

Die Polarmeere — ein biologischer Vergleich*

Von Gotthilf Hempel**

Zusammenfassung: Nord- und Südpolarmeer sind in ihrer Entstehungsgeschichte und ihren heutigen Umweltbedingungen sehr verschieden. Plattentektonik, Paläozeanographie und Vereisungsgeschichte gaben dem Südpolarmeer frühzeitig den Charakter eines kalten Ringozeans, während das Nordpolarmeer erst spät zum Eismeer wurde. Das Südpolarmeer hat keine Land- oder Schelfbrücken nach Norden, es ist ringsum von Tiefsee umgeben; die breiten Schelfe der Arktis gehen dagegen kontinuierlich in die subarktischen und borealen Kontinentalränder über. Dementsprechend konnte sich im Südpolarmeer eine artenreiche, großenteils endemische Fauna entwickeln, in der aber viele Großtaxa (z. B. die meisten Fisch-, Dekapoden- und Molluskenfamilien) fehlen. Die arktische Fauna hat dank enger Bezüge zum Nordatlantik und Nordpazifik wenig Endemismen, sie ist artenärmer, aber familienreicher als die Fauna der Antarktis.

Die arktische Eisbedeckung besteht vor allem aus einer ganzjährigen mächtigen Packeisdecke im Nordpolarbecken, die mit dem Transpolarstrom und dem Beaufortwirbel langsam bewegt wird. Im Sommer werden die Schelfmeere vor den Küsten Sibiriens und Kanadas sowie an den Ausläszen in den Atlantik (Barentssee, Grönlandsee) und Pazifik (Beringmeer) eisfrei. Im Winter/Frühjahr reicht dagegen die Treibeisgrenze nahe an die Nordpolarfront heran.

Während im Nordpolarmeer der ganzjährig eisbedeckte Teil größer ist als die dauernd oder im Sommer eisfreien Flächen, ist im Südpolarmeer im Spätsommer über 90% und im Frühjahr etwa 50% der Fläche eisfrei. Das Südpolarmeer ist in seinem Stromsystem und der Eisbedeckung in drei Zonen gegliedert: Südlich der Polarfront (Antarktische Konvergenz) liegt eine breite, von der Westwinddrift beherrschte Zone, die das ganze Jahr eisfrei ist. Es folgt nach Süden eine etwa gleich große Zone, in der sich im Winter Meereis bildet, das im Sommer verschwindet. Diese Zone temporärer Eisbedeckung entspricht im wesentlichen der Ostwinddrift und den nördlichen Teilen der großen Wirbel des Rossmeeres und des Weddellmeeres. Dem Kontinent vorgelagert ist ein relativ schmaler Bereich permanenten Meereises, das nur gelegentlich vom Wind aufgerissen wird. Daher finden wir in der Arktis hauptsächlich mehrjähriges Meereis, während in der Antarktis über 90% des Meereises einjährig ist.

Hinsichtlich des Planktons ist die eisfreie Zone der antarktischen Westwinddrift dem Bereich der Nordpolarfront vergleichbar, es fehlen ihr aber die großen Schwärme pelagischer Fische. Der Bereich temporärer Eisbedeckung, d. h. die Zone zwischen sommerlicher und winterlicher Eisgrenze, wird in der Antarktis besonders von der pelagischen Lebensgemeinschaft des Krills besiedelt. Die kurze Nahrungskette Diatomeen-Krill-Wale hat sehr große trophische Schritte und eine relativ kleine Effizienz. Der Krill findet im Winter und Frühling Nahrung und Schutz im Meereis.

Das Benthos (insbesondere das Epibenthos) ist in der Antarktis erheblich reicher an Biomasse als entsprechende Gebiete der Arktis. Im Benthos beider Polarmeere, wie im Plankton und Nekton, gibt es einzelne Riesenformen, daneben aber auch viele kleinwüchsige Arten.

Für die Primärproduktion sind die unterschiedlichen Licht- und Eisverhältnisse im Nord- und Südpolarmeer besonders wichtig. Das arktische Mittelmeer liegt zirkumpolar nördlich von 70° N, der antarktische Ringozean im wesentlichen zwischen 60° S und 70° S. Damit ist das Lichtregime im Norden „polarer“ als im Südpolarmeer, d. h. der Jahresgang des Lichtes ist ausgeprägter, sommerliches Dauerlicht wechselt mit winterlichem Dauerdunkel. Die dickere Eisecke in weiten Teilen der Arktis bedeutet ganzjährigen Lichtmangel im Meer. Die Primärproduktion in der Arktis scheint geringer zu sein als in der Antarktis. Die bisherigen Messungen reichen aber hinsichtlich ihrer geographischen und jahreszeitlichen Verteilung nicht aus für eine Berechnung der mittleren Jahresproduktionen. Zumindest für die Antarktis besteht vielfach das Paradoxon geringer Primärproduktion bei hohem Nährstoff- und Lichtangebot.

Dünnes Meereis ist ein besonders wichtiger Biotop für Algen und die von ihnen zehrenden Konsumenten einschließlich des Krills. Im Frühjahr werden beim Abtauen des Meereises große Mengen teils toter, teils lebender Kieselalgen ins Wasser freigegeben. Viele sinken zum Meeresboden, andere setzen ihr Wachstum in der Wassersäule fort und tragen zum Aufbau der Frühjahrs-Phytoplanktonblüte bei. Die Hauptmenge der jährlichen Sedimentation ist auf eine kurze Zeitspanne im Frühling und Frühsommer konzentriert.

In eisarmen Zonen der Polarmeere spielen Flugvögel eine erhebliche Rolle. Die temporäre Meereiszone ist reich an Robben und in der Antarktis zusätzlich an Walen und Pinguinen, die sich hier von Krill ernähren. Der küstennahe Bereich der permanenten Packeiszone wird in der Antarktis von Kaiserpinguinen und Weddell-Robben ganzjährig besiedelt.

Fischereilich ist das Nordpolarbecken praktisch bedeutungslos, sehr ertragreich sind dagegen die Fischbestände an den atlantischen und pazifischen Ausläszen des Nordpolarmeeres (Beringmeer, Barentssee, grönländische Gewässer). In der Antarktis sind die ozeanischen Bereiche der Westwinddrift sehr arm an nutzbaren Fischbeständen. Um die subantarktischen und antarktischen Inseln konzentrieren sich Fische und deren warmblütige Konsumenten. In der Zone temporärer Eisbedeckung sind die bescheidenen Bestände kleinwüchsiger Fische fischereilich uninteressant. Eine stark vermehrte Nutzung der großen Krillbestände würde Fragen der Konkurrenz zu den natürlichen Krillkonsumenten (Fische, Vögel, Wale und Robben) aufwerfen.

Summary: The Arctic and Antarctic oceans are very different with regard to their genesis and their present environmental conditions. Early on, plate tectonics, paleo-oceanography and history of glaciation created a cold Antarctic ring ocean, whereas glaciation of the Arctic Ocean started rather late. The Southern Ocean has no shelf connections to the North; the broad shelf areas of the Arctic Ocean continuously merge into the sub-Arctic and boreal continental rise. Accordingly, many larger taxonomic groups (e. g. families of fishes, decapod crustaceans and molluscs) are absent in the Southern Ocean, while others evolved a high number of endemic species. In the Arctic, due to its close links with the North Atlantic and North Pacific, there are only few endemics. Hence, the Arctic fauna is less diverse on a species level but richer on a family level.

The Arctic ice cover mainly consists of a massive permanent pack-ice sheet in the Arctic Basin which is slowly moved with the Transpolar Drift Stream and the Beaufort Gyre. During the summer, the ice disappears from the Siberian and Canadian shelf waters as well as at outlets to the Atlantic (Barents Sea, Greenland Sea) and Pacific (Bering Sea). However, in winter/spring the southern boundary of the pack-ice approaches the Arctic Polar Front.

In the Arctic Ocean, the permanently ice covered part is larger than the areas which are free of ice permanently or in summer, whereas in the Southern Ocean 10% of the area is ice covered in late summer and 50% in spring. The Southern Ocean can be divided from North to South into three zones: the West Wind Drift adjacent to the Polar Front (Antarctic Convergence) is permanently ice free. This broad zone is followed by a large zone of similar size where sea ice is formed during winter which disappears again during summer. This zone of seasonal ice cover corresponds mostly with the East Wind Drift and the northern parts of the Ross Sea and Weddell Sea Gyre. A relatively narrow region of permanent sea ice cover situated next to the continent is only occasionally broken open by wind force. Thus most of the Arctic sea ice is multi-year ice whereas in the Antarctic more than 90% is one-year ice.

With regard to the plankton, the ice-free zone of the Antarctic West Wind Drift is comparable to the Arctic Polar Front zone. In the Antarctic, the area of temporary ice cover, i. e. the zone between the summer and winter ice boundaries, is mainly inhabited by the pelagic krill

* Erweitertes Manuskript des Eröffnungsvortrages der 14. Internationalen Polartagung, 9. April 1986, in Bremerhaven.

** Prof. Dr. Gotthilf Hempel, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Columbusstraße, D-2850 Bremerhaven.

community. The short food chain diatoms-krill-whales comprises very large trophic steps of relatively low ecological efficiency. In winter and spring the krill finds food and protection in the sea ice. Biomass of epibenthos in the Antarctic is considerably richer than in corresponding areas of the Arctic. In the benthos of both polar oceans as well as in the plankton and nekton there are some forms of gigantism but also many dwarf species occur. Differences in light and ice regimes in the Arctic and Antarctic oceans are particularly important for primary production. The Arctic inland sea lies north of 70° N, whereas the Antarctic circumpolar ocean is situated in most part between 60° S and 70° S. Thus, the light regime in the North is more "polar" than in the Southern Ocean, i. e. the annual light cycle is more pronounced with permanent light during summer alternating with permanent darkness during winter. The thick multi-year ice sheet in large areas of the Arctic results in very low light levels in the water column all year round. The primary production seems to be lower in the Arctic compared to the Antarctic, but the geographical and seasonal data coverage is not sufficient for estimating mean annual production figures. At least in the Antarctic, the paradox is found of low primary production in combination with a high supply of nutrients and light. Thin sea ice is a particularly important biotope for algae and their consumers, including krill. In spring when the sea ice melts, large amounts of living and dead diatoms are released into the water. Many of them sink to the bottom, others continue growth in the water column and hence contribute to build up the spring phytoplankton bloom. The bulk of annual sedimentation is concentrated within a short period in spring and early summer. Birds of flight play a considerable role in open water regions. Seals are abundant in the temporary sea ice zone of both polar oceans, as well as the krill-consuming whales and penguins in the Antarctic. The coastal area of the permanent pack-ice zone is inhabited by emperor penguins and Weddell seals all year round. In terms of fisheries, the Arctic Basin is practically without any importance whereas the Atlantic and Pacific outlets of the Arctic Ocean (Greenland waters, Barents Sea, Bering Sea) are highly productive. In the Antarctic, the oceanic regions of the West Wind Drift are very poor in exploitable fish stocks. Fish and their warmblooded consumers concentrate around the sub-Antarctic and Antarctic islands. The small fish in the zone of temporary ice cover are of no interest to fisheries. A considerably increased exploitation of the large krill stocks would raise questions concerning competition with the natural krill consumers (fish, birds, whales, seals).

1. EINLEITUNG

Jeder Polarforscher ist fasziniert von der Fülle pflanzlichen und tierischen Lebens im Meer im Gegensatz zur kärglichen Besiedlung der polaren Land- und Eisflächen. Für den biologischen Meeresforscher bergen die Polarmeere eine Reihe ökologischer Besonderheiten, die zu Vergleichen mit anderen Lebensräumen herausfordern und den Schlüssel zum Verständnis wichtiger Phänomene der marinen Stoffkreisläufe liefern. Für Physiologen, Ökologen und Evolutionsforscher bieten die Pflanzen und Tiere des Südpolarmeeres Beispiele für Anpassungen in der einzelnen Zelle, im Gesamtorganismus und in Lebensgemeinschaften. Ein besonderer Reiz der biologischen Polarforschung steckt im Vergleich der Nord- und Südpolarmeere. Den Gemeinsamkeiten hinsichtlich Eisbedeckung, Kälte und Jahresgang des Lichtes mit ihren Einflüssen auf die Lebensgeschichte und Physiologie der Organismen stehen Unterschiede in Topographie, Zirkulation und Entstehungsgeschichte gegenüber, die jeweils die Besiedlung prägten.

Bipolare Vergleiche fehlten bisher weitgehend, weil es an entsprechend ausgerüsteten Forschungsschiffen mangelte, und die meisten Institute sich nur auf eine der beiden Polarregionen konzentrierten. Mit dem eisbrechenden Forschungsschiff „Polarstern“ erhielten Meeresbiologen die Möglichkeit, in den Packeis-zonen beider Hemisphären unter einheitlichen Bedingungen zu forschen, d. h. mit den gleichen Fang- und Sammelgeräten Proben zu nehmen, in-situ Beobachtungen mit Unterwasserfernsehen und -photographie anzustellen und an Bord Experimente an frisch gefangenem Material durchzuführen. Die Arbeiten auf „Polarstern“, an denen sich zahlreiche Wissenschaftler aus verschiedenen Ländern beteiligten, stehen erst am Anfang. Die folgenden Ausführungen geben einen vergleichenden Überblick über ältere Befunde, die ursprünglich nicht zum Zweck bipolarer Vergleiche erhoben wurden. Dem Charakter eines Eröffnungsvortrages entsprechend wird dabei auf Literaturhinweise weitgehend verzichtet, sie finden sich größtenteils in der Arbeit von HEMPEL (1985). Eine ältere, ergiebige Quelle für Nord/Südvergleiche ist der von DUNBAR (1977) herausgegebene Symposiumsband „Polar Oceans“ (SCAR/SCOR Polar Oceans Conference 1974).

2. DIE BESIEDLUNGSGESCHICHTE DER POLARMEERE

Die heutige Fauna und Flora eines jeden Gebietes der Erde ist zu verstehen aus den Zuwanderungen in früheren Zeiten, dem Aussterben ansässiger Arten und der Evolution neuer Arten am Ort.

Für Arktis und Antarktis waren die geographische Isolation und der durch Umwelt und Besiedlungsdichte bestimmte Selektionsdruck recht verschieden.

Das Südpolarmeer ist ein Ringozean (Abb. 1), der in seinen oberflächennahen Schichten eine definierte Nordgrenze, die Polarfront (Antarktische Konvergenz) besitzt. Diese teilt die Westwinddrift in die nördliche subantarktische und Polarfrontzone und die südliche antarktische Zone. Für das oberflächennahe Plankton und für Fische des Epipelagials, nicht aber für Wale und Seevögel ist diese Konvergenz mit ihrem Temperatursprung von 2° C eine deutliche Barriere. In den tieferen Wasserschichten unterhalb 500—1000 m gibt es keine ozeanographische Nordgrenze der Antarktis. Hier besteht ein freier Faunenaustausch des Südpolarmees mit den tiefen Zonen aller drei Ozeane.

Die Westwinddrift und die südlich anschließende Ostwinddrift bedingen die zirkumpolare Verbreitung der pelagischen Fauna des Südpolarmees. Die großen Wirbel des Schelfwassers im Rossmeer und Weddellmeer, die komplexen Strömungsverhältnisse im Bereich der Antarktischen Halbinsel, des Scotiabogens und die untermeerischen Erhebungen des Kerguelen-Gaussberg-Rückens verleihen dem System regionale Strukturen, schaffen aber keine isolierten zoogeographischen Provinzen.

Das Südpolarmeer trennt seit ca. 25 Millionen Jahren die Schelfgebiete Südamerikas von denen der Antarktis. Bereits im Miozän vereiste das Meer teilweise und ist seitdem stets kalt geblieben. In den pleistozänen Vereisungen reichten die Schelfeise und Packeiszonen erheblich weiter nach Norden als heute. Über die Fauna unter den Schelfeistafeln wissen wir sehr wenig. Sie ist vollkommen auf allochthone Nahrungszufuhr angewiesen. Das Vorrücken und Zurückziehen der Schelfeise bedeutete vermutlich die Vernichtung der bestehenden Lebensgemeinschaften und die spätere Neubesiedlung weiter Schelfgebiete, was im Pelagial sicher schneller vonstatten ging als am Meeresboden.

Das Nordpolarmeer ist ein Mittelmeer (Abb. 2). Zum Pazifik besteht nur der flache und schmale Zugang der Beringstraße, zum Atlantik bildet nur die Framstraße einen Tiefwasserkanal, die Barentssee ist eine flache Austauschzone. Im Gegensatz zur Antarktischen Konvergenz ist die Grenze des Nordpolarmees unscharf; die Arktische Front ist diskontinuierlich und starken Schwankungen unterworfen. Östlich Grönland verlaufen die Grenzen zwischen dem arktischen, polaren und dem subpolaren Wasser nord-

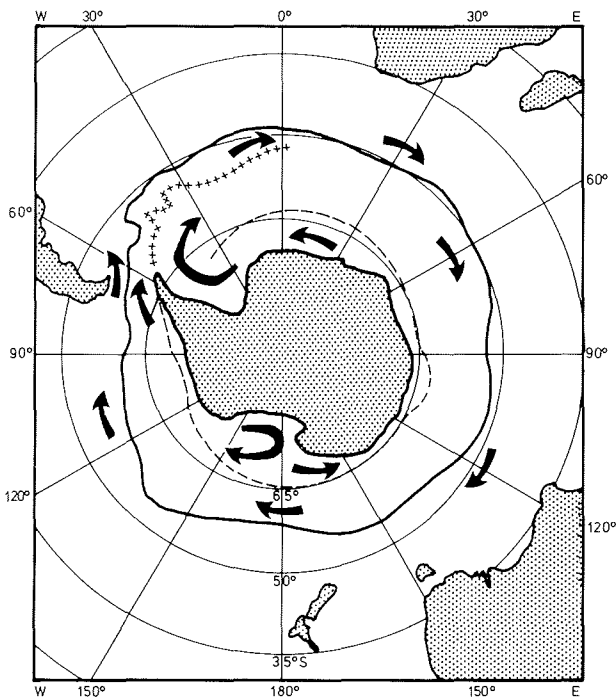


Abb. 1: Schema der Oberflächenströmungen des Südpolarmees. Fette Linie — Polarfront (Antarktische Konvergenz), gestrichelte Linie = Kontinentale Front (Continental Water Boundary, Antarktische Divergenz), Kreuze = Weddell-Scotia Konfluenz. Aus HEMPEL 1985.

Fig. 1: Surface currents of the Southern Ocean. Solid line = Polarfront (Antarctic Convergence), hatched line = Continental front (Continental Water Boundary, Antarctic Divergence), crosses = Weddell-Scotia Confluence. From HEMPEL 1985.

südlich, mit einer stärkeren Differenz der Oberflächentemperatur als an der Südpolarfront. Im Oberflächenbereich der Framstraße und des nördlich anschließenden Nansenbeckens kommt es zu einem recht intensiven Eintrag warmen nordatlantischen Wassers, des Westspitzbergenstromes, das sich hier mit Wasser arktischer Herkunft mischt. Dieser Zustrom bedingt, daß das Oberflächenplankton des Nansenbeckens im wesentlichen ein stark verarmtes Nordatlantikplankton ist.

Im Gegensatz zum Südpolarmeer erhält das Nordpolarmeer starke Zuflüsse vom Land, was zu haliner Schichtung führt. Die Öffnung der Framstraße erfolgte frühzeitig vor über 30 Millionen Jahren, die Vereisung des Nordpolarmees begann aber erst mit Anfang des Pleistozäns, d. h. viel später als in der Antarktis (THIEDE 1986). Mit dem Wechsel von Vereisungen und Zwischeneiszeiten in der jüngsten geologischen Vergangenheit war zumindest die Peripherie des Nordpolarmees starken Schwankungen in Temperatur und der Bedeckung mit Packeis und Schelfeistafeln ausgesetzt.

Die Meereisdecke und der Jahresgang ihrer Ausbreitung sind das ökologisch bedeutendste Umweltphänomen der Polarmeere (Abb. 3).

In der Antarktis bedeckt das Meereis im Frühjahr über die Hälfte des Südpolarmees (ca. 20–22 Mill. km²), im Herbst nur ca. 20% der Meeresfläche (ca. 4 Mill. km²). Außer in Buchten, wo das Meereis u. U. über mehrere Jahre stetig wachsen kann, erreichen die antarktischen Meereisschollen am Ende des Win-

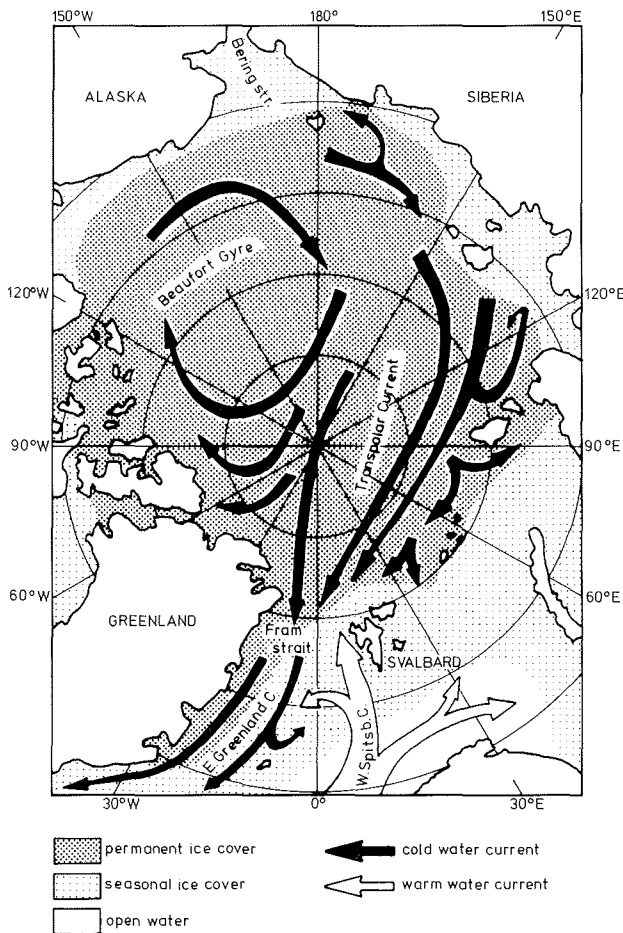


Abb. 2: Schema der Oberflächenströmungen in der Arktis. Aus HEMPEL 1985.

Fig. 2: Surface currents in the Arctic Ocean. From HEMPEL 1985.

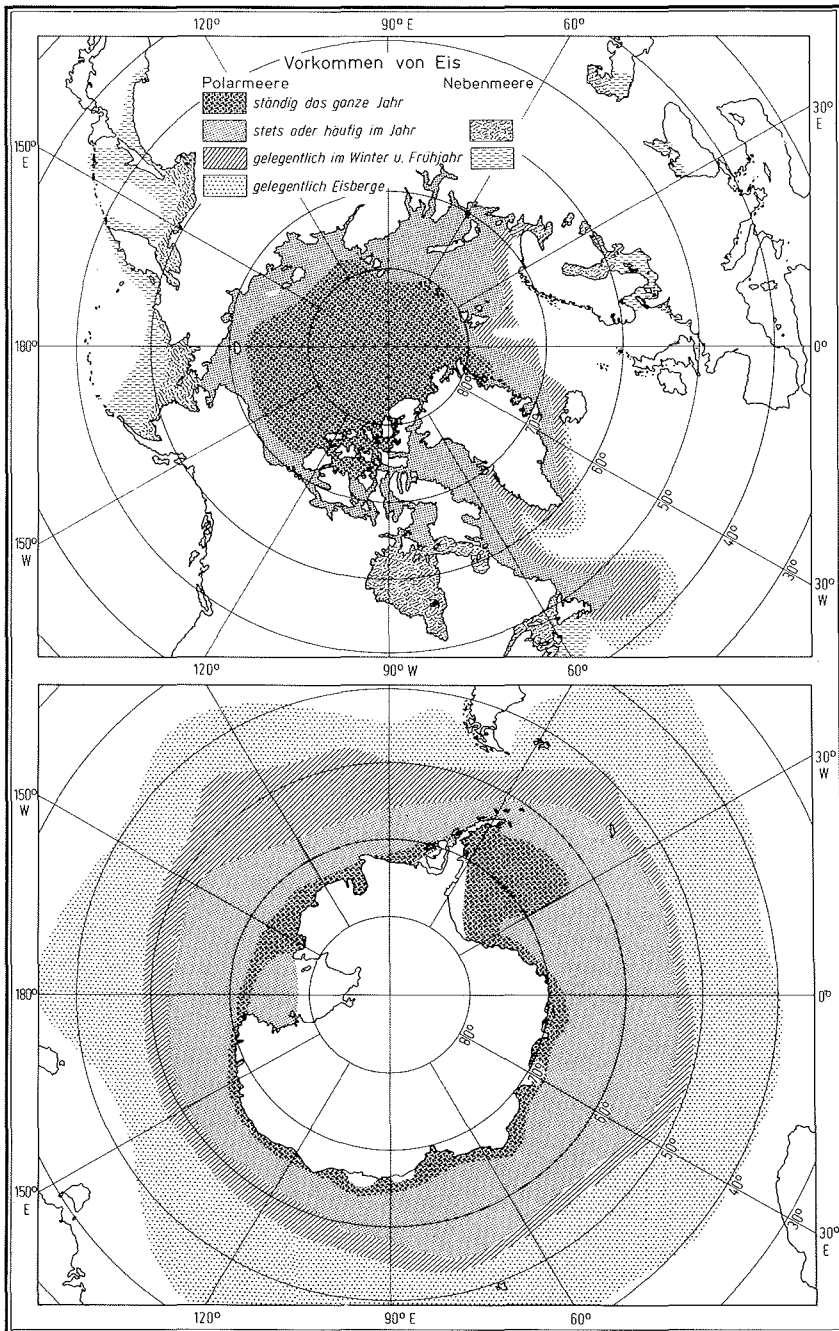


Abb. 3: Ausbreitung des Eises im Nord- und Südpolarmeer. Aus DIETRICH et al. 1975.

Fig. 3: Extension of sea ice in the Arctic and Antarctic. From DIETRICH et al. 1975.

ters selten mehr als einen Meter Dicke. Sie können sich aber übereinander schieben und in Preßbrücken einige Meter hoch auftürmen. Andererseits ist die Meereisdecke selten über große Flächen vollständig geschlossen. Rinnen und Waken bis hin zu kilometerbreiten Polynyas, besonders im Küstenbereich, gehören zum von Tag zu Tag wechselnden Bild der Eisbedeckung in der Antarktis.

Das Nordpolarmeer ist im Winter fast vollständig mit Eis bedeckt. Während in der Antarktis einwinteriges Meereis stark dominiert, liegt im Nordpolarbecken mehrjähriges, stark ausgesüßtes und hartes Meereis von 3—5 m Dicke, dessen Ausbreitung weit geringeren jahreszeitlichen Schwankungen als in der Antarktis unterliegt. In der Arktis ist die Eisdecke recht fest geschlossen. Kurzfristige und jahreszeitliche Veränderungen in der arktischen Eisbedeckung erfolgen hier nur an den Beckenrändern und vor allem an den südlichen Ausläsßen in Beringmeer und Barentssee/Grönlandsee (WADHAMS 1986).

Für die Besiedlung des Bodens (KNOX & LOWRY 1977, PICKEN 1985) bieten die breiten Schelfgebiete des Nordpolarmeeres, besonders vor den eurasischen Küsten günstige Ausbreitungsmöglichkeiten. Barentssee, Karasee und Davisstraße wurden vorwiegend aus dem Atlantik besiedelt, während die breiten Schelfe Sibiriens und die Seegebiete des Kanadischen Archipels eine pazifische Fauna aufweisen, die durch die Beringstraße eingewandert ist. Vermutlich handelt es sich meist um eine junge, postglaziale Kolonisation.

Das Benthos der schmalen Schelfgebiete der Antarktis ist teils von Südamerika, teils aus der Tiefsee eingewandert (Abb. 4). Vielleicht gibt es darüber hinaus eine Reliktf fauna aus der Zeit vor dem Abreißen der Schelfbrücke nach Südamerika. Ein dünner, stetiger Austausch mit dem südamerikanischen Schelf hat sich über den Scotiabogen und die subantarktischen Inseln erhalten, er prägt die magellanische Faunenprovinz. Vom Verbreitungszentrum Feuerland ausgehend werden Bodentierarten vor allem als pelagische Larven mit der Westwinddrift nach Osten zirkumpolar verfrachtet. Die Artenzahlen auf den verschiedenen subantarktischen Inseln spiegeln den Ausdünnungsvorgang entlang des weiten Driftweges wider. Insgesamt ist aber der Austausch der antarktischen Schelffauna mit den benthischen Lebensgemeinschaften anderer Meeresgebiete gering. Die den Kontinent rings umgebende Tiefsee ist für Flachwasserorganismen Südamerikas schwer zu überwinden. Eine Besonderheit ist die abyssale Einwanderung, d. h. die Besiedlung des antarktischen Schelfs mit einigen Tiefseeformen. Sie wird in der Antarktis durch die gleichmäßig

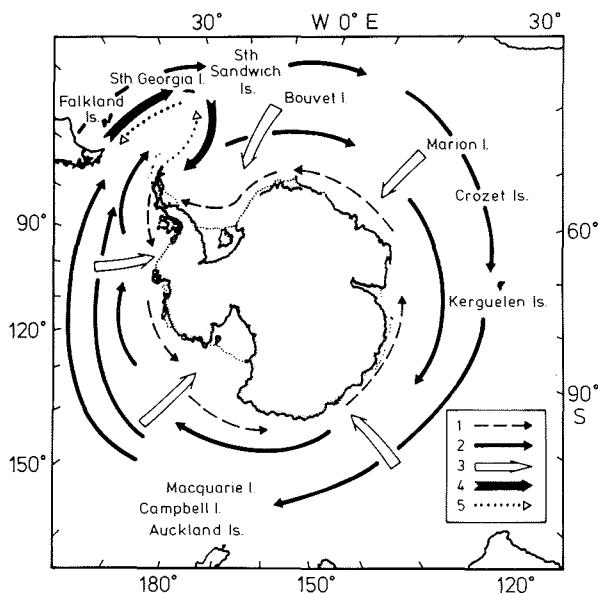


Abb. 4: Einwanderung des Benthos auf den antarktischen Festlandssockel und die antarktischen/subantarktischen Inseln. Oberflächennahe Ausbreitungswege: 1 = Ostwinddrift, 2 = Westwinddrift. Ausbreitung am Boden: 3 = Abyssale Einwanderung, 4 und 5 = Einwanderung und Rückwanderung von und nach Patagonien auf dem Scotia-Bogen. Nach KNOX & LOWRY 1977.

Fig. 4: Immigration of benthos on the Antarctic continental shelf and in the region of the Antarctic and subantarctic islands. Surface dispersal: 1 = East Wind Drift, 2 = West Wind Drift. Dispersal on the sea floor: 3 = Abyssal immigration, 4 and 5 = Immigration as well as emigration of benthos from and to Patagonia via the Scotia Arc. After KNOX & LOWRY 1977.

niedrigen Temperaturen auf dem Schelf ermöglicht, vielleicht auch durch dessen beträchtliche Wassertiefe (500—800 m).

Die lange geographische Isolation des antarktischen Benthos und ein geringer Austausch innerhalb der Antarktis, bedingt durch das Fehlen pelagischer Larven bei einer Reihe von Arten, hat vielfach zu Sonderentwicklungen mit Bildung neuer Arten geführt. Die Bodenfauna der Antarktis ist daher ungewöhnlich reich an Tierarten, die nur hier vorkommen und manchmal nur auf Teilgebiete der Antarktis beschränkt sind. So sind dreiviertel aller antarktischen Stachelhäuterarten und über 90% der Fischarten endemisch.

3. DAS PHYTOPLANKTON DER POLARMEERE

Für die Entwicklung des Phytoplanktons sind in den Polarmeeren wie in allen Teilen des Weltmeeres die Umweltfaktoren Licht, Temperatur, Nährstoffe, Vertikalzirkulation und Wegfraß entscheidend. Diese Faktoren hängen direkt oder indirekt von der Eisverbreitung ab. Das Südpolarmeer liegt überwiegend nördlich des Polarkreises, d. h. außerhalb der Zone ausgeprägter Polarnacht und Mitternachtssonne. In der Westwinddrift herrschen Jahres- und Tagesgänge des Lichtes wie in den nördlichen gemäßigten Zonen des Atlantiks und Pazifiks. In höheren Breiten, etwa des Weddellmeeres, wirkt sich der niedrige Sonnenstand ungünstig auf die Eindringtiefe des Lichtes aus und der Jahresgang der Strahlung wird gegenüber dem Tagesgang akzentuiert.

Tiefgreifende vertikale Vermischung der Wassersäule bedeutet für die Phytoplanktonzellen eine Herabsetzung der Verweildauer in der euphotischen Zone und damit ein im Mittel geringeres Lichtangebot. Wieweit sich dies tatsächlich in der Antarktis, besonders im Sommer, auswirkt, ist neuerdings umstritten.

Das Südpolarmeer ist frei von terrigenen Trübstoffen. Die Durchsichtigkeit des Wassers ist damit fast ausschließlich vom Gehalt von Phytoplankton bestimmt. Wenn dieses fehlt, ist die Eindringtiefe des Lichtes extrem hoch. Jede Eisdecke schirmt die Wassersäule gegen Sonneneinstrahlung je nach Dicke, Eisstruktur und Schneebedeckung in unterschiedlichem Maße ab, sie reduziert aber auch die Turbulenz. In Gebieten, die erst spät im Frühjahr eisfrei werden, ist das Jahresangebot an Licht stark reduziert und die Frühjahrsblüte des Phytoplanktons wird unterdrückt. Der Lichtmangel unter dem Eis könnte der limitierende Faktor für die Entfaltung von Phytoplanktonpopulationen sein. Dementsprechend finden wir hier Schattenformen besonders häufig. Im Gefolge des zerbrechenden und sich zurückziehenden Eises treten Planktonblüten mit auffallenden Artensukzessionen auf. Sie resultieren aus dem Wechselspiel von Vermehrungs- und Absinkrate und aus der unterschiedlichen Herkunft der einzelnen Arten, je nachdem, ob sie sich aus einer dünnen überwinterten Phytoplanktonpopulation oder aus den Eisalgen entwickeln.

Die Primärproduktion des Phytoplanktons kann stellenweise, vor allem am Eisrand und auf dem Schelf kurzfristig hoch sein. Sie bildet die Nahrung für Herbivore, z. B. Krillschwärme, die dem Eisrand folgen können. Da in diesen Gebieten schon in den sechziger Jahren Produktionsmessungen gemacht wurden, entstand der Mythos von der enormen pflanzlichen Produktivität der antarktischen Gewässer. Hieraus schloß man auf eine große Produktion auf der Stufe der Herbivoren (Krill) und Carnivoren (Fische, Wale). Aufgrund vermehrter Messungen in anderen Teilen des Südpolarmeeres wissen wir jetzt, daß in den weiten ozeanischen Gebieten und über die meiste Zeit des Jahres auch in der temporären Packeiszone die Primärproduktion recht gering ist (EL-SAYED 1981, 1984).

In der Arktis zeigten Untersuchungen beim Marginal Ice Zone Experiment (MIZEX) 1983 und 1984 eine ähnliche Bindung des Phytoplanktons an die Eisverhältnisse (Abb. 5). Auch hier wurden klare Phytoplankton-Sukzessionen beobachtet. Als extrem arm an Phytoplankton erwiesen sich die Packeiszone des Ostgrönlandstromes und die breite Polynya auf dem ostgrönländischen Schelf.

4. POLARE ZOOPLANKTONGEMEINSCHAFTEN

Im Prinzip ist das Zooplankton beider Polarmeere einander ähnlich. In den subpolaren Gebieten und in der Westwinddrift herrschen auf beiden Hemisphären Copepoden, Euphausiiden und Salpen vor. Diese Gruppen können auch relativ niedrige Konzentrationen von Phytoplankton nutzen; Fortbewegung und Fressen erfolgen in einem Arbeitsgang. Dabei unterscheiden sich Salpen und Crustaceen grundsätzlich in ihren Lebensformen. Unter günstigen Nahrungsbedingungen können sich dank schneller Vermehrung und Wachstum in wenigen Wochen dichte Salpenpopulationen entwickeln, die schnell wieder absterben (REINKE 1986). Polare Copepoden und Euphausiiden sind dagegen langlebig. Sie produzieren ihre Eier meist im Winter/Frühjahr, die Larven entwickeln sich im Sommer. Die juvenilen Copepoden sinken im Herbst ab. Der antarktische Krill, *Euphausia superba*, und der hocharktische Copepode *Calanus hyperboreus* haben gemeinsam, daß sie mehrjährig sind und daß ihre Eier und Nauplien vorwiegend in großen Tiefen vorkommen. Während ihrer frühen Larvalentwicklung steigen sie zur Oberfläche, wo sie im Laufe mehrerer Jahre zu geschlechtsreifen Tieren heranwachsen. Dabei spielt offenbar das Nahrungsangebot eine viel größere Rolle als kleine Unterschiede in der Temperatur. Krill, im Aquarium bei gleicher Temperatur wie im Meer gehältert, wuchs bei guter Fütterung doppelt so schnell wie im Freiland (MARSCHALL, pers. Mitt.).

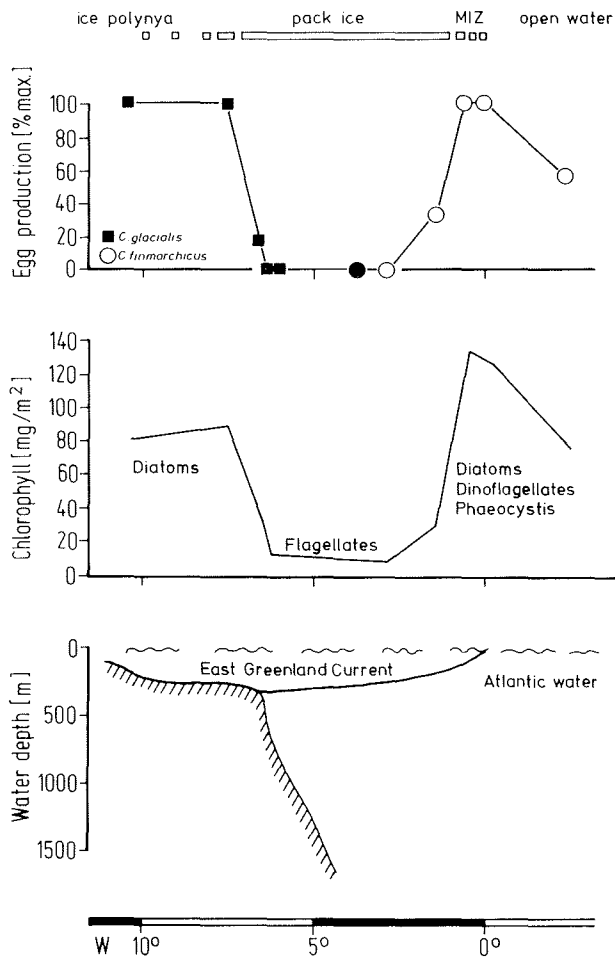


Abb. 5: Eiproduktion von zwei Copepodenarten sowie Chlorophyllverteilung im Bereich des Ostgrönlandstromes in Beziehung zur Eisverteilung (HIRCHE & BOHRER, unpubl.).

Fig. 5: Egg production of two copepod species and chlorophyll distribution in the region of the East Greenland Current in relation to the ice cover (HIRCHE & BOHRER, unpubl.).

Die Verbreitung des antarktischen Zooplanktons ist klar zonal gegliedert, mit Biomassemaxima nahe der Polarfront und dicht nördlich der Antarktischen Divergenz. Ansonsten ist die Westwinddrift arm an Zooplankton im Vergleich zur entsprechenden Zone in der Subarktis. Copepoden herrschen vor, sie machen aber nach Süden zu immer mehr den Euphausiiden und Salpen Platz. In der Ostwinddrift lebt vor allem der Krill. Das Schelfwasser enthält wenig Zooplankton, hier findet sich im Sommer im freien Wasser kein Krill, wohl aber dessen kleinerer Verwandter, *Euphausia crystallographias*, zusammen mit einigen Copepoden und zeitweilig mit Fischlarven (*Pleuragramma antarcticum*). Im Winter ist der Krill über den gesamten Packeisgürtel des Weddellmeeres verbreitet (MARSCHALL, pers. Mitt.).

Anhand der Planktonfänge der „Polarstern“ konnten für das östliche Weddellmeer deutliche Gruppierungen durch Clusteranalysen statistisch gesichert werden (Abb. 6).

Die ozeanische Ostwinddrift enthält ein artenreiches Zooplankton, in dem keine einzelne Art dominiert. Herbivore, omnivore und carnivore Copepoden halten sich die Waage. Im nördlichen Schelfwasser machen dagegen zwei Copepodenarten und Euphausiidenlarven dreiviertel der Biomasse aus. Sie alle sind herbivor. Daneben kommen auch viele seltene Arten in sehr kleinen Individuenzahlen vor. Im Süden des Weddellmeeres gibt es eine spezielle artenarme Küstengemeinschaft, in der eine Copepode und ein Euphausiide dominieren (BOYSEN-ENNEN 1986, PIATKOWSKI 1986).

Im Groben entspricht diese Zonierung der Eisverteilung. Die Westwinddrift ist weitgehend eisfrei, in der Ostwinddrift herrscht ein jahreszeitlicher Wechsel der Eisbedeckung, während der hochantarktische Schelfbereich die meiste Zeit des Jahres eisbedeckt ist. Sie ist aber zugleich durch eine kurzzeitige Veränderlichkeit zwischen Küstenpolynya, geschlossener Meereisdecke und vielfältigen Packeisbildungen gekennzeichnet.

Regelmäßige und systematische Untersuchungen der letzten Jahre haben für verschiedene Gebiete der Antarktis eine hohe Variabilität im Auftreten des Planktons in den Oberflächenschichten gezeigt (HEMPEL 1985). Das zeitweilige Auftreten von Larvenformen und die Abwanderung von Planktontieren in größere Tiefen spielen dabei eine wichtige Rolle. Für Krill und Salpen wurden auch erhebliche Schwankungen von Jahr zu Jahr nachgewiesen. Krill kommt beispielsweise bei Südgeorgien, d. h. am Rande seines Verbreitungsgebietes, durchaus nicht in jedem Jahr vor.

In der Arktis ist der Einfluß der Eisverhältnisse auf die Zooplanktonverteilung besonders deutlich (Abb. 5). Entsprechend dem eng gebündelten Stromsystem und der Eisgrenze verlaufen in der Framstraße die Verbreitungsgrenzen der dominierenden Arten meridional. Der Ostgrönlandstrom ist arm an Zooplankton, vorherrschend sind hier die beiden großen Copepoden *Calanus glacialis* und *Calanus hyperboreus*. Im Mischwasser der arktischen Frontzone tauchen bereits *Calanus finmarchicus*, Amphipoden und Chaetognathen auf, die dann gemeinsam mit anderen borealen Arten das Plankton des warmen West-Spitzbergenstromes prägen. Hier fing „Polarstern“ 60 Copepoden pro Kubikmeter in den oberen 1000 m der Wassersäule gegenüber 16 Tieren im Ostgrönlandstrom.

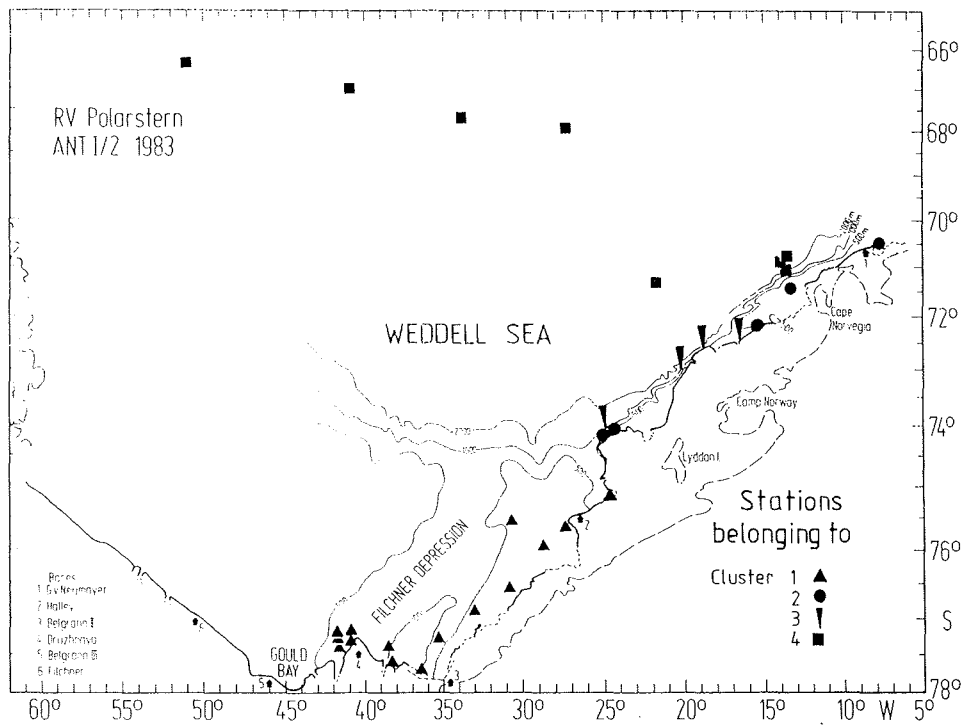
Die Ähnlichkeit zwischen antarktischem und arktischem Zooplankton geht so weit, daß in manchen Fällen die nördlichen und südlichen Populationen einer gemeinsamen, bipolaren Art zugeschrieben wurden. Diese Bipolarität auf dem Artniveau muß aber aufgrund neuer, biochemischer Untersuchungen gelegentlich angezweifelt werden (SCHNEPPENHEIM & HAASS 1986).

5. WIRBELTIERE DER POLARMEERE

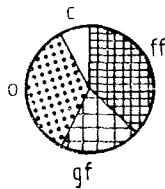
In den Polarmeeren, besonders aber in der Antarktis, stehen nicht die Fische, sondern die Warmblüter als die dominierenden Räuber an der Spitze der Nahrungspyramide. Die Ursache für diesen grundlegenden biologischen Unterschied zu den anderen Teilen des Weltmeeres besteht vermutlich in den niedrigen

Oberflächen- und Bodenwassertemperaturen der arktischen und antarktischen Gewässer, die unterhalb des Gefrierpunktes des Fischblutes liegen. Nur wenige Fischgruppen haben gegen diese Gefahr einen ausreichenden Frostschutz entwickelt. Möglicherweise brechen bei den extrem niedrigen Temperaturen auch komplexe enzymatische und nervöse Prozesse aufgrund der unterschiedlichen Temperaturabhängigkeit ihrer Einzelkomponenten zusammen.

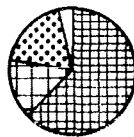
Nur wenigen „unempfindlichen“ Fischarten ist die Einwanderung in das Nordpolarmeer gelungen. Beispielsweise kommen hier nur zwei Dorscharten vor, obwohl diese Familie ihr Verbreitungszentrum in der



Southern Shelf
Community



Northern Neritic
Community



Oceanic
Community

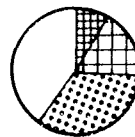


Abb. 6: Zooplanktongemeinschaften des nördlichen und östlichen Weddellmeeres. Die Karte zeigt die Zuordnung zu den einzelnen Gemeinschaften: Cluster 1 südliche Schelfgemeinschaft, Cluster 2 und 3 nördliche Schelfgemeinschaft, Cluster 4 Ozeanische Gemeinschaft. Die Gemeinschaften unterscheiden sich deutlich im Anteil der Ernährungstypen: gf grobe Filterfresser, ff feine Filterfresser, o Omnivore, c Carnivore.

Fig. 6: Zooplankton communities of the northern and eastern Weddell Sea. The map shows the allocation to various communities: Cluster 1 southern shelf community, cluster 2 and 3 northern shelf community and cluster 4 oceanic community. The communities are categorized according to the different feeding types: gf coarse filter feeders, ff fine filter feeders, o omnivores, c carnivores.

borealen Zone hat. In der Antarktis entwickelte sich eine eigenständige Fischfauna, die sich von der Fischbesiedlung des Weltmeeres und auch der des Nordpolarmeeres kraß unterscheidet. Die Zahl der antarktischen Knochenfischarten ist zwar größer als die der arktischen, sie ist aber auf wenige systematische Gruppen beschränkt, unter denen die endemischen Notothenioiden die wichtigste Rolle spielen. Zu ihnen gehören die Eisfische, deren Blut keine Erythrocyten und kein Hämoglobin enthält.

Im Südpolarmeer fehlen z. B. die Haie, die Herings- und Dorschartigen und die Plattfische, die die nordische Fischfauna prägen. In den oberen Wasserschichten der Westwinddrift des Südpolarmeeres gibt es kaum Fische, ganz im Gegensatz zu den riesigen Loddenschwärmen (*Mallotus villosus*) des Nordpolarmeeres (Abb. 7). In der Ostwinddrift und im Schelfwasser ist nur eine pelagisch lebende Art relativ häufig, der antarktische Silberfisch (*Pleuragramma antarcticum*).

Entsprechend der geringen Ausdehnung der antarktischen Schelfareale sind die Bodenfischbestände hier klein (SAHRHAGE 1984). Meist sind es langsamwüchsige Arten, die träge am Boden liegen und im Mittel kleiner bleiben als die borealen und arktischen Fische.

Für die Vögel und Säugetiere bedeuten die niedrigen Wassertemperaturen keine Gefahr, da sie als Warmblüter ein internes, für alle Körperfunktionen optimales Temperaturmilieu aufbauen, das lediglich gegen Unterkühlung und Überhitzung geschützt werden muß. Damit ist eine hohe lokomotorische und sinnesphysiologische Leistungsfähigkeit gewährleistet, die den Tieren die Möglichkeit gibt, bewegliche Beute — vor allem Krillschwärme — aufzuspüren und zu jagen. Die Erhaltung der hohen Körpertemperaturen erfordert eine starke Energiezufuhr in Form von Futter oder eine besonders gute Wärmeisolation. Letztere setzt aber der Beweglichkeit Grenzen, weil sie die Abfuhr der Muskelwärme behindert, was zu Überhitzung führen kann. Die schnell schwimmenden Furchenwale mit ca. 12 cm Blubberschicht und die trägen Glattwale mit 50 cm Blubber sind Beispiele für verschiedene Lösungen des Problems der Aufrechterhal-

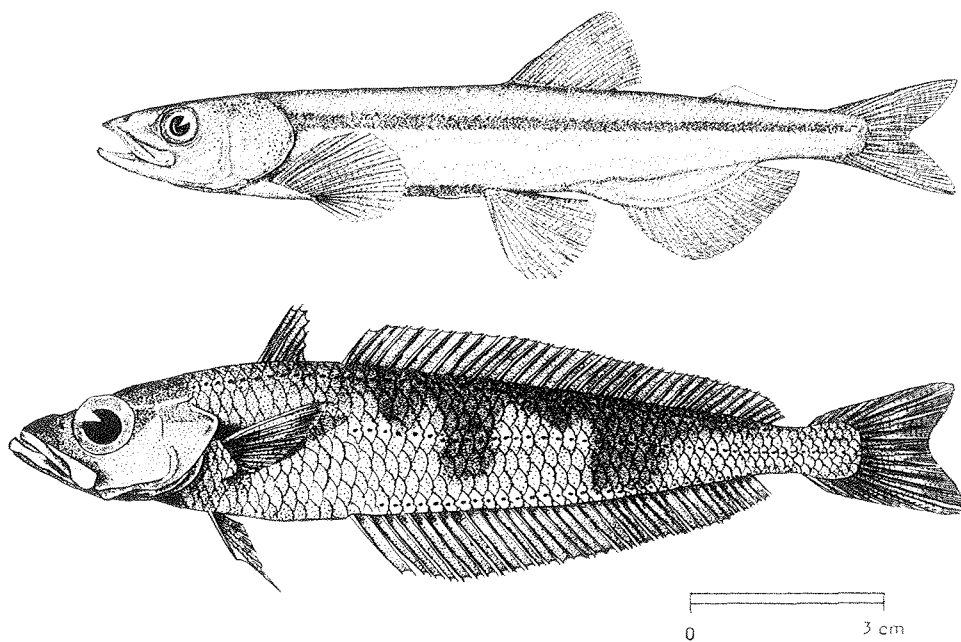


Abb. 7: Pelagische Fische des Nord- und Südpolarmeeres. Oben Lodde (*Mallotus villosus*), unten antarktischer Silberfisch (*Pleuragramma antarcticum*).

Fig. 7: Pelagic fishes of the Northern and Southern Ocean. Above Lodde (*Mallotus villosus*), below Antarctic silverfish (*Pleuragramma antarcticum*).

tung der Innentemperatur. Wahrscheinlich ist der Nahrungsbedarf eines Finwals sehr viel größer als der eines gleich großen Nordkapers. Dies mag der Grund dafür sein, daß die Arktis stärker von Glattwalen besiedelt war, während die nahrungsreichere Antarktis vor allem die Domäne der Furchenwale war.

Seit James Cook ist allen Besuchern des Südpolarmeeres der große Reichtum an Warmblütern aufgefallen. Die große Anzahl und Zutraulichkeit der Vögel und Robben gibt den Expeditionen in das Weddellmeer und die Bransfield Straße ihren besonderen Reiz gegenüber den Reisen in die Grönlandsee. In den subpolaren Zonen sind dagegen die Besiedlungsdichten nicht so unterschiedlich. Subpolare Inseln beider Hemisphären haben große Konzentrationen von Pelzrobben, die in der Antarktis südwärts bis zur Antarktischen Halbinsel vorgedrungen sind. Den subarktischen Vogelfelsen mit ihren Alken und Lummen stehen auf den subantarktischen Inseln große Pinguinkolonien gegenüber. Die größten Ansammlungen von Flugvögeln finden sich im Bereich der Arktischen Front und ihrem südlichen Äquivalent, der Polarfront (Antarktische Konvergenz). In der Antarktis sind die Sturmvögel vermutlich wichtige Konsumenten des Zooplanktons. In den arktischen Gewässern spielen pelagische Fische neben Vögeln und Walen eine größere Rolle beim Dezimieren der Konzentrationen von Copepoden und nordischem Krill (*Meganyciphanes norvegica*).

Neben wenigen bipolaren Arten, gelegentlich mit interhemisphärischen Wanderungen (Küstenseeschwalbe -*Sterna paradisea*- und Große Raubmöwe -*Stercorarius skua*-), besitzt jede Polarzone ihre eigene Avifauna. Die arktische Vogelfauna ist viel formenreicher als die antarktische. Hier gibt es in großer Artenzahl die Alke, Möwen und Seeschwalben, Strandläufer (Limikolen) und Entenvögel, die in der Antarktis fast gänzlich fehlen. Ähnlich wie bei den Fischen haben sich in der Antarktis nur einige wenige Familien (Albatrosse, Sturmvögel, Pinguine) entfaltet und erstaunliche Sonderentwicklungen hervorgebracht. Dies gilt besonders für die ausschließlich südhemisphärischen Pinguine. Auch ist hier der Riesenwuchs ausgeprägt: Wanderalbatross (*Diomedea exulans*), Riesensturmvogel (*Macronectes giganteus*) und Kaiserpinguin (*Aptenodytes forsteri*) gehören — neben den großen Laufvögeln der Steppen — zu den größten rezenten Vögeln überhaupt.

Die Säugetierfauna weist viele Ähnlichkeiten zwischen beiden Polarmeeren auf. Die Bartenwale und die größten Zahnwale (Pottwal, Schwertwal) sind ubiquitär, wobei die Bartenwale zur Nahrungsaufnahme vorwiegend auf die hohen Planktonkonzentrationen der subpolaren und polaren Meere angewiesen sind. Vermutlich waren die Bartenwalbestände der Antarktis immer erheblich größer als die arktischen. Fischfressende Zahnwale sind dagegen in der Arktis mit den Narwalen stärker vertreten. Innerhalb der einzelnen Arten werden die antarktischen Wale etwas größer als die arktischen.

Wie bei den Vögeln, so auch bei den Robben steht der großen Biomasse der antarktischen Populationen ihre Artenarmut gegenüber. Es fehlen in der Antarktis die Bodentierfresser, die in der Arktis mit Walroß und Bartrobbe vertreten sind. Umgekehrt hat die Krabbenfresserrobbe kein Äquivalent in der Arktis, sie gilt als die volkstärkste Robbenart der Erde. Ähnlich wie bei den Bartenwalen und Adéliepinguinen beruht die hohe Populationsdichte der Krabbenfresserrobbe auf dem reichen Nahrungsangebot der Krillschwärme. Tieftauchende Tintenfisch- und Fischfresser sind in der Antarktis Weddellrobbe und Seeelephant. Der antarktische Seeleopard entspricht als Warmblüterkonsument dem arktischen Eisbären.

Das Fehlen von Landraubtieren in der Antarktis ist aus der nordhemisphärischen Entstehungsgeschichte dieser Gruppe in Verbindung mit der tiergeographischen Isolation der Antarktis zu erklären. Die Brutbiologie der Pinguine und die relativ lange Laktationsperiode der Weddellrobben wären in Gegenwart von Polarfüchsen und Eisbären nicht denkbar. Bei den Walen und Robben hat der Mensch einschneidend in die Besiedlung eingegriffen. Die Glatt- und Blauwale sind in beiden Hemisphären fast verschwunden, andere Walbestände wurden drastisch reduziert. In den letzten Jahrzehnten wurde eine rasche Wiederbesiedlung von Pelzrobben auf Inseln beobachtet, auf denen die Bestände im vorigen Jahrhundert ausgerottet worden waren.

Als indirekte Auswirkung des Walfanges auf die Warmblüterpopulationen der Antarktis wurden schnelleres Wachstum, Vorverlegung der Geschlechtsreife und höhere Fortpflanzungsrate bei Bartenwalen und Krabbenfresserrobben beschrieben. Auch die Adéliepinguine als die wichtigsten Krillkonsumenten unter den Vögeln haben möglicherweise vom Rückgang der Walbestände profitiert.

Bei ihnen wirkt heute wahrscheinlich die Zahl der Nistplätze stellenweise stärker limitierend als der Futtermangel.

6. DIE BODENFAUNA DER POLARMEERE

Aus der Bodentopographie und der erdgeschichtlichen Entwicklung ergeben sich klare Unterschiede in der Bodenbesiedlung der beiden Polarregionen. Die Arktis verfügt über breite, relativ flache Schelfmeere, die reich an terrigenen Sedimenten sind; das Nahrungsangebot ist aufgrund der geringen Primärproduktion bescheiden. Die meisten Bodentiere sind postglazial eingewanderte Flachwasserformen.

In der Antarktis ist die Fauna vielfältigen Ursprungs. Die Mehrzahl der antarktischen Bodentiere hat eine direkte Entwicklung ohne Zwischenschaltung planktonischer Jugendstadien. Damit ist der Faunenaustausch selbst innerhalb der Antarktis gering, und es konnte im Laufe der langen Isolation zu einer großen Vielfalt endemischer Arten kommen.

Während in der Arktis die Mehrzahl der Bodentiere (Muscheln, Würmer, Seeigel) im Sediment eingegraben lebt, besteht die antarktische Bodenfauna im wesentlichen aus Schwämmen, Stachelhäutern und Moostierchen, die auf dem Sediment sitzen und sich als Filtrierer oder Suspensionsfresser ernähren. Für beide Polargebiete gilt wie überall im Weltmeer, daß die Bodenbesiedlung mit zunehmender Wassertiefe zurückgeht. Bezogen auf die gleiche Tiefenstufe ist aber die Biomasse der antarktischen Bodenfauna zehn- bis hundertmal größer als die der Arktis (KNOX & LOWRY 1977).

Wie erhält sich diese erstaunlich große Biomasse auf dem tiefen antarktischen Schelf? Die niedrigen Wassertemperaturen bedingen einen geringen Grundumsatz und langsames Wachstum, sie ermöglichen lange Ruhepausen ohne Nahrung. Zu bestimmten Zeiten, besonders beim Aufbrechen des Eises im Frühjahr, fällt viel organisches Material aus der Eisalgen-Gemeinschaft und den Phytoplanktonblüten an. Ein Teil wird von Krill, Salpen und Copepoden gefressen und als Kotballen wieder ausgeschieden, ein Großteil sinkt direkt zu Boden. In der Bransfield Straße und dem nordwestlichen Weddellmeer verankerte Sedimentfallen zeigten, wie innerhalb weniger Wochen im Frühsommer der größte Teil der Jahresmenge des Detritus, vor allem in Form sehr nährstoffreicher Kotballen, auf den Boden rieselt (WEFER, pers. Mitt.). Der bakterielle Abbau im freien Wasser und am Boden ist gering, und so kommt den Bodentieren ein sehr beträchtlicher Teil der pflanzlichen Produktion aus dem Meereis und den obersten Wasserschichten direkt zugute.

Die Zahl der Räuber und Aasfresser sinkt polwärts, zumindest in der Arktis. Dies gilt nicht nur für das Benthos, sondern auch für das Plankton und die Fische (NIKOLSKY & RADAKOV 1968). Verallgemeinernd könnte man von einer Verkürzung der Nahrungsketten unter den besonderen Bedingungen der Eismeere sprechen.

7. DIE BESIEDLUNG DES MEEREISES

Das Meereis bildet das Substrat für eine Fülle von Organismen, angefangen von Eisbären, Robben und Pinguinen, denen es Ruheplätze bietet, bis zu Mikroalgen, die hier ein günstiges Lichtmilieu und geeignete Aufwuchsbedingungen finden. Sie leben im Eis selbst oder bilden bräunliche Rasen an der Eisunterseite.

Die braune Färbung der vom Schiff aufgeworfenen Eisschollen fällt jedem Polarreisenden auf, gerade weil dieses Phänomen sehr fleckenhaft auftritt. Das Meereis als eigener Lebensraum mit selbständigen Lebensgemeinschaften ist aber erst seit einigen Jahren Gegenstand intensiver Untersuchungen durch Phytoplanktologen und Zoologen. Eine erste Zusammenfassung gibt HORNER (1985).

Im Gegensatz zum Süßwassereis ist das Meereis nicht homogen. Zwischen den Eiskristallen befinden sich mit Sole gefüllte Kanäle, die je nach der Genese des Eises und den herrschenden Temperaturbedingungen unterschiedlich geformt sind. Bei relativ hohen Wasser- und Lufttemperaturen erweitern sich die Kanäle und sind nach unten offen, während sie sich bei starkem Frost verengen und zu Taschen verschließen. Die Unterseite des Eises ist meistens bucklig oder stark zerklüftet, selten eben. Vielfach liegen durch Überschiebungen und Pressungen mehrere Platten unregelmäßig übereinander, und es entstehen Galerien, Terrassen, Klüfte und senkrechte Wände, die stellenweise mit Teppichen von stäbchenförmigen Bodendiatomeen überzogen werden. Aber auch die für das Phytoplankton typischen zentrischen Kieselalgen finden sich in großer Zahl im Meereis. Die Bestandsdichte ist äußerst variabel, liegt aber — bezogen auf das Wasservolumen — in der Regel um eine Zehnerpotenz und mehr höher als im darunter liegenden Meerwasser. Unter dem Meereis befindet sich oftmals ein meterdicker Brei von Eisplättchen und -nadeln, der vielfach von Algen braun gefärbt ist.

Die Primärproduktion im Meereis ist dank der stabilen Lichtverhältnisse recht hoch (HORNER 1985, GROSSI et al. 1987). Selbst eine dicke Schneedecke unterbindet nicht völlig die Photosynthese der dunkel adaptierten Algen. Die Entstehung der Algenpopulationen, insbesondere die rapide Besiedlung jungen Pfannkucheneises, wurde bereits auf der „Gauss“-Expedition 1903 beobachtet. Die Bedeutung der Eisalgen für die Wiederbesiedlung der Wassersäule im Frühling ist aber noch nicht bekannt.

Die Algenrasen und -taschen und das haltbietende Hartsubstrat des Meereises bilden die Lebensgrundlage einer reichen Fauna ein- und mehrzelliger Tiere, die sich meist direkt von den Algen ernähren. Diese komplexe pseudobenthische Gemeinschaft erinnert teils an die Sandlückenfauna, teils an die Besiedlung von Wattoberflächen. Ciliaten und Foraminiferen, Copepoden und Nematoden sind Dauerbewohner des Meereises, Amphipoden und Krill regelmäßige Gäste. Die Gemeinschaft wird in der Antarktis jedes Jahr im Winter neu gebildet und löst sich mit dem Eis im Sommer auf. In der Arktis, wo dickes mehrjähriges Eis vorherrscht, ist diese Fauna wahrscheinlich perennierend und mehr an der Unterseite des Eises zu finden als im Eis selbst. Die Organismen treffen im dicken, tief verschneiten, alten, und daher sehr kompakten Packeis auf wenig Nahrung. So spielen die Meereis-Lebensgemeinschaften in der Antarktis eine größere ökologische Rolle als in der Arktis.

Schon DUNBAR (1977) hatte darauf hingewiesen, daß die Diatomeenrasen des Meereises, aber auch die sie begleitende Fauna eine wichtige Nahrungsquelle für primär pelagische Organismen darstellen, die ihnen hilft, den Planktonmangel im Winter zu überstehen. Ihre Erforschung ist auch in Zukunft ein lohnendes Ziel der Untersuchungen mit „Polarstern“. Dabei sollte man auch der Frage nachgehen, in welchem Maße die herbivoren Crustaceen, vor allem der Krill, von Carnivoren unter dem Eis gefressen werden können.

8. ANPASSUNGEN AN DIE POLAREN LEBENSBEDINGUNGEN

Die Lebensbedingungen in den Packeiszonen des Nord- und Südpolarmeeres sind gekennzeichnet durch:

- Konstant niedrige Temperaturen, die noch unter denen der Tiefsee liegen und im Meereis mit extrem hohen Salinitäten einhergehen;
- Wenig Licht nahe der Oberfläche, wenn diese eisbedeckt ist;
- Räumlich und zeitlich unregelmäßige Primärproduktion durch Phytoplankton. Sie konzentriert sich auf kurze Planktonblüten in Abhängigkeit vom Wechsel der Eisbedeckung;
- Einen zusätzlichen Weidegrund an der Unterseite des Eises.

Bei der Darstellung der Flora und Fauna der Polarmeere wurde bereits auf zwei physiologische Anpassungen hingewiesen: Die Adaption des Phytoplanktons an geringe Lichtwerte und niedrige Temperaturen, sowie die Frostschutzmittel bei Fischen und Wirbellosen mit hyposalinen Körperflüssigkeiten. Die Temperaturanpassung des Stoffwechsels besteht einerseits im Austausch oder Umbau der empfindlichen Teile des Systems und andererseits in der allgemeinen Erhöhung der enzymatischen Leistung durch Einsatz neuer Enzyme mit einem Optimum bei niedrigen Temperaturen oder durch Vermehrung der Menge der bestehenden, bei Kälte wenig leistungsfähigen Enzyme.

Die Bedingungen für die in den Salzlaugenkanälen des Meereises lebenden Organismen schwanken sehr stark. Bei sehr niedriger Lufttemperatur können auch im Meereis Werte von -10°C auftreten. Hierbei friert soviel Süßwasser aus, daß in den Salzlaugenkanälen und -taschen eine Salzlake von 145‰ entsteht. Versuche haben gezeigt, daß Diatomeen solche Bedingungen mehrere Wochen überdauern können und daß bei einer Rückführung in weniger kaltes und salzhaltiges Wasser wieder rasches Wachstum einsetzt (BARTSCH pers. Mitt.). Die meisten tierischen Organismen überleben diese extremen Bedingungen nicht, obwohl auch sie zum Teil recht gut angepaßt sind; so tolerieren die im Eis lebenden Foraminiferen noch Salzgehalte bis 80‰ (SPINDLER, pers. Mitt.).

In die Arktis sind eurytherme Organismen eingewandert, die ein weites Temperaturspektrum ertragen und ihre Leistungsfähigkeit durch kleine Verbesserungen erhöht haben. Der Copepode *Calanus finmarchicus* vermag bei -1.5°C und bei 19°C Eier zu produzieren. In der Antarktis haben sich dagegen — wie in der Tiefsee — Formen entwickelt, deren Leistungsfähigkeit bei niedrigen Temperaturen noch relativ hoch, ihre Toleranz gegen höhere Temperaturen aber etwas herabgesetzt ist. Allerdings ertragen viele antarktische Tiere noch Temperaturen um 5°C . Die Enzymkinetik der Copepoden der Arktis und Antarktis ist nicht deutlich verschieden. Exkretion und Respiration steigen im Experiment selbst dann noch an, wenn die Temperaturerhöhung weit über das in der natürlichen Umgebung gegebene Maß hinausgeht. Das bedeutet, daß zumindest Einzelfunktionen der Organismen einen weit größeren Toleranzrahmen haben, als von Natur aus erforderlich (HIRCHE 1984).

Die Anpassung an das unregelmäßige Nahrungsangebot verlief in drei Richtungen:

- Das Prinzip des sparsamen Wartens des Benthos auf den Regen von Kotballen, Eisalgen und Phytoplankton. Ihm entsprechen niedriger Grundumsatz, geringe Fortpflanzungsrate, Fehlen von freischwimmenden Larven, Langlebigkeit und geringe Mobilität. Daraus resultierte eine dichte Bodenbesiedlung mit vergleichsweise niedrigem Nahrungsbedarf.
- Das opportunistische Prinzip rapider Vermehrung unter günstigen Bedingungen ist bei Salpen und wohl auch bei Appendicularien verwirklicht. Hier entstehen im Gefolge von Planktonblüten kurzfristig große Populationen, die bei Nahrungsmangel schnell bis auf Einzeltiere verschwinden.
- Langlebige Riesen mit anfangs schnellem, später langsamem Wachstum, geringer Fortpflanzungsrate, hoher Lebensdauer und oftmals intensiver Brutpflege sowie großer Energiespeicher für Hungerperioden finden wir unter den Planktonkrebsen (*Calanus hyperboreus*, *Euphausia superba*), Vögeln und Säugetieren. Sie alle, aber auch der Fisch *Pleuragramma antarcticum* und kleine Vögel und Wirbellose, sind zumindest im Sommer durch hohe energiezehrende Mobilität gekennzeichnet, mit der sie Phytoplanktonkonzentrationen, Diatomeeneis oder Krillschwärme aufsuchen. Im Winter lassen sie sich entweder vom Eis überfahren — der Krill nährt sich dann nicht mehr filtrierend, sondern durch Abschaben der Algenrasen — oder sie weichen dem Eis aus. Beide Verhaltensweisen stellen erhebliche Anforderungen an Lokomotion, Energiehaushalt und Orientierung, letztere erfolgt entweder kumulativ (im Krillschwarm) oder als individuelle Leistung eines hoch entwickelten Sinnes- und Nervensystems (beim Wal).

Charakteristisch für die Polargebiete, und besonders für die Antarktis, ist das Nebeneinander von „normalen“ Nahrungsketten mit Gewichtsschritten von etwa drei Zehnerpotenzen von einem Glied zum nächsten und der Kette der Riesen mit Schritten von ca. 8—10 Zehnerpotenzen (Abb. 8), wobei die hohen An-

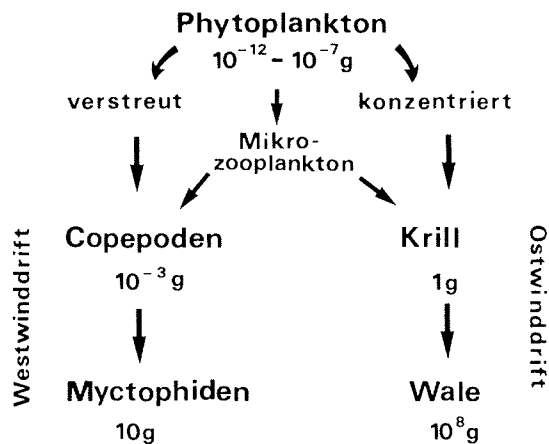


Abb. 8: Schemata antarktischer Nahrungsketten in der West- und Ostwinddrift mit Angabe der Gewichtsschritte.

Fig. 8: Schematic diagram of Antarctic food chains in the West and East Wind Drift showing weight increments multiplication.

sammlungen von Mikroalgen am Eisrand und unter dem Eis die Nahrungsgrundlage großer Krillschwärme sind, die wiederum eine ausreichend dicht gepackte Nahrungsquelle für die Warmblüter darstellen.

9. DIE FISCHEREILICHE NUTZUNG DER POLARMEERE

Für die Ergiebigkeit einer Fischerei sind — aus biologischer Sicht — Größe, Zugänglichkeit und Regenerationskraft der Bestände wichtig. Die Subarktis zählt dank reicher Fischbestände auf günstig gelegenen, meist eisfreien Bänken zu den reichsten Fischfanggebieten der Erde (GULLAND 1972). Allerdings wurde die Regenerationskraft der Bestände teilweise durch allzu intensive Fischerei zeitweilig überfordert. Das Nordpolarmeer im engeren Sinne bietet fischereilich wenig Möglichkeiten. Die Fischbestände sind klein, wenig produktiv und wegen des Eises schwer zugänglich (BLACKER 1968, MOISEEV 1971, GULLAND 1983).

In der Antarktis sind die Verhältnisse umgekehrt (EVERSON 1977, Anon. 1977, EL-SAYED 1981). Es fehlen große subpolare Fischereiresourcen, die antarktische Westwinddrift ist fischereilich weitgehend uninteressant mit Ausnahme einzelner lokaler, mengenmäßig bescheidener Fischbestände an den Inseln, wo der Mensch mit den ortsansässigen Warmblüterkolonien konkurriert. Im Krillgürtel der Ostwinddrift bieten dagegen die Krillschwärme eine beträchtliche, im Sommer leicht zugängliche Fischereiresource, deren Ertragspotential aber stark abhängig ist von der noch unbekanntenen Regenerationskraft der Krillpopulationen und ihren Fluktuationen. Die Nahrungsketteneffizienz und damit die fischereilich nutzbare Nettoproduktion der Krillbestände — wie auch der Walbestände — ist im Vergleich zu Fischbeständen mittlerer Breiten wahrscheinlich gering, da die meiste von Krill und Wal aufgenommene Nahrung im Stoffwechsel verbraucht und nicht für Wachstum und Fortpflanzung eingesetzt werden kann. Falls eine starke Krillfischerei aufgebaut wird, bedarf es der Entscheidung, in welchem Maße der Mensch den Warmblütern bei der Nutzung der Krillbestände Konkurrenz machen will (HEMPEL 1981).

Eine zukünftige Wiederbelebung von Walfang, Robben- und Pinguinschlag unter kontrollierten Bedingungen wäre zwar aus populationsdynamischer Sicht denkbar, widerspricht aber unserem heutigen Empfinden von der Schutzwürdigkeit dieser Tiere und ihrer polaren Umwelt.

10. DANKSAGUNG

Das Manuskript wurde von meinen Kollegen V. Smetacek und M. Spindler kritisch gelesen und kommen-

tiert. Allen an der Fertigstellung des Aufsatzes Bereiligten danke ich für ihre Hilfe und Geduld.

Literatur

- Anonym (1977): Biological investigations of marine antarctic systems and stocks. — SCAR/SCOR, Cambridge, 79 pp.
- Blacker, R. W., ed. (1968): Symposium on the ecology of pelagic fish species in arctic waters and adjacent seas. — Rapp. P. V. Reun. L. Cons. perm. int. Explor. Mer 158: 1—148.
- Boysen-Ennen, E. (1986): Zur Verbreitung von Gemeinschaften des Meso- und Makrozooplanktons im sommerlichen Oberflächenwasser der Weddell-See (Antarktis). — Diss. Mathem. Naturwiss. Fakultät Univ. Kiel, 172 pp.
- Dietrich, G., Kalle, K., Krauss, W. & G. Siedler (1975): Allgemeine Meereskunde. — 3. Aufl., Stuttgart, Berlin, 593 pp.
- Dunbar, M. J., ed. (1977): Polar Oceans. — Arctic Inst. North America, Calgary, 622 pp.
- El-Sayed, S. Z., ed. (1981): Biological investigations of marine Antarctic systems and stocks II. — SCAR/SCOR, Cambridge, 155 pp.
- El-Sayed, S. Z. (1984): Productivity of the antarctic waters — a reappraisal. — In: O. Holm-Hansen, L. Bolis & R. Gilles, eds., Marine phytoplankton and productivity, 19—34, Berlin.
- Everson, I. (1977): The living resources of the Southern Ocean. — FAO Rome, 156 pp.
- Grossi, S. M., Kottmeier, S. T., Moe, R. L., Taylor, G. T. & C. W. Sullivan (1987): Sea ice microbial communities. VI growth and primary production in bottom ice under graded snow cover. — Mar. Ecol. Prog. Ser. 35: 153—164.
- Gulland, J. A. (1972): The fish resources of the ocean. — West Byfleet, 255 pp.
- Gulland, J. A. (1983): The development of fisheries and stock assessment of resources in the Southern Ocean. — Mem. Nat. Inst. Polar Res. 27: 233—246.
- Hempel, G. (1981): Das antarktische Ökosystem und seine fischereiliche Nutzung. — Jahrbuch der Wittheit Bremen 25: 55—68.
- Hempel, G. (1985): On the biology of polar seas, particularly the Southern Ocean. — In: J. S. Gray & M. E. Christiansen, eds., Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms, 3—33, Chichester.
- Hirche, H. J. (1984): Temperature and metabolism of plankton 1. Respiration of Antarctic zooplankton at different temperatures with a comparison of Antarctic and Nordic krill. — Comp. Biochem. Physiol. 77 A, 361—368.
- Hornner, R. (1985): Sea ice biota. — Boca Raton FL, 215 pp.
- Knox, G. A. & J. K. Lowry (1977): A comparison between the benthos of the Southern Ocean and the North Polar Ocean with special reference to the Amphipoda and Polychaeta. — In: M. J. Dunbar, ed., Polar Oceans, Arctic Institute of North America, 423—462, Calgary.
- Moiseev, P. A. (1971): The living resources of the world Ocean. — Jerusalem, 334 pp.
- Nikolsky, G. U. & D. V. Radakov (1968): Food interrelations of pelagic fish in the northern seas. — Rapp. P. V. Reun. Cons. perm. int. Explor. Mer 158: 143—145.
- Piatkowski, U. (1986): Zoogeographische Untersuchungen und Gemeinschaftsanalysen an antarktischen Makroplankton. — Diss. Mathem. Naturwiss. Fakultät Univ. Kiel, 197 pp.
- Picken, G. B. (1985): Benthic research in Antarctica: Past, present and future. — In: J. S. Gray & M. E. Christiansen, eds., Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organisms, 67—88, Chichester.
- Reinke, M. (1986): Zur Bewegungs- und Nahrungsphysiologie der Tunikaten *Salpa thompsoni* (Antarktis) und *Salpa fusiformis* (Mittelmeer). — Diss. Mathem. Naturwiss. Fakultät Univ. Kiel, 152 pp.
- Sahrhage, D. (1984): Present knowledge of living resources in the Antarctic, possibilities for their exploitation and scientific perspectives. — In: R. Wolfrum, ed., Antarctic Challenge, Veröff. Inst. Intern. Recht Univ. Kiel 88, Berlin.
- Schneppenheim, R. & R. Haass (1986): Morphological and electrophoretic studies of the genus *Themisto* (Amphipoda: Hyperidea) from the South and North Atlantic. — Pol. Biol. 6, 215—225.
- Thiede, J. (1986): Zur geologischen Geschichte der Polarmeere und ihrer Wassermassen. — Geol. Paläontol. Inst. Univ. Kiel, 312 pp.
- Wadhams, P. (1986): The ice cover. — In: B. G. Hurdle, ed., The nordic seas, 21—84, New York.