTI, pers. Mitt.) zeigen auch hier deutliche Unterschiede in Faunenzusammensetzung und Dominanzmuster benachbarter Stationen. Zu den dominanten Taxa gehören im Rossmeer u. a. die Pilgermuschel *Adamussium colbecki* (Bivalvia) und *Sterechinus* spp. (Echinoidea), während vor Livingston-, Trinity- und Deception Island (Antarktische Halbinsel) verschiedene solitäre und koloniebildene Ascidien dominierten.

Mögliche Ursachen für diese fleckenhaften Besiedlungsstrukturen und die ausgeprägten Dominanzmuster in den flachen Bereichen sind physikalische Störungen durch strandende Eisberge (vgl. Kap. 4.4), wühlende Großsäuger (Arktis, vgl. Kap. 3.4.1), Temperaturschwankungen, Schmelz- bzw. Gefrierprozesse und damit verbundene Schwankungen des Salzgehalts. Unter dieser Annahme läßt sich schlußfolgern, daß sowohl ausgeprägte Umweltgradienten, wie z. B. im Weddellmeer, als auch lokal begrenzte und nicht vorhersehbare Störungen zu einer hohen Diversität zwischen benachbarten Lebensräumen führen.

6. Abschließende Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurden vergleichende Untersuchungen zwischen den beiden Polargebieten durchgeführt. Im Mittelpunkt standen die Besiedlungsstrukturen des Megabenthos und die darauf wirkenden typisch polaren Umweltbedingungen. Anhand meiner Ergebnisse, die in Tab. 6.1 nochmals zusammengefaßt dargestellt sind, soll abschließend die Frage diskutiert werden, welche biologischen und physikalischen Prozesse als für die heutigen benthischen Strukturen verantwortlich identifiziert wurden.

Tab. 6.1 Vergleich Nordostgrönland, Bellingshausen-/Amundsenmeer und Weddellmeer (östlicher Schelf).

Nordostgrönland	Bellingshausen- und Amundsenmeer	Weddellmeer
deutliche Tiefenzonierung der Bodenfauna	keine Tiefenzonierung der Bodenfauna	schwach ausgeprägte Tiefenzonierung der Bodenfauna
Bodenfauna dominiert von unselektiv omnivoren Echinodermen	keine Dominanz eines Ernährungstyps	östlicher Schelf dominiert von suspensionsfressenden Schwämmen und Bryozoen
mittlere Taxazahl	geringe bis mittlere Taxazahl	hohe Taxazahl
geringe bis mittlere alpha-Diversität	mittlere alpha-Diversität	hohe alpha-Diversität
geringe beta-Diversität >140 m hohe beta-Diversität < 140 m	geringe beta-Diversität >140 m	hohe beta-Diversität >140 m
Eisbergspuren bis 70 m	Eisbergspuren bis 500 m	Eisbergspuren bis 500 m

Obwohl die heutigen Besiedlungsmuster nur eine Momentaufnahme darstellen, lassen sie Rückschlüsse über einige langfristige, evolutionäre Entwicklungen und rezente Prozesse zu.

Die beiden polaren Faunen unterscheiden sich grundsätzlich in ihrem Alter und Ursprung voneinander (vgl. Kap. 1). Das erdgeschichtlich relativ geringe Alter des arktischen

Ökosystems und die Meeresspiegel-Transgressionen und -Regressionen während der pleistozänen Glazial- und Interglazialzeiten sind vermutlich dafür verantwortlich, daß sich in der Arktis keine speziell angepaßte Bodenfauna entwickelt hat (DUNBAR 1968, DAYTON 1990). Der mit den pleistozänen Eiszeiten einhergehende Wechsel der ökologischen Bedingungen führte zum Aussterben von vielen boreo-arktischen Arten (ZENKEVITCH 1963, KNOX & LOWRY 1977, BERNARD 1979, BILYARD & CAREY 1980, GOLIKOV & SCARLATO 1989). Allerdings bestanden zwischen der westlichen und östlichen Arktis deutliche Unterschiede im Ausmaß der Vereisung. Während der gesamte Schelf und Teile des Kontinentalhangs der westlichen Arktis bis in Tiefen von 900 m von Eis bedeckt war, was zum Aussterben stenobather Flachwasserarten führte, war der Schelf der östlichen Arktis nicht von Eis bedeckt (NESIS 1983). Dies hat nach NESIS (1983) dazu geführt, daß viele rezente Arten des pazifischen Raumes stenobath (100-200 m) sind, während im atlantischen Sektor der Arktis eurybathe Arten häufig sind. Andere Arten verlagerten während der Eiszeiten ihre Verbreitungsgebiete entlang der Schelfsockel nach Süden und konnten in Zeiten der Erwärmung wieder nach Norden vordringen (ZENKEVITCH 1963). Die arktischen Meeresgebiete scheinen seit 6.000-14.000 Jahren noch immer im Prozeß der aktiven Besiedlung zu sein (DAYTON et al. 1994). Diese Zusammenhänge erklären möglicherweise die im Vergleich zur Antarktis geringeren Taxazahlen, die Dominanz einzelner Gruppen und die weniger komplexen Strukturen.

In der Antarktis hat die lange Entwicklungszeit, in der wahrscheinlich seit etwa 20 Mio. Jahren großräumig relativ konstant kalte Umweltbedingungen herrschen (ARNTZ et al. 1994), dazu geführt, daß sich hier eine speziell angepaßte, artenreiche Fauna entwickelt hat. Das zirkumpolare Strömungsregime führte dabei zu einer Isolation der Antarktis, so daß ein Faunenaustausch mit den Schelfgebieten anderer Kontinente weitgehend fehlt. Allerdings kam es auch in der Antarktis während der pleistozänen Glazial- und Interglazialzeiten zu einem Wechsel zwischen Perioden, in denen die Schelfeise weit in den Ozean vorstießen und wesentliche Teile des Schelfs bedeckten und Perioden, in denen die Schelfeise deutlich zurückgingen und der Meeresspiegel stieg (GROBE & MACKENSEN 1992). Obwohl nicht abschließend geklärt ist, ob während der maximalen Vereisung die gesamten antarktischen Flachwasserbereiche von Schelfeisen bedeckt waren und somit alle Habitate auf dem Schelf verloren gingen, ist dennoch von wesentlichen Veränderungen der ökologischen Bedingungen in den Schelfgebieten auszugehen. Die wiederholte Vereisung muß zu einem mehrmaligen Verschwinden der Schelffauna und – soweit möglich – zu Abwanderungen in die tiefen sublitoralen Bereiche des Kontinentalhangs geführt haben. Im Gegensatz zur Arktis war ein Ausweichen nach Norden nur bedingt möglich, da sich zwischen dem antarktischen Schelf und den nördlichen gemäßigten Schelfgebieten Tiefseebecken gebildet hatten. Die ausgeprägte

Eurybathie antarktischer Schelfbewohner (DELL 1972) und die heute schwach oder nicht ausgeprägte Tiefenzonierung der Besiedlungsstrukturen (vgl. Kap. 3.3.2) deuten darauf hin, daß viele Arten die Vereisungsperioden am Kontinentalhang und in Grabentiefs ("Innershelf Depressions") überdauert haben (BREY et al. 1996). Dabei spielt wahrscheinlich das relativ hohe Alter der Antarktis als Kaltwasserlebensraum und die Entwicklung einer in ihrem Hungervermögen und Reproduktionsstrategien speziell angepaßten Fauna eine wichtige Rolle. Einer so angepaßten Fauna ist es möglich, Perioden mit einer deutlich reduzierten Nahrungsversorgung zu überdauern. Es gibt Hinweise, daß auch heute noch am Kontinentalhang eine der Schelffauna ähnliche Fauna existiert (KLAGES 1991, ARNAUD & HAIN 1992, GALÉRON et al. 1992). Auch finden sich Verhaltensweisen, die als Relikte aus Zeiten maximaler Eisbedeckung diskutiert werden. So sucht der auf dem flachen Schelf lebende Fisch *Notothenia coriiceps* auch heute noch zum Laichen die tieferen Schelfhangbereiche auf (KELLERMANN 1991). Möglicherweise hat der wiederholte Verlust der Schelfhabitats nicht nur zum Aussterben einiger Arten geführt. Der Rückzug der Arten in Refugien hatte unter Umständen die räumliche Trennung von einzelnen Populationen zur Folge und führte so zur Entstehung neuer Arten. Der letzte Höhepunkt der Vereisung liegt wie in der Arktis etwa 18.000-25.000 Jahre zurück (ARNTZ et al. 1994). Es ist daher denkbar, daß auch der antarktische Schelf sich immer noch im Stadium der aktiven Wiederbesiedlung befindet. Unter Annahme der Hypothese, daß während der letzten Vereisung Restpopulationen der Schelffauna am Kontinentalhang und in inselartigen, nicht eisbedeckten Schelfbereichen überdauert haben, konnte der Schelf in den vergangenen Jahrtausenden relativ schnell wiederbesiedelt werden. Dabei scheint es aber deutliche regionale Unterschiede im Muster der Wiederbesiedlung zu geben. Gebiete wie der schmale östliche Weddellmeerschelf mit einer vermutlich guten Nahrungsversorgung des Benthos zeichnen sich durch eine arten- und individuenreiche Besiedlung aus, während der artenärmere breite Schelf im Bellingshausen- und Amundsenmeer vielleicht noch nicht in vollem Umfang wiederbesiedelt ist.

Besonders interessant sind die artenreichen Suspensionsfressergemeinschaften auf dem östlichen Weddellmeerschelf. Hier siedeln teilweise in direkter Nachbarschaft verschiedene nah verwandte, z. T. zur gleichen Gattung gehörende Schwamm- und Bryozoenarten. Diese Beobachtung läßt sich anhand von zwei unterschiedlichen theoretischen Überlegungen erklären:

- Nach dem Exklusionsprinzip oder Mondardschen- bzw. Gauseschen Prinzip (REMMERT 1980) müssen sich die nebeneinander vorkommenden Arten in ihren, uns noch nicht bekannten, ökologischen Ansprüchen deutlich unterscheiden.

- Bei den häufigen Suspensionsfressern handelt es sich um unspezialisierte Opportunisten mit breiten, überlappenden Nischen ohne ausgeprägte Eigenarten ihrer Ernährung, die durchaus in direkter Nachbarschaft koexistieren können. (LEVINTON 1972).

Offen bleibt aber die Frage, warum im Bellinghausen- und Amundsenmeer und auf dem südlichen Schelf des Weddellmeers diese typischen Suspensionsfressergemeinschaften fehlen. Als mögliche Erklärung wird die hier schlechte Nahrungsversorgung der Suspensionsfresser aufgrund der z. T. beständigeren Meereisbedeckung in diesen Gebieten und dem damit verbundenen reduziertem Nahrungseintrag aus dem Pelagial, geringen lateralen Advektion und Resuspension von organischem Material diskutiert (VOß 1988). Die Videobeobachtungen zeigten aber, daß beispielsweise Glasschwämme wie *Rossella racovitzae* und *R. nuda* in diesen Gebieten nicht grundsätzlich fehlen. Die beobachteten Exemplare erreichen hier z. T. eine Größe von bis zu einem Meter und somit ein beträchtliches Alter. Eine ergänzende Erklärung für die geringen Dichten der Suspensionsfresser läßt sich aus der Hypothese vom Ernährungstyp-Amensalismus ableiten ("Trophic Group Amensalism", RHOADS & YOUNG 1970). In den Gebieten mit geringer Bodenströmung reichert sich organisches Material im oder direkt auf dem Sediment an und führt so zu guten Nahrungsbedingungen für die hier dominanten erranten Sedimentfresser. Diese Arten führen vermutlich zu unstablen Sedimenten, die nicht von Suspensionsfressern besiedelt werden können, oder nehmen mit dem Sediment die frisch angesiedelten Larven der Suspensionsfresser auf. Die wenigen Jungtiere, die das erste Besiedlungsstadium überleben, können sich aufgrund ihres Hungervermögens aber durchaus weiterentwickeln und werden mit zunehmender Größe nicht mehr gefressen. Das arktische Benthos ist in noch wesentlich stärkerem Maße solchen Störungen ausgesetzt, da hier die Anzahl der Arten, die die oberen Sedimentschichten durchwühlen, allgemein größer ist als in der Antarktis (DAYTON 1990). Außerdem ist von einem erheblichen, auf die Epifauna wirkenden Fraßdruck durch die in der Arktis häufigeren Bodenfische auszugehen. Diese Faktoren erklären möglicherweise das im Vergleich zur Antarktis geringe Vorkommen von sessilen Taxa auf dem arktischen Schelf.

Diese Überlegungen zeigen, daß neben den langfristigen, für beide polaren Regionen unterschiedlichen Entwicklungen auch rezente Prozesse die Besiedlungsstrukturen in den beiden Ökosystemen prägen. Neben den biologischen Prozessen beeinflussen auch physikalische Störungen die Besiedlungsstrukturen am Meeresboden. Die Auswirkungen von Störungen auf die Diversität wurden kontrovers diskutiert. Die dazu aufgestellten Hypothesen lassen sich grundsätzlich in zwei Kategorien einteilen (CONNELL 1978): Ein Teil der Theorien geht davon aus, daß sich die Artenzusammensetzung grundsätzlich in

einem Gleichgewichtszustand befinden, der sich auch nach Störungen wieder einstellt ("equilibrium hypotheses"). Dabei führen langfristig konstante Umweltbedingungen zu einer hohen Diversität, da sich die Artenzusammensetzung nicht ändert und Mechanismen wie Nischenspezialisierung und Konkurrenz wirken ("stability-time hypothesis", SANDERS 1969). Ein anderer Teil der Hypothesen besagt, daß sich die Gemeinschaften nur selten in einem Gleichgewichtszustand befinden ("nonequilibrium hypotheses") und ein kontinuierlicher Wechsel in der Artenzusammensetzung (z. B. ausgelöst durch Störungen) zu einer hohen Diversität führt. CONNELL (1978) selbst kommt zu dem Schluß, daß Störungen einen positiven Einfluß auf die Entwicklung hin zu einer diversen Fauna haben, da im Nicht-Gleichgewichtszustand ein Ausschluß durch Konkurrenz nicht eintritt (vgl. auch HUSTON 1979). Auch anhand des Konzepts der desynchronen Zyklen als Mosaikbausteine von Ökosystemen (REISE 1991, REMMERT 1985, 1991) läßt sich ableiten, daß Störungen die Diversität erhöhen. Allerdings besteht nach dieser Theorie, im Gegensatz zu CONNELL (1978), nicht unbedingt die Notwendigkeit für äußere Störungen.

Die Ergebnisse meiner Untersuchung zeigen, daß strandende Eisberge in beiden Polargebieten einen erheblichen Einfluß auf das Benthos haben (Kap. 4) und zu einem Mosaik aus Bereichen mit unterschiedlichen Besiedlungsstrukturen führen. Auf dem Schelf vor Nordostgrönland wurden Eisbergspuren bis in eine Wassertiefe von 70 m nachgewiesen. Die biologischen Spuren dieser Strandungen verlieren sich aber relativ schnell. Es konnten nur sehr frühe Sukzessionsstadien beobachtet werden, da sich die Megafauna auf dem Schelf vor Nordostgrönland zu einem Großteil aus vagilen Taxa zusammensetzt und die verschiedenen Gemeinschaften grundsätzlich fleckenhaft verteilt sind. Es muß aber davon ausgegangen werden, daß auf dem flachen Schelf Eisbergstrandungen einen wesentlichen Anteil an der hohen Diversität zwischen benachbarten Biotopen haben (beta-Diversität, Kap. 5).

Auf dem antarktischen Schelf, wo Eisbergspuren bis in eine Tiefe von 500 m nachgewiesen wurden, ließen sich deutliche Sukzessionsstadien unterscheiden. Eine zeitliche Abfolge und eine Klassifizierung der verschiedenen Stadien konnte anhand des vorliegenden Materials nur grob abgeschätzt werden. Weitergehende intensivere Untersuchungen dieses einzigartigen Merkmals der Polargebiete würden wesentlich zum Verständnis grundsätzlicher ökologischer Funktionsprinzipien beitragen. Anhand dieser Ergebnisse ließen sich dann vermutlich genauere Aussagen zur Belastbarkeit und Stabilität (im Sinn von Flexibilität, BOESCH & ROSENBERG 1981) der polaren Ökosysteme machen. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, daß ein komplexes Gefüge verschiedener Prozesse auf ganz unterschiedlichen zeitlichen Skalen wirksam ist. Da sich diese

überlagern, ist es schwierig, alle diese Prozesse zu identifizieren. Anhand einiger von ihnen konnte ihre Rolle für das Benthos aufgezeigt werden.

7. Literatur

- ACKLEY, S.F., BUCK, K.R., TAGUSHI, S. (1979). Standing crop of algae in the sea ice of the Weddell Sea region. *Deep Sea Res.* 26: 269-281.
- ARNAUD, P.M., HAIN, S. (1992). Quantitative distribution of the shelf and slope molluscan fauna (Gastropoda, Bivalvia) of the Eastern Weddell Sea (Antarctica). *Polar Biol.* 12: 103-109.
- ARNTZ, W.E., BREY, T., GERDES, D., GORNY, M., GUTT, J., HAIN, S., KLAGES, M. (1992). Patterns of life history and population dynamics of benthic invertebrates under high Antarctic conditions of the Weddell Sea. *Proc. 24th European Mar. Biol. Sym. Olsen & Olsen, Fredensborg*, p. 221-230.
- ARNTZ, W.E., BREY, T., GALLARDO, V.A. (1994). Antarctic zoobenthos. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 32: 241-304.
- ARNTZ, W.E., GUTT, J., KLAGES, M. (im Druck). Antarctic biodiversity: an overview. In: BATTAGLIA, B., VALENCIA, J., WALTON, D. (eds) *Antarctic communities. Proc. 6th SCAR Biol. Symp., Venice 1994.* Cambridge University Press, Cambridge.
- AUSTIN, B. (1988). *Marine Microbiology.* University Press, Cambridge.
- BARNES, P.W., REARIC, D.M., REIMNITZ, E. (1984). Ice gouging characteristics and processes. In: BARNES, P.W., SCHELL, D., REIMNITZ, E. (eds) *The Alaskan Beaufort Sea: Ecosystems and Environments.* Academic Press, San Diego, p. 185-212.
- BARRY, J.P., DAYTON, P.K. (1988). Current patterns in McMurdo Sound, Antarctica and their relationship to local biotic communities. *Polar Biol.* 8: 367-376.
- BARTHEL, D. (1992). Do hexactinellids structure Antarctic sponge associations? *Ophelia* 36: 111-118.
- BARTHEL, D. (1997). Fish eggs and pentacrinoids in Weddell Sea hexactinellids: further examples for structuring role of sponges in Antarctic benthic ecosystems. *Polar Biol.* 17: 91-94.
- BARTHEL, D., GUTT, J. (1992). Sponge associations in the eastern Weddell Sea. *Antarct. Sci.* 4: 137-150.
- BATHMANN, U., FISCHER, G., MÜLLER, P.J., GERDES, D. (1991). Short-term variations in particulate matter sedimentation off Kapp Norvegia, Weddell Sea, Antarctica: relation to water mass advection, ice cover, plankton biomass and feeding activity. *Polar Biol.* 11: 185-195.

- BERKMAN, P.A., MARKS, D.S., SHREVE, G.P. (1986). Winter sediment resuspension in McMurdo Sound, Antarctica, and its ecological implications. *Polar Biol.* 6: 1-3.
- BERNARD, F.R. (1979). Bivalve mollusks of the Western Beaufort Sea. *Nat. Hist. Mus. Los Angeles Contr. Sci.* 313: 1-80.
- BILYARD, G.R., CAREY, A.G. (1980). Zoogeography of Western Beaufort Sea Polychaeta (Annelida). *Sarsia* 65: 19-26.
- BOESCH, D.F., ROSENBERG, R. (1981). Response to stress in marine benthic communities. In: BARRETT, G.W., ROSENBERG, R. (eds) *Stress effects on natural ecosystems*. John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto & Singapore, p. 179-200.
- BODUNGEN, B. von, NÖTHIG, E.M., SUI, Q. (1988). New production of phytoplankton and sedimentation during summer 1985 in the southeastern Weddell Sea. *Comp. Biochem. Physiol.* 90B: 475-487.
- BOHLMANN, H., BUSCHMANN, A., DIMMLER, W., FREY, N., GERDES, D., GRÜNWARD, T., GUTT, J., LEE, H.J., NIEDERJASPER, F., SCHICKAN, T., VANHOVE, S. (im Druck). The impact of icebergs on benthic assemblages. In: ARNTZ, W.E. (ed) *Cruise report of the expedition ANT XIII/3 (CS-EASIZ) with R/V Polarstern in 1996*. Ber. Polarforsch.
- BONN, W., GINGELE, F., GROBE, H., HILLENBRANDT, C.D. (1996). Marine Geologie, Sedimentologie. In: MILLER, H., GROBE, H. (eds) *Die Expedition ANTARKTIS-XI/3 mit FS "Polarstern" 1994*. Ber. Polarforsch. 188: 18-20.
- BOYD, P.W., ROBINSON, C., SAVIDGE, G., WILLIAMS, P.J.L. (1995). Water column and sea-ice primary production during Austral spring in the Bellingshausen Sea. *Deep Sea Res.* 42: 1177-1200.
- BOURKE, R.H., NEWTON, J.L., PAQUETTE, R.A., TUUNICLIFFE, M. (1987). Circulation and water masses of the east Greenland shelf. *J. Geophys. Res.* 92: 6729-6740.
- BRAY, J.R., CURTIS, J.T. (1957). An ordination of the upland forest of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* 27: 225-349.
- BREY, T., CLARKE, A. (1993). Population dynamics of marine benthic invertebrates in Antarctic and Subantarctic environments: are there unique adaptations? *Antarc. Sci.* 5: 253-266.
- BREY, T., DAHM, C., GORNY, M., KLAGES, M., STILLER, M., ARNTZ, W.E. (1996). Do Antarctic benthic invertebrates show an extended level of eurybathy? *Antarct. Sci.* 8: 3-6.
- BRÖCKEL, K. von (1985). Primary production data from the southeastern Weddell Sea. *Polar Biol.* 4: 75-80.

- BRYAN, J.R. (1992). Descriptions of sediments recovered by the USCGC Glacier: USARP operation Deep Freeze 1985; South Orkney Plateau, South Shetland Shelf, Bransfield Strait, Marguerite Bay, Pine Island Bay. *Contrib. Sedimentol. Res. Lab.* 54.
- BULLIVANT, J.S. (1967). Ecology of the Ross Sea Benthos. In: BULLIVANT, J.S., DEARBORN, J.H. (eds) *The fauna of the Ross Sea, Part 5*. N. Z. Dep. Scient. Industr. Res. Bull. 176: 49-76.
- CARMACK, E.C., FOSTER, T.D. (1977). Water masses and circulation in the Weddell Sea. In: DUNBAR, M.J. (ed) *Polar Oceans*. Arctic Institute of North America, Calgary, p. 151-165.
- CAREY, A.G., RUFF, R.E. (1977). Ecological studies of the benthos in the western Beaufort Sea with special reference to bivalve molluscs. In: DUNBAR, M.J. (ed) *Polar Oceans*. Arctic Institute of North America, Calgary, p. 505-530.
- CHERKIS, N.Z., VOGHT, P.R. (1994). Regional bathymetry of the northern Norwegian-Greenland Sea (Map). Naval Research Laboratory, Washington.
- CHRISTIANSEN, B. (1993). A television and photographic survey of megafaunal abundance in central Sognefjorden, western Norway. *Sarsia* 78: 1-8.
- CLARKE, A. (1983). Life in cold water: The physiological ecology of polar marine ectotherms. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 21: 341-453.
- CLARKE, K.R. (1990). Comparisons of dominance curves. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 138: 143-157.
- CLARKE, K.R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust. J. Ecol.* 18: 117-143.
- CLARKE, K.R., AINSWORTH, M. (1993). A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 92: 205-219.
- CLARKE, K.R., WARWICK, R.M. (1994). *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. Natural Environment Research Council, U. K., Plymouth.
- CONNELL, J.H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199: 1302-1310.
- CURTIS, M.A. (1975). The marine benthos of Arctic and Sub-arctic continental shelves. A review of regional studies and their general results. *Polar Rec.* 17: 595-626.
- DAHM, C. (1995). *Ökologie und Populationsdynamik antarktischer Ophiuroiden (Echinodermata)*. Diss. Universität Bremen.

- DAYTON, P.K. (1972). Toward the understanding of community resilience and the potential effects of enrichments to the benthos at McMurdo Sound, Antarctica. In: PARKER, B.C. (ed) Proceedings of the colloquium on conservation problems in Antarctica. Allen Press, Lawrence, Kansas, p. 81-96.
- DAYTON, P.K. (1984). Processes structuring some marine communities: Are they general? In: STONG Jr, D.R., SIMBERLOFF, D., ABELE, L.G., THISTLE, A.B. (eds) Ecological communities: conceptual issues and the evidence. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, p. 182-197.
- DAYTON, P.K. (1989). Interdecadal variation in an Antarctic sponge and its predators from oceanographic climate shifts. *Science* 245: 1484-1486.
- DAYTON, P.K. (1990). Polar benthos. In: SMITH, W.O. (ed) Polar Oceanography, Part B: Chemistry, Biology, and Geology. Academic Press, Boston, p. 631-685.
- DAYTON, P.K., HESSLER, R.R. (1972). Role of biological disturbance in maintaining diversity in the deep sea. *Deep Sea Res.* 19: 199-208.
- DAYTON, P.K., MORDIDA, B.J., BACON, F. (1994). Polar marine communities. *Amer. Zool.* 34: 90-99.
- DAYTON, P.K., OLIVER, J.S. (1977). Antarctic soft-bottom benthos in oligotrophic and eutrophic environments. *Science* 197: 55-58.
- DAYTON, P.K., OLIVER, J.S. (1978). Long-term experimental benthic studies in McMurdo Sound. *Antarct. J. U. S.* 13: 136-137.
- DAYTON, P.K., ROBILLIARD, G.A., PAINE, R.T. (1970). Benthic faunal zonation as a result of anchor ice at McMurdo Sound, Antarctica. In: HOLDGATE, M.W. (ed) Antarctic Ecology. Academic Press, New York, p. 244-258.
- DAYTON, P.K., ROBILLIARD, G.A., PAINE, R.T., DAYTON, L.B. (1974). Biological accommodation in the benthic community at McMurdo Sound, Antarctica. *Ecol. Monogr.* 44: 105-128.
- DE RIDDER, C., LAWRENCE, J.M. (1982). Food and feeding mechanisms: Echinoidea. In: JANGOUX, M., LAWRENCE, J.M. (eds) Echinoderm Nutrition. A.A.Balkema, Rotterdam, p. 57-115.
- DEARBORN, J.H. (1968). Benthic invertebrates. *Austral. Nat. Hist.* 16: 134-139.
- DELL, R.K. (1972). Antarctic benthos. *Adv. Mar. Biol.* 10: 1-216.
- DISCOVERY COMMITTEE COLONIAL OFFICE (1929-1980). Discovery Reports, Vol. 1-37. University Press, Cambridge.
- DOAKE, C.S.M., VAUGHAM, D.G. (1991). Rapid disintegration of the Wordie Ice Shelf in response to atmospheric warming. *Nature* 350: 328-330.

- DOWDESWELL, J.A., VILLINGER, H., WHITTINGTON, R.J., MARIENFELD, P. (1993). Iceberg scouring in Scoresby Sund and on the East Greenland continental shelf. *Mar. Geol.* 111: 37-53.
- DUNBAR, M.J. (1968). *Ecological development in polar regions: A study in evolution.* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- DUNBAR, M.J. (1977). The evolution of polar ecosystems. In: LLANO, G.A. (ed) *Adaptation within the Antarctic ecosystems.* Smithsonian Inst., Washington, p. 1063-1076.
- FAHRBACH, E., ROHARDT, G., KRAUSE, G. (1992). The Antarctic coastal current in the southeastern Weddell Sea. *Polar Biol.* 12: 171-182.
- FEDER, H.M., NAIDU, A.S., JEWETT, S.C., HAMEEDI, J.M., JOHNSON, W.R., WHITLEDGE, T.E. (1994). The northeastern Chukchi Sea: benthos-environmental interactions. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 111: 171-190.
- FIELD, J.G., CLARKE, K.R., WARWICK, R.M. (1982). A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* :37-52.
- FÜTTERER, D.K. (1988). Die Expedition ANTARKTIS-VI mit FS "Polarstern" 1987/1988. *Ber. Polarforsch.* 58.
- GALÉRON, J., HERMAN, R.L., ARNAUD, P.M., ARNTZ, W.E., HAIN, S., KLAGES, M. (1992). Macrofaunal communities on the continental shelf and slope of the southeastern Weddell Sea, Antarctica. *Polar Biol.* 12: 283-290.
- GENIN, A., DAYTON, P.K., LONSDALE, P.F., SPIESS, F.N. (1986). Corals on seamount peaks provide evident of current acceleration over deep-sea topography. *Nature* 322: 59-61.
- GEORGE, R.Y. (1977). Dissimilar and similar trends in Antarctic and Arctic marine benthos. In: DUNBAR, M.J. (ed) *Polar Oceans.* Arctic Institute of North America, Calgary, p. 391-408.
- GERDES, D., KLAGES, M., ARNTZ, W.E., HERMAN, R.L., GALÉRON, J., HAIN, S. (1992). Quantitative investigation on macrobenthos communities of the southeastern Weddell Sea shelf based on multibox corer samples. *Polar Biol.* 12: 291-301.
- GOLIKOV, A.N., SCARLATO, O.A. (1989). Arctic ecosystems during the Neogene Period. In: HERMAN, Y. (ed) *The Arctic Seas.* Van Nostrand Reinhold Company, New York, p. 257-279.
- GRAF, G. (1992). Benthic-pelagic coupling: a benthic view. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 30: 149-190.

- GRAY, J.S. (1984). *Ökologie mariner Sedimente: eine Einführung*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York & Tokyo.
- GRAY, J.S., ASCHAN, M., CARR, M.R., CLARKE, K.R., GREEN, R.H., PEARSON, T.H., ROSENBERG, R., WARWICK, R.M. (1988). Analysis of community attributes of the benthic macrofauna of Fierfjord/Langesundfjord and in a mesocosm experiment. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 46: 151-165.
- GREBMEIER, J.M., BARRY, J.P. (1991). The influence of oceanographic processes on pelagic-benthic coupling in polar regions: a benthic perspective. *J. Mar. Syst.* 2: 495-518.
- GREBMEIER, J.M., FEDER, H.M., MCROY, C.P. (1989). Pelagic-benthic coupling on the shelf of the northern Bering and Chukchi Seas. II. Benthic community structure. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 51: 253-268.
- GREBMEIER, J.M., MCROY, C.P., FEDER, H.M. (1988). Pelagic-benthic coupling on the shelf of the northern Bering and Chukchi Seas. I. Food supply source and benthic biomass. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 48: 57-67.
- GROBE, H., MACKENSEN, A. (1992). Late Quaternary climatic cycles as recorded in sediments from the Antarctic continental margin. *Antarct. Res. Ser.* 56: 349-376.
- GRUZOV, Y.N., PROPP, M.V., PUSHKIN, A.F. (1968). Biological associations of coastal areas of the Davis Sea (based on the observations of divers). *Soviet Antarct. Exped. Inf. Bull.* 6: 523-533.
- GUTT, J. (1991). On the distribution and ecology of holothurians in the Weddell Sea (Antarctica). *Polar Biol.* 11: 145-155.
- GUTT, J., GORNY, M., ARNTZ, W.E. (1991). Spatial distribution of Antarctic shrimps (Crustacea: Decapoda) by underwater photography. *Antarct. Sci.* 3: 363-369.
- GUTT, J., KOLTUN, V.M. (1995). Sponges of the Lazarev and Weddell Sea, Antarctica: explanations for their patchy occurrence. *Antarct. Sci.* 7: 227-234.
- GUTT, J., PIEPENBURG, D. (1991). Dense aggregations of three deep-sea holothurians in the southern Weddell Sea, Antarctica. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 68: 277-285.
- GUTT, J., STARMANS, A., DIECKMANN, G. (1996). Impact of iceberg scouring on polar benthic habitats. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 137: 311-316.
- GUTT, J., STARMANS, A. (im Druck). Macrobenthic structure and biodiversity in the Lazarev Sea (Antarctica): Indications for the ecological role of physical parameters and biological interactions. *Deep Sea Res.*
- HAAS, C., REBHAN, H., VIEHOFF, T. (1996). Sea ice. In: MILLER, H., GROBE, H. (eds) *Die Expedition ANTARKTIS-XI/3 mit FS "Polarstern" 1994*. Ber. Polarforsch. 188: 29-43.

- HAIN, S. (1990). Die beschalten benthischen Mollusken (Gastropoda und Bivalvia) des Weddellmeeres, Antarktis. Ber. Polarforsch. 70.
- HEDGPETH, J.W. (1971). Perspectives of benthic ecology in Antarctica. In: QUAM, L.O. (ed) Research in the Antarctic. American Association for the Advancement of Science, Washington, p. 93-136.
- HEIP, C., WARWICK, R.M., CARR, M.R., HERMAN, P.M.J., HUYS, R., SMOL, N., VAN HOLSBEKE, K. (1988). Analysis of community attributes of the benthic meiofauna of Frierfjord/Langesundfjord. Mar. Ecol. Progr. Ser. 46: 171-180.
- HELLMER, H.H., BERSCH, M. (1985). The Southern Ocean: A survey of oceanographic and marine meteorological research work. Ber. Polarforsch. 26.
- HEMPEL, G. (1985). On the biology of polar seas, particularly the Southern Ocean. In: GRAY, J.S., CHRISTIANSEN, M.E. (eds) Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms. J. Wiley & Sons, Chichester, p. 3-34.
- HIRCHE, H.J., KATTNER, G. (1994). Die Nordostwasser-Polynja-Expedition 1993: Wissenschaftlicher Fahrtbericht über die "Polarstern" Reisen ARK/2 und 3, die USCG "Polar Sea" Reise NEWP und die NEWLand Expedition. Ber. Polarforsch. 142.
- HOFMANN, E.E., LASCARA, C.M., KLINCK, J.M. (1992). Palmer LTER: Upper-ocean circulation in the LTER region from historical sources. Antarct. J. U. S. 27: 239-241.
- HOLTE, B., DAHLE, S., GULLIKSEN, B., NÆS, K. (1996). Some macrofaunal effects of local pollution and glacier-induced sedimentation, with indicative chemical analyses, in the sediments of two Arctic fjords. Polar Biol. 16: 549-557.
- HORNER, P.A. (1985). Sea ice biota. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- HUBOLD, G. (1992). Zur Ökologie der Fische im Weddellmeer. Ber. Polarforsch. 103.
- HURLBERT, H.S. (1971). The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. Ecology 52: 577-586.
- HUSTON, M.A. (1979). A general hypothesis of species diversity. Am. Nat. 113: 81-101.
- HUSTON, M.A. (1994). Biological Diversity. Cambridge University Press, Cambridge.
- JACOBS, S.S., COMISO, J.C. (1993). A recent sea-ice retreat west of the Antarctic Peninsula. Geophys. Res. Lett. 20: 1171-1174.

- JOHANNESSEN, O.M., JOHANNESSEN, J.A., MORISON, J., FARELLY, B.A., SVENDSEN, E.A.S. (1983). Oceanographic conditions in the Marginal Ice Zone north of Svalbard in early fall 1979 with emphasis on mesoscale processes. *J. Geophys. Res.* 88: 2755-2769.
- JOHNSON, K.R., NELSON, C.H. (1984). Side-scan sonar assessment of gray whale feeding in the Bering Sea. *Science* 225: 1150-1152.
- KAUFFMAN, T.A. (1974). Seasonality and disturbance in benthic communities, Arthur Harbour, Antarctic Peninsula. *Antarct. J. U. S.* 9: 307-310.
- KELLERMANN, A. (1991). Egg and larval drift of the Antarctic fish *Notothenia coriiceps*. *Cybius* 15: 199-210.
- KENNETT, J.P., BARKER, B.F. (1990). Latest Cretaceous to Cenozoic climate and oceanographic developments in the Weddell Sea, Antarctica: an ocean-drilling perspective. *Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results* 113: 937-960.
- KIRKWOOD, J.M., BURTON, H.R. (1988). Macrobenthic species assemblages in Ellis Fjord, Vestfold Hills, Antarctica. *Mar. Biol.* 97: 445-457.
- KLAGES, M. (1991). Biologische und populationsdynamische Untersuchungen an ausgewählten Gammariden (Crustacea, Amphipoda) des südöstlichen Weddellmeeres, Antarktis. Diss. Universität Bremen.
- KLAGES, M., GUTT, J., STARMANS, A., BRUNS, T. (1995). Stone crabs close to the Antarctic Continent: *Lithodes murrayi* Henderson, 1888 (Crustacea; Decapoda; Anomura) off Peter I Island (68°51'S, 90°51'W). *Polar Biol.* 15: 73-75.
- KNOX, G.A., LOWRY, J.K. (1977). A comparison between the benthos of the Southern Ocean and the North Polar Ocean with special reference to the Amphipoda and the Polychaeta. In: DUNBAR, M.J. (ed) *Polar Oceans*. Arctic Institute of North America, Calgary, p. 423-462.
- KOTT, P. (1969). Antarctic Ascidiacea. *Antarct. Res. Ser.* 13.
- KRUSKAL, K., WISH, M. (1978). *Multidimensional scaling*. Sage Publications, Beverley Hills, California.
- KUNZMANN, K. (1996). Die mit ausgewählten Schwämmen (Hexactinellida und Demospongiae) aus dem Weddellmeer, Antarktis, vergesellschaftete Fauna. *Ber. Polarforsch.* 210.
- LAMBSHEAD, P.J.D., PLATT, H.M., SHAW, K.M. (1983). The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. *J. Nat. Hist.* 17: 859-874.

- LEMKE, P., TRINKL, W., HASSELMANN, K. (1981). Stochastic dynamic analysis of polar sea ice variability. *J. Phys. Oceanogr.* 10: 2100-2120.
- LEVINTON, J. (1972). Stability and trophic structure in deposit-feeding and suspension-feeding communities. *Am. Nat.* 106: 472-486.
- LIEN, R., SOLHEIM, A., ELVERHØI, A., ROKOENGEN, K. (1989). Iceberg scouring and sea bed morphology on the eastern Weddell Sea, Antarctica. *Polar Res.* 7: 43-57.
- LIPPS, J.H., HICKMAN, C.S. (1982). Origin, age, and evolution of Antarctic and deep-sea faunas. In: ERNST, W.G., MORIN, J.G. (eds) *The environment of the deep sea*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, p. 325-356.
- MACARTHUR, R.H. (1965). Patterns of species diversity. *Biol. Rev.* 40: 510-533.
- MAGURRAN, A.E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Croom Helm, London.
- MARGALEF, D.R. (1958). Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3: 36-71.
- MAYER, M., PIEPENBURG, D. (1996). Epibenthic community patterns on the continental slope off East Greenland at 75° N. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 143: 151-164.
- MCINTYRE, A.D. (1956). The use of trawl, grab and camera in estimating marine benthos. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 35: 419-429.
- METZ, C. (1996). *Lebensstrategien dominanter antarktischer Oithonidae (Cyclopodia, Copepoda) und Oncaeidae (Poecilostomatoidea, Copepoda) im Bellingshausenmeer*. Diss. Universität Kiel.
- MILLER, H., GROBE, H. (1996). *Die Expedition ANTARKTIS-XI/3 mit FS "Polarstern" 1994*. Ber. Polarforsch. 188.
- MILLS, E.L. (1969). The community concept in marine zoology, with comments on continua and instability in some marine communities: a review. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 26: 1415-1428.
- MINNETT, P.J., BIGNAMI, F., BÖHM, E., BUDÉUS, G., GALBRAITH, P.S., GUDMANDSEN, P., HOPKINS, T.S., INGRAM, R.G., JOHNSON, M.A., NIEBAUER, H.J., RAMSEIER, R.O., SCHNEIDER, W. (im Druck). A summary of the formation and seasonal progression of the Northeast Water Polynya. *J. Mar. Syst.*
- MÜHLENHARDT-SIEGEL, U. (1988). Some results on quantitative investigations of macrozoobenthos in the Scotia Arc (Antarctica). *Polar Biol.* 8: 241-248.
- NELSON, C.H., JOHNSON, K.R. (1987). Wale und Walrosse als Gestalter des Meeresbodens. *Spektrum Wiss.* 4/1987: 68-74.

- NERINI, M.K., OLIVER, J.S. (1983). Gray whales and the structure of the Bering Sea benthos. *Oecologia* 59: 224-225.
- NESIS, K.N. (1983). A hypothesis on the origin of Western and Eastern Arctic distribution areas of marine bottom animals. *Sov. J. Mar. Biol.* 9: 235-243.
- ODUM, E.P. (1980). *Grundlagen der Ökologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart & New York.
- Oliver, J.S., Kvitek, R.G., Slattery, P.N. (1985). Walrus feeding disturbance: scavenging habits and recolonisation of the Bering Sea benthos. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 91: 233-246.
- PARQUETTE, R.G., BOURKE, R.H. NEWTON, J.F., PERDUE, W.F. (1985). The East Greenland polar front in autumn. *J. Geophys. Res.* 90: 4866-4882.
- PEARSON, M., CAGE, J.D. (1984). Diets of some deep-sea brittle stars in the Rockall Trough. *Mar. Biol.* 82: 247-258.
- PEARSON, T.H., ROSENBERG, R. (1987). Feast and famine: structuring factors in marine benthic communities. In: GEE, J.H.R., GILLER, P.S. (eds) *Organization of communities in past and present*. Blackwell, Oxford, p. 373-395.
- PESANT, S., LEGENDRE, L., GOSSELIN, M., SMITH, R.E.H., KATTNER, G., RAMSEIER, R.O. (1996). Size-differential regimes of phytoplankton production in the Northeast Water Polynya (77°-81°N). *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 142: 75-86.
- PIELOU, E.C. (1969). *An introduction to mathematical ecology*. Wiley, New York.
- PIEPENBURG, D. (1988). Zur Zusammensetzung der Bodenfauna in der westlichen Fram-Starße. *Ber. Polarforsch.* 52.
- PIEPENBURG, D., CHERNOVA, N.V., VON DORRIEN, C.F., GUTT, J., NEYELOW, A.V., RACHOR, E., SALDANHA, L., SCHMID, M.K. (1996). Megabenthic communities in the waters around Svalbard. *Polar Biol.* 16: 431-446.
- PIEPENBURG, D., SCHMID, M.K. (1996a). Distribution, abundance, biomass, and mineralization potential of the epibenthic megafauna of the Northeast Greenland shelf. *Mar. Biol.* 125: 321-332.
- PIEPENBURG, D., SCHMID, M.K. (1996b). Brittle star fauna (Echinodermata: Ophiuroidea) of the Arctic northwestern Barents Sea: composition, abundance, biomass and spatial distribution. *Polar Biol.* 16: 383-392.
- PIEPENBURG, D., VOß, J., GUTT, J. (1997). Assemblages of sea stars (Echinodermata: Asteroidea) and brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) in the Weddell Sea (Antarctica) and off Northeast Greenland (Arctic): A comparison of diversity and abundance. *Polar Biol.* 17: 305-322.

- PICKEN, G.B. (1985). Benthic research in Antarctica: past, present and future. In: GRAY, J.S., CHRISTIANSEN, M.E. (eds) Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms. Wiley, Chichester, England, p. 167-183.
- REISE, K. (1980). Hundert Jahre Biozönose. Naturw. Rdsch. 33: 328-335.
- REISE, K. (1991). Mosaic cycles in the marine benthos. In: REMMERT, H. (ed) The mosaic-cycle concept of ecosystems. Springer-Verlag, Berlin & Heidelberg, p. 61-82.
- REMANE, A., STORCH, V., WELSCH, U. (1986). Systematische Zoologie. Fischer, Stuttgart & New York.
- REMMERT, H. (1980). Ökologie: Ein Lehrbuch. Springer-Verlag, Berlin & Heidelberg.
- REMMERT, H. (1985). Was geschieht im Klimax-Stadium? Ökologisches Gleichgewicht durch Mosaik aus desynchronen Zyklen. Naturwissenschaften 72: 505-512.
- REMMERT, H. (1991). The mosaic-cycle concept of ecosystems—an overview. In: REMMERT, H. (ed) The mosaic-cycle concept of ecosystems. Springer-Verlag, Berlin & Heidelberg, p. 1-21.
- REX, M. (1996). Luftchemie. In: MILLER, H., GROBE, H. (eds) Die Expedition ANTARKTIS-XI/3 mit FS "Polarstern" 1994. Ber. Polarforsch. 188: 51-52.
- RHOADS, D.C., YOUNG, D.K. (1970). The influence of deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. J. Mar. Res. 28: 150-178.
- RICHARDSON, M.D., HEDGPETH, J.W. (1977). Antarctic soft-bottom, macrobenthic community adaptation to a cold, stable, highly productive, glacially affected environment. In: LLANO, G.A. (ed) Adaptations within Antarctic ecosystems, Gulf Publ. Co., Houston, Texas, p. 181-196.
- RIEDEL, R. (1983). Fauna und Flora des Mittelmeeres. Parey, Hamburg & Berlin.
- RITZRAU, W. (1994). Labor- und Felduntersuchungen zur heterotrophen Aktivität in der Bodennepheloidschicht. Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel 47.
- ROTT, H. (1997). Rückzug von Schelfeis an der Antarktischen Halbinsel. Naturw. Rdsch. 50: 31-32.
- SACHS, L. (1984). Angewandte Statistik: Anwendungen statistischer Methoden. Springer-Verlag, Berlin & Heidelberg.
- SANDERS, H.L. (1968). Marine benthic diversity: a comparative study. Am. Nat. 102: 243-282.

- SANDERS, H.L. (1969). Benthic marine diversity and the stability-time hypothesis. *Brookhaven Symp. Biol.* 22: 71-80.
- SAVIDGE, G., HARBOUR, D., GILPIN, L.C., BOYD, P.W. (1995). Phytoplankton distribution and production in the Bellingshausen Sea, Austral spring 1992. *Deep Sea Res.* 42: 1201-1224.
- SCHALK, P.H., BREY, T., BATHMANN, U., ARNTZ, W.E., GERDES, D., DIECKMANN, G., EKAU, W., GRADINGER, R., PLÖTZ, J., NÖTHIG, E.M., SCHNACK-SCHIEL, S.B., SIEGEL, V., SMETACEK, V.S., VAN FRANEKER, J.A. (1993). Towards a conceptual model of the Weddell Sea ecosystem, Antarctica. In: CHRISTENSEN, V., PAULY, D. (eds) *Trophic models of aquatic ecosystems*, ICLARM Conf. Proc. 26. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines, p. 323-337.
- SCHICKAN, T. (1996). Epibiontische Vergesellschaftungen im Weddell- und Lazarevmeer, Antarktis. Dipl. Arbeit, Universität Bremen.
- SCHNEIDER, W., BUDÉUS, G. (1994). The Northeast Water polynya (Greenland Sea), part I: A physical concept of its generation. *Polar Biol.* 14: 1-9.
- SCHNEIDER, W., BUDÉUS, G. (im Druck). Summary of the Northeast Water Polynya formation and development (Greenland Sea). *J. Mar. Syst.*
- SHANNON, C.E., WEAVER, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- SIEG, J., WÄGELE, J.W. (1990). *Fauna der Antarktis*. Paul Parey, Berlin & Hamburg.
- SMETACEK, V., SCHAREK, R., NÖTHIG, E.M. (1990). Seasonal and regional variation in the pelagial and its relationship to the life history cycle of krill. In: KERRY, K.R., HEMPEL, G. (eds) *Antarctic ecosystems. Ecological change and conservation*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York & Tokyo, p. 103-114.
- SMITH, G.A., DAVIS, J.D., MUSCAT, A.M., MOE, R.L., WHITE, D.C. (1989). Lipid composition and metabolic activities of benthic near-shore microbial communities of Arthur Harbour, Antarctic Peninsula: comparisons with McMurdo Sound. *Polar Biol.* 9: 517-524.
- SMITH, S.L., SMITH, W.O., CODISPOTI, L.A., WILSON, D.L. (1985). Biological observation in the marginal ice zone of the Greenland Sea. *J. Mar. Res.* 43: 693-717.
- SOMERFIELD, P.J., CLARKE, K.R. (1995). Taxonomic levels, in marine community studies, revisited. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 127: 113-119.
- SOMERO, G.N. (1990). Life at low volume change: hydrostatic pressure as a selective factor in the aquatic environment. *Amer. Zool.* 30: 123-135.

- SPIES, A. (1987). Phytoplankton in the marginal ice zone of the Greenland Sea during summer, 1984. *Polar Biol.* 7: 195-205.
- STAMBLER, N., REYNOLDS, R., BRACHER, A., HOGE, U., TILZER, M. (1996). Biooptik. In: MILLER, H., GROBE, H. (eds) Die Expedition ANTARKTIS-XI/3 mit FS "Polarstern" 1994. *Ber. Polarforsch.* 188: 58-64.
- STEINHAUSEN, D., LANGER, K. (1977). Clusteranalyse: Einführung in Methoden und Verfahren der automatischen Klassifikation. Walter de Gruyter, Berlin & New York.
- THIEDE, J. (1986). Zur geologischen Geschichte der Polarmeere und ihrer Wassermassen. Universität Kiel, Mimeo.
- THOMSON, C.W., MURRAY, J. (1880-1889). Report on the scientific results of the voyage of H. M. S. Challenger during the years 1873-76, Zoology, Vol. 1-32. Neill, Edinburgh.
- UZMANN, J.R., COOPER, R.A., THEROUX, R.B., WIGLEY, R.L. (1977). Synoptic comparison of three sampling techniques for estimating abundance and distribution of selected megafauna: submersible Vs camera sled Vs otter trawl. *Mar. Fish. Rev.* 39: 11-19.
- VAUGHAN, D.G., DOAKE, C.S.M. (1996). Recent atmospheric warming and retreat of ice shelves on the Antarctic Peninsula. *Nature* 379: 328-331.
- VOB, J. (1988). Zoogeographie und Gemeinschaftsanalyse des Makrozoobenthos des Weddellmeeres (Antarktis). *Ber. Polarforsch.* 45.
- WADHAMS, P. (1981). The ice-cover in the Greenland and Norwegian Seas. *Rev. Geophys. Space Phys.* 19: 345-393.
- WÄGELE, J.W. (1988). Aspects of the life-cycle of the Antarctic fish parasite *Gnathia calva* Vanhöffen (Crustacea: Isopoda). *Polar Biol.* 8: 287-291.
- WARWICK, R.M. (1988a). The level of taxonomic discrimination required to detect pollution effects on marine benthic communities. *Mar. Pollut. Bull.* 19: 259-268.
- WARWICK, R.M. (1988b). Analysis of community attributes of the macrobenthos of Frierfjord/Langesundfjord at taxonomic levels higher than species. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 46: 167-170.
- WHITE, M.G. (1984). Marine benthos. In: LAWS, R.M. (ed) Antarctic ecology. Academic Press, London, p. 421-461.
- WHITE, W.B., PETERSON, R.G. (1996). An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent. *Nature* 380: 699-702.

- WHITTAKER, R.H. (1960). Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecol. Monogr.* 30: 279-338.
- WILSON, M.V., SHMIDA, A. (1984). Measuring beta diversity with presence-absence data. *J. Ecol.* 72: 1055-1064.
- WOODWORTH-LYNAS, C.M.T., JOSEPHANS, H.W., BARRIE, J.V., LEWIS, C.F.M., PARROTT, D.R. (1991). The physical processes of seabed disturbance during iceberg grounding and scouring. *Cont. Shelf Res.* 11: 939-961.
- YEVSYEYEV, V.V. (1990). The major features of ice conditions in the Bellingshausen Sea. *Geod. Geophys. Veröff.* 1: 325-330.
- ZENKEVITCH, L. (1963). *Biology of the Seas of the U.S.S.R.* George Allen & Unwin, London.

8. Anhang

Tab. A.1 Liste der ROV-Stationen vor Nordostgrönland (FS "Polarstern", ARK IX/2-3).
 Abst. SK: Abstand zur östlichen hangparallelen 300 m-Tiefenlinie (Schelfkante). Abst.
 EK: Abstand zur Eiskante. Abst. G: Abstand zur 300 m-Tiefenlinie des Grabenstems
 (für Stationen tiefer als 300 m wurden negative Vorzeichen vergeben).

Station #	Datum 1993	Position		Tiefe (m)	Abst. SK (km)	Abst. EK (km)	Abst. G (km)	analysierte Fläche (m ²)
		Anfang	Ende					
30	30.05.	80°26,6'N 13°40,8'W	80°26,5'N 13°40,8'W	334-328	139	17	-9	476
32	01.06.	80°35,9'N 11°21,8'W	80°35,6'N 11°21,3'W	261	83	43	11	331
36	03.06.	81°14,4'N 11°30,3'W	81°13,7'N 11°31,7'W	56-46	61	3	74	693
42	04.06.	80°59,7'N 10°53,2'W	80°59,4'N 10°47,7'W	55-49	61	24	44	304
54	07.06.	80°43,9'N 13°41,9'W	80°44,0'N 13°41,5'W	218-212	115	3	16	95
56	07.06.	80°51,8'N 14°01,5'W	80°52,0'N 14°01,2'W	111	120	4	33	152
59	07.06.	80°27,0'N 13°40,3'W	80°27,2'N 13°40,2'W	332-331	139	12	-6	142
60	08.06.	80°18,8'N 13°21,1'W	80°18,7'N 13°18,9'W	266-251	124	48	0	447
61	09.06.	80°30,9'N 14°06,3'W	80°31,2'N 14°04,1'W	286-246	137	9	2	375
77	12.06.	80°05,7'N 15°44,9'W	80°05,8'N 15°44,7'W	375-376	181	24	-7	110
79	13.06.	80°12,0'N 13°49,5'W	80°12,1'N 13°48,9'W	149-150	143	46	4	100
99	19.06.	78°54,5'N 12°05,0'W	78°54,5'N 12°04,5'W	274-276	93	59	78	82
127	03.07.	79°25,4'N 15°37,6'W	79°25,1'N 15°35,3'W	37-27	164	3	14	500

Fortsetzung

Tab. A.1

Liste der ROV-Stationen vor Nordostgrönland (FS "Polarstern", ARK IX/2-3).

Abst. SK: Abstand zur östlichen hangparallelen 300 m-Tiefenlinie (Scheifkante). Abst.

EK: Abstand zur Eiskante. Abst. G: Abstand zur 300 m-Tiefenlinie des Grabenstems

(für Stationen tiefer als 300 m wurden negative Vorzeichen vergeben).

Station #	Datum 1993	Position Anfang	Position Ende	Tiefe (m)	Abst. SK (km)	Abst. EK (km)	Abst. G (km)	analyzierte Fläche (m ²)
128	04.07.	79°31,3'N 15°46,6'W	79°31,7'N 15°42,6'W	124-111	174	5	12	1153
145	08.07.	80°00,8'N 06°46,6'W	80°00,7'N 06°45,1'W	311-308	0	178	-4	230
155	11.07.	80°07,7'N 10°41,0'W	80°07,4'N 10°42,6'W	186	85	118	13	475
163	12.07.	80°48,1'N 14°04,6'W	80°47,9'N 14°01,8'W	30-188	122	0	30	474
172	13.07.	80°01,7'N 13°18,3'W	80°01,5'N 13°16,9'W	96-90	135	67	26	313
189	15.07.	81°10,5'N 10°57,6'W	81°10,5'N 10°56,9'W	68-69	39	3	76	120
190	16.07.	81°04,6'N 10°30,1'W	81°04,7'N 10°31,0'W	55-54	37	3	74	102
232	22.07.	80°10,9'N 16°,12,7'W	80°10,8'N 16°12,0'W	277-304	187	14	0	166
234	22.07.	79°57,0'N 15°03,5'W	79°57,0'N 15°02,3'W	181-180	168	33	3	163
239	23.07.	79°10,6'N 15°08,6'W	79°10,5'N 15°12,7'W	51	154	0	20	783
240	24.07.	79°23,2'N 14°58,5'W	79°23,6'N 14°59,0'W	62	157	13	24	311
242	24.07.	70°24,8'N 15°37,3'W	79°24,8'N 15°36,6'W	46-44	168	6	15	152

Tab. A.2 Liste der ROV-Stationen im Weddellmeer (FS "Polarstern", ANT VI/3).
 Abst. SK: Abstand zur hangparallelen 500 m-Tiefenlinie (Schelfkante), für Stationen tiefer als 500 m wurden negative Vorzeichen vergeben. Abst. EK: Abstand zur Schelfeiskante.

Station #	Datum 1988	Position		Tiefe (m)	Abst. SK (km)	Abst. EK (km)	analysierte Fläche (m ²)
		Anfang	Ende				
305	19.01.	71°07,4'S 12°59,9'W	71°08,1'S 13°00,1'W	553-523	0	35	116
307	10.01.	71°08,6'S 12°17,9'W	71°08,9'S 12°08,9'W	451-403	2	17	206
308	19.01.	71°14,8'S 12°59,3'W	71°15,4'S 12°59,8'W	194-198	13	28	654
314	21.01.	74°32,5'S 26°38,6'W	74°32,0'S 26°37,3'W	475-478	0	61	292
332	24.01.	74°30,2'S 26°24,6'W	74°30,1'S 26°26,8'W	482-479	0	54	320
333	24.01.	74°39,1'S 26°56,0'W	74°39,4'S 26°58,0'W	411-422	2	80	449
342	26.01.	74°39,4S 34°02,9W	74°39,6S 34°05,5W	557-553	-36	337	128
362	30.01.	77°14,8'S 34°15,9'W	77°15,3'S 34°16,6'W	416-407	11	20	360
387	06.02.	71°22,8'S 13°57,4'W	71°24,0'S 13°56,9'W	307-272	4	60	677
418	09.02.	71°19,4'S 12°24,8'W	71°19,4'S 12°24,8'W	174-175	2	35	94
424	10.02.	70°57,4'S 11°05,7'W	70°57,4'S 11°07,6'W	333-336	11	12	294
438	12.02.	70°51,1'S 10°59,5'W	70°51,8'S 11°01,2'W	411-386	2	18	614
471	17.02.	75°25,2'S 26°47,2'W	75°25,6'S 26°47,4'W	220-223	145	11	307

Fortsetzung

Tab. A.2

Liste der ROV-Stationen im Weddellmeer (FS "Polarstern", ANT VI/3).

Abst. SK: Abstand zur hangparallelen 500 m-Tiefenlinie (Schelfkante), für Stationen tiefer als 500 m wurden negative Vorzeichen vergeben. Abst. EK: Abstand zur Schelfeiskante.

Station #	Datum 1988	Position		Tiefe (m)	Abst. SK (km)	Abst. EK (km)	analysierte Fläche (m ²)
		Anfang	Ende				
472	18.02.	74°44,7'S	74°45,1'S	456-454	9	73	716
		26°27,9'W	26°25,3'W				
472b	18.02.	74°45,8'S	74°46,1'S	455-452	19	57	115
		26°25,8'W	26°25,9'W				
512	27.02.	70°47,5'S	70°48,1'S	271-391	2	26	925
		10°33,8'W	10°37,3'W				

Tab. A.3 Liste der ROV-Stationen im Bellingshausen-/Amundsenmeer (FS "Polarstern", ANT XI/3).
 Abst. SK: Abstand zur hangparallelen 500 m-Tiefenlinie (Schelfkante). Abst. EK: Abstand zur Schelfeiskante.

Station #	Datum 1994	Position		Tiefe (m)	Abst. SK (km)	Abst. EK (km)	analysierte Fläche (m ²)
		Anfang	Ende				
8	23.01.	68°11,5'S 67°28,7'W	68°11,6'S 67°29,0'W	203-164	21	9	263
13	29.01.	68°29,3'S 72°44,1'W	68°29,2'S 72°45,1'W	534-586	69	63	422
15	30.01.	67°33,2'S 68°02,6'W	67°32,9'S 68°02,5'W	138-153	2	2	333
16	01.02.	68°14,6'S 73°12,0'W	68°15,0'S 73°13,0'W	327-328	46	100	586
22	06.02.	71°59,4'S 75°16,3'W	71°59,6'S 75°16,6'W	463-488	232	2	545
31	08.02.	71°35,9'S 75°33,2'W	71°36,0'S 75°33,3'W	236-226	200	7	200
58	28.02.	72°56,8'S 121°36,7'W	72°57,1'S 121°38,1'W	470-473	30	65	727
59	01.03.	72°50,0'S 121°16,5'W	72°49,2'S 121°14,9'W	384-386	13	78	697
60	01.03.	72°45,1'S 121°05,0'W	72°44,7'S 121°05,0'W	442-446	4	85	445
77	10.03.	68°13,9'S 67°31,1'W	68°13,9'S 67°31,1'W	170-172	19	12	193
78I	10.03.	67°51,1'S 67°29,6'W	67°51,2'S 67°31,4'W	317-355	17	6	882
78II	11.03.	67°51,9'S 67°25,8'W	67°51,6'S 67°26,1'W	159-229	20	5	893
79	11.03.	67°44,4'S 68°16,8'W	67°44,5'S 68°18,5'W	173-231	4	3	851

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen denen bedanken, die auf die eine oder andere Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. W. Arntz, der mir diese Arbeit ermöglichte. Das in mich und meine Arbeit gesetzte Vertrauen haben mir sehr geholfen. Er sah das Manuskript kritisch durch und gab mir zahlreiche Anregungen. Seine konstruktive Kritik war stets sehr hilf- und lehrreich.

Dr. Julian Gutt danke ich für die hervorragende und intensive Betreuung dieser Arbeit, für all die guten Diskussionen, seine Geduld bei der Durchsicht meiner Manuskripte und dafür, daß er sich immer für mich einsetzte. Vielen Dank, Julian!

Alexander Buschmann danke ich für die Hilfe bei etlichen Graphiken, Berechnungen und Computerproblemen. Werner Dimmler, der beste "Unterwasserelektroniker" zwischen 81°N und 78°S, machte den Einsatz des ROV erst möglich.

Ein großer Dank geht an die vielen Kolleginnen und Kollegen, die mir bei der Bestimmung der Arten geholfen haben. Ohne sie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Den Kollegen Alexander Buschmann, Dr. Julian Gutt, Dr. Michael Klages und Richard Steinmetz danke ich für die vielen Klönrunden über Themen, die glücklicherweise nicht immer mit dem AWI und der Wissenschaft zu tun hatten.

Ganz besonders danke ich meinen Freundinnen, Freunden und meiner Familie, die mich immer unterstützt haben. Ein besonderes Dankeschön geht dabei an meinen Vater, der es wohl nicht geglaubt hätte und meine Mutter, die es jetzt wohl glauben muß!

Mein größter Dank gilt meiner Frau Silke, die mir bei der Korrektur der Arbeit half und mich dabei bei meinem Kampf mit dem Dativ, Akkusativ und der Zeichensetzung unterstützte. Sie und unsere kleine Tochter Lisa ertrugen besonders während des letzten halben Jahres klaglos meine Launen und Gereiztheit. Auf ihre Liebe und Geduld war immer Verlaß.

Diese Arbeit wurde über zwei Jahre durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Schwerpunktprogramms "Antarktisforschung mit vergleichenden Untersuchungen in arktischen Eisgebieten" unter dem Aktenzeichen Gu 390/1-1 gefördert.