

3.6 Die Bodenfauna arktischer und antarktischer Schelfmeere

DIETER PIEPENBURG & JULIAN GUTT

Bottom fauna of Arctic and Antarctic shelf seas: Bottom communities (benthos) of Arctic and Antarctic shelf seas strongly differ in composition, diversity and abundance, reflecting the major evolutionary and ecological disparities between the two polar regions. Though polar systems are in general thought to be particularly sensitive to climate-induced environmental changes, it is likely that Arctic and Antarctic bottom assemblages will respond differently to the external forcing. In the Arctic, higher water temperatures, increased fluvial runoff and reduced ice cover are assumed to give rise to severe ecosystem changes propagating through all trophic levels, ultimately resulting in a shift in the relative importance of marine biota in the overall carbon and energy fluxes and a switch from a 'sea-ice algae-benthos' to a 'phytoplankton-zooplankton' dominance. Significant shifts in the Antarctic benthos due to sea-temperature rise are not likely for the near future. Instead, a continuing disintegration of ice shelves will have a major impact on bottom communities at a regional scale.

Extrem-niedrige, nur knapp über dem Gefrierpunkt des Meerwassers liegende Temperaturen, Eisbedeckung und – über das gesamte Jahr gesehen – Nahrungsknappheit, das sind die zentralen Lebensbedingungen gleichermaßen für das arktische und antarktische Leben am Meeresboden, das Benthos. Neben diesen Gemeinsamkeiten gibt es aber auch gravierende Unterschiede zwischen den beiden Polargebieten, die letztlich auf großräumige geographische, erdgeschichtliche und hydrodynamische Verhältnisse zurückgehen.

Das Nordpolarmeer (auch Arktischer Ozean) ist ein zentralpolares Mittelmeer des Atlantischen Ozeans, das zum größten Teil von den eurasischen und nordamerikanischen Kontinentalmassen umgeben ist (s. Kap. 2.2); das Südpolarmeer hingegen ist ein riesiger Ringozean, der den zentralpolaren und fast vollkommen vergletscherten antarktischen Kontinent umgibt (s. Kap. 2.1). Das Nordpolarmeer besteht aus mehreren Tiefseebecken, die von breiten und flachen Schelfplateaus am Rande der sie umgebenden Landmassen eingeschlossen werden; der antarktische Kontinent dagegen wird von schmalen, aber dafür ausgeprägten tiefen Schelfen gesäumt (bis 800 m), an die sich nach Norden die Tiefsee anschließt. Die vorherrschenden großräumigen Strömungsverhältnisse sorgen auf der nördlichen Hemisphäre dafür, dass es zwischen Nordpolarmeer und Atlantik einen regen Austausch von Oberflächenwassermassen – wie auch Faunen und Floren – gibt, während das Südpolarmeer durch die stabile zirkumpolare Polarfront (»Antarktische Konvergenz«) hydrographisch – und auch biogeographisch – wirkungsvoll von den anderen Ozeanen isoliert ist.

Schließlich ist die Antarktis als extremer Kaltwasser-Lebensraum erdgeschichtlich viel älter als die Arktis: Spätestens seit der Öffnung der Drake-Passage, der Meerenge zwischen Südamerika und der Antarktischen Halbinsel, und der Entwicklung eines tiefgreifenden zirkumpolaren Strömungsmusters im frühen Miozän vor ca. 23 Mio. Jahren. E-Mail-Adressen: dpiepenburg@ipoe.uni-kiel.de * jgutt@awi-bremerhaven.de

ren findet man in der Antarktis ähnliche Umweltbedingungen wie jetzt (s. Kap. 1.2). Die Arktis hingegen war noch während des gesamten Miozäns, also weitere 19 Mio. Jahre lang, durch ein gemäßigtes Klima beherrscht und »richtig polare«, d.h. von Eis geprägte Bedingungen, sind erst mit dem Beginn des Pleistozäns vor knapp 2 Mio. Jahren nachzuweisen (s. Kap. 1.1).

Allgemeine Merkmale polarer Bodenfaunen

Überall im Weltmeer gilt, dass das Licht nur bis zu einer gewissen, vom Trübungsgrad abhängigen Tiefe (max. 200 m) in das Wasser eindringen kann, und dass nur in dieser so genannten »euphotischen Zone« Pflanzen vorkommen können, weil in größeren Tiefen mangels Lichts keine Photosynthese mehr möglich ist. Das bedeutet für die benthischen Ökosysteme in Tiefen unterhalb dieser Zone – und dazu gehören etwa 98% der weltweiten Meeresböden –, dass die Nahrungsgrundlage von außen importiert werden muss. Somit hängen diese Systeme trophisch von der Primärproduktion des Phytoplanktons in der euphotischen Zone ab, wovon Teile über Sedimentation an den Meeresboden gelangen. Dieser Prozess ist elementar für die Existenz benthischer Gemeinschaften und wird als »pelago-benthische Kopplung« bezeichnet. Als Trend wird angenommen, dass die Kopplung in den Meeren hoher Breiten – Arktis wie Antarktis – in der Regel besonders stark ausgeprägt ist, d.h. dass ein überproportional hoher Anteil der Phytoplanktonproduktion in die Tiefe absinkt (PETERSEN & CURTIS 1980). Besonders wichtig scheint in diesem Zusammenhang das Meereis zu sein. Es beeinflusst zum einen die Algenproduktion in der Wassersäule, z.B. durch Beschattung oder stabile Wasserschichtung, zum anderen stellt es aber auch einen eigenständigen Lebensraum dar mit autochthonen (d.h. im Meereis selbst vorkommenden) Primärproduzenten, den

so genannten »Eisalgen«, v. a. Diatomeen (einzellige Kieselalgen). Vor allem Eisrandgebiete und Polynjas (ein Lehnwort aus dem Russischen für eisfreie Zonen in einem sonst eisbedeckten Gebiet) sind als Regionen deutlich erhöhter Gesamtproduktivität (Eisalgen + Phytoplankton), intensiver Sedimentation organischer Substanz zum Meeresboden und damit günstiger Nahrungsversorgung für das Benthos identifiziert worden (s. Kap. 3.3). Deshalb wird für die Polargebiete das Konzept der »pelago-benthischen« zu dem einer »kryo-pelago-benthischen« Kopplung erweitert (GREBMEIER & BARRY 1991).

Arktis

Die zahlreichen Feldstudien der vergangenen 20 Jahre haben deutlich gemacht, dass es kein einheitliches »arktisches Benthos« gibt, sondern dass die marinen Bodenfaunen der Arktis sehr heterogen sind. Wie angesichts der aus menschlicher Sicht extrem unwirtlichen, lebensfeindlichen Umweltbedingungen zu erwarten, sind etliche Regionen in der Regel sehr arm an Diversität und Biomasse, z. B. die Tiefsee des zentralen Nordpolarmeer oder weite Bereiche der hocharktischen Schelfmeere nördlich Sibiriens. Andere Schelfgebiete aber, zum Beispiel das Barents- und das Beringmeer, sowie generell ozeanische Regionen im Einflussbereich von Fronten, Eisrandzonen und Polynjas beherbergen wegen der dort besonders stark ausgeprägten kryo-pelago-benthischen Kopplung eine erstaunlich diverse und biomassereiche Bodenfauna (Abb. 3.6-1).

Die meisten der in der Arktis vorkommenden Arten sind, ganz im Gegensatz zu den Verhältnissen in der Antarktis, nicht typisch »arktisch« (in dem Sinne, dass sie nur dort vorkommen, d. h. »endemisch« für die arktischen Meere sind), sondern Einwanderer aus südlich angrenzenden Gebieten, vor allem aus dem nördlichen Atlantik. Sie leben somit in der Arktis am nördlichen Rand ihres jeweiligen Verbreitungsgebietes.

Ein weiterer wichtiger Unterschied zur Antarktis besteht nach gängiger Lehrmeinung darin, dass das arktische Schelfbenthos in stärkerem Maß durch eine Vielzahl unterschiedlicher »Störungen« – von der kleinräumigen Bioturbation durch grabende Organismen bis zur großräumigen Zerstörung ganzer Gemeinschaften durch strandende Eisberge – geprägt wird (DAYTON 1990). Im ökologischen Kontext werden mit diesem Begriff wertfrei von außen kommende, natürliche oder anthropogene, zeitlich begrenzte Veränderungen der Systemzustände auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen bezeichnet.

Zusammen mit der – auf geologischen und evolutionsbiologisch relevanten Zeitskalen – recht kurzen Geschichte der Arktis als extrem kaltem, polarem Großökosystem und dem geringen Anteil endemischer Arten führt diese Rahmenbedingung dazu, dass die arktischen Bodenfaunen generell als »jung« und »unausgereift« bezeichnet werden – und dies vor allem im Vergleich zu den vergleichsweise »alten« und »stabilen« Benthosgemeinschaften der Antarktis (ARNTZ & GALLARDO 1994, CLARKE & JOHNSTON 2003).



Abb. 3.6-1: Meeresboden im nördlichen Barentsmeer (Arktis). Das Massenvorkommen von bodenbewohnenden Schlangensterne (*Ophiocten sericeum*) im Einflussbereich der produktiven Eisrandzone deutet auf eine starke kryo-pelago-benthische Kopplung – und somit gute Nahrungsverfügbarkeit für benthische Gemeinschaften – hin (Maßstab: weißer Balken = 10 cm).

Antarktis

Auf dem bis zu 800 m tiefen Kontinentalschelf der Antarktis gibt es bestimmte Lebensgemeinschaften, in denen mobile Weidegänger häufig sind, und andere, die von sessilen Suspensionsfressern (Abb. 3.6-2a) dominiert werden. Diese wechseln sich rund um den Kontinent immer wieder ab und erzeugen so ein fleckenhaftes Muster, das von mindestens einem weiteren Gradienten überlagert ist. Er reicht von arten- und individuenreichen bis zu stark verarmten Artenassoziationen, z.B. unter dem Schelfeis, am Kontinentalhang und in isolierten Flachwasserbereichen, die unter andauerndem Störeinfluss durch Meereis stehen. Als Grund für diese graduellen Unterschiede wird die artspezifische Anpassung insbesondere an die Strömungs- und die davon abhängigen Nahrungsverhältnisse angenommen. Dabei spielen wegen ihrer Komplexität noch gar nicht entschlüsselte Umweltansprüche der frühen Lebensstadien eine wichtige Rolle.

So sehr auch das Leben am antarktischen Meeresboden grundsätzlich von Algenblüten im Eis und in der Wassersäule abhängt, sind viele antarktische Bodentiere offensichtlich nicht auf Nahrung zu einer bestimmten Jahreszeit angewiesen. Unter schwierigen Bedingungen können sie lange hungern und reagieren, z.B. mit ihrer Fortpflanzung, wenn es günstige Nahrungsbedingungen gibt. Solche Phasen können sich auch über einen längeren Zeitraum als den der nur kurzen sommerliche Algenblüte erstrecken, was man auf eine zumindest zeitweilige Spezialisierung auf Kleinstlebewesen als Nahrung, z.B. Bakterien, zurückführen kann. Es gibt in der Antarktis also für viele Arten keine besonders enge kryo-pelago-benthische Kopplung (GUTT 2000).

Möglicherweise spiegeln diese Verhältnisse eine Anpassung an die vergangenen pleistozänen Kaltzeiten wider, in denen das Benthos in kleinen Refugien auf dem Schelf – der größte Teil des Kontinentalsockels war durch aufliegendes Schelfeis bedeckt –, am Kontinentalhang oder bei subantarktischen Inseln lebte. In den beiden ersten Fällen erlaubte die permanente Meereisbedeckung zu diesen Zeiten nur eine gegenüber heute sehr stark verminderte Nahrungsverfügbarkeit für das Benthos. Viele Arten sind für die Antarktis »endemisch« und an die dauerhafte Kälte so gut angepasst, dass sie nur unter dieser Bedingung überleben können (s. Kap. 3.5 und 3.11).

In Gegensatz zu der Einschätzung, dass das Leben in antarktischen Meeren von besonderer Umweltstabilität geprägt ist, haben jüngere Untersuchungen ergeben, dass das Benthos bis in 500 m Tiefe natürlicherweise recht regelmäßig von strandenden Eisbergen beeinflusst wird. Dieser Effekt ist besonders ausgeprägt in Wassertiefen zwischen 100–300 m, insbesondere an den Flanken von bodenmorphologischen Erhebungen, den so genannten »Eisberg-

bänken«. Dabei fällt die Vernichtung der durch sessile Tiere gekennzeichneten Gemeinschaften besonders auf (Abb. 3.6-2b). Die dort häufigen Schwämme und Moostierchen stellen nämlich den kleinskaligen Lebensraum für eine reiche Begleitfauna, z.B. Flohkrebs und Stachelhäuter, und sind teilweise extrem langsamwüchsig, weshalb sich die Lebensgemeinschaften nur sehr langsam von Störungen erholen (GUTT & PIEPENBURG 2003). Jedoch ist diese Fauna an eine solche gebietsweise Zerstörung ihres Lebensraumes, auch durch den ständigen Wechsel zwischen Warm- und Kaltzeiten, »gewöhnt«. Es kann sogar ein diversitätssteigernder Effekt durch lokale katastrophale Störungen gemessen werden. Der ist so zu erklären, dass die zuvor verwüsteten Flecken überall zahlreiche Nischen für ein zusätzliches Arteninventar an Erstbesiedlern darstellen, wodurch nicht nur die wenigen, konkurrenzstärkeren Arten das Benthos dominieren.

Mögliche Auswirkungen von Umweltänderungen

Die wichtigsten natürlichen (und indirekt auch anthropogenen) Umweltveränderungen, die Auswirkungen auf das polare Benthos haben können, sind auf die Klimadynamik zurückzuführen: Zerstörung von Lebensräumen, Wandel in der Nahrungszufuhr und Veränderungen der Wasserqualität. Die möglichen ökologischen Folgen reichen von graduellen Veränderungen der Dominanzverhältnisse und der Artenzusammensetzung in den Gemeinschaften (die mit einer Verarmung, aber auch einer Erhöhung der Diversität einhergehen können) bis zum völligen Zusammenbruch der bestehenden Ökosysteme. Die Reaktionen der Bodenfaunen auf die Veränderungen werden vor allem vom Grad der Anpassungsfähigkeit und den Ausbreitungsmechanismen bestimmt.

Die ausgeprägten geographischen, ökologischen und erdgeschichtlichen Unterschiede zwischen Arktis und Antarktis machen wahrscheinlich, dass die prognostizierten klimabedingten Umweltveränderungen in den beiden Polargebieten nicht identisch ausfallen werden. Das bedeutet auch, dass die marinen Bodenfaunen nicht in gleicher Weise von den sich anbahnenden klimatischen und ökologischen Umwälzungen betroffen sein bzw. darauf reagieren werden. So gibt es beispielsweise prinzipielle Unterschiede in der möglichen Reaktion der polaren Bodentierarten, sich mit Veränderungen des Verbreitungsgebiets, d.h. mit Ausweichwanderungen in günstigere Gebiete, an sich verschlechternde Lebensbedingungen (z.B. Veränderungen der Wassertemperaturen) anzupassen: Die Fauna der arktischen Tiefseebecken ist biogeographisch durch Schwellen von den angrenzenden Ozeanen deutlich isoliert, während die Lebensgemeinschaften der Küsten und Schelfe mit denen in südlicheren Gegenden in Kontakt stehen; in der

Antarktis dagegen sind die Verhältnisse umgekehrt, d.h. die Schelfe sind von anderen Kontinenten isoliert, während die südpolare Tiefseefauna die Möglichkeit hat, sich uneingeschränkt mit der angrenzenden Ozeane auszutauschen.

Arktis

In der Wissenschaft gilt heute als gesichert, dass sich derzeit die Erwärmung der Meere in der Arktis am schnellsten vollzieht, und man geht davon aus, dass sich dieser

Trend in Zukunft noch verstärken wird: die meisten Klimamodelle prognostizieren, dass die mittleren Wassertemperaturen in der Arktis bis 2100 um 4–6° C steigen werden (ANON. 2004). Über die bloße Temperaturerhöhung hinaus wird diese klimatische Umwälzung großskalige Auswirkungen auf weitere ökologisch relevante Umweltbedingungen haben, z. B. wird deutlich mehr Süßwasser über die Flüsse in die arktischen Meere eingetragen werden, und die Meereisbedeckung wird so drastisch schrumpfen, dass bis 2100 vermutlich die ge-



Abb. 3.6-2:

a) Schwammgemeinschaften, wie diese im südöstlichen Weddellmeer (Antarktis) in ca. 230 m Tiefe fotografierte, sind ein typisches Element des Antarktischen Benthos. Wegen ihrer Langsamwüchsigkeit und Komplexität reagieren sie wahrscheinlich besonders sensibel auf Umweltveränderungen.



b) Im selben Gebiet besiedeln in einem ehemaligen Eisbergkratzer orangefarbige und quittegelbe Seescheiden sowie büschelförmige weiße und beige Hornkorallen ein zuvor verwüstetes Areal relativ schnell. Solche Pioniergemeinschaften haben selber aber nur eine geringe Lebensvielfalt. Im Hintergrund links ist ein Glasschwamm zu sehen, der die Eisbergstörung auf der Seite liegend überlebt hat.

samte Arktis, auch das zentralpolare Nordpolarmeer, zumindest im Sommer eisfrei sein werden. Die Gesamtheit der Veränderungen, vor allem der Rückgang des Meereises, wird gravierende ökologische Folgewirkungen nach sich ziehen, die alle trophischen Ebenen und sämtliche marinen Biota umfassen (ANON. 2004). Sicherlich sind vor allem die Meereis-Ökosysteme und das obere Pelagial am stärksten betroffen. Für das Benthos – selbst für die Fauna in größeren Tiefen – ist wahrscheinlich die wichtigste Konsequenz, dass sich über die kryo-pelagobenthische Kopplung die Quantität und Qualität des Nahrungsangebots und damit das darauf beruhende komplizierte Geflecht der biologischen Wechselbeziehungen am Meeresboden deutlich verändern werden.

Gemäß einer Hypothese, die derzeit Arbeitsgrundlage etlicher wissenschaftlicher Studien zur Veränderung arktischer Ökosysteme als Folge klimatischer Umwälzungen ist, wird durch den Rückgang des Meereises das Verhältnis von Eisalgen und Phytoplankton in der Primärproduktion entscheidend beeinflusst (Abb. 3.6-3). Man geht ferner davon aus, dass dadurch insgesamt die Intensität der kryo-pelagobenthischen Kopplung so geändert wird, dass dem Zooplankton insgesamt mehr Nahrung zur Verfügung stehen wird und dem Benthos weniger (PIEPENBURG 2005). Selbst wenn also die Gesamtproduktivität der wärmeren und weitgehend eisfreien arktischen Meere der Zukunft steigen sollte, würde nach dieser Hypothese das Benthos wahrscheinlich in der Gesamtbilanz davon nicht profitieren, sondern – ähnlich wie die Meereisorganismen – zu den »Verlierern« der sich anbahnenden ökologischen Umwälzungen gehören. Nach anderen Prognosen dagegen soll eine höhere Gesamtproduktivität nach dem Rückgang des Eises nicht nur die pelagischen Gemeinschaften, sondern mittelbar

auch die Meeresbodenfaunen positiv beeinflussen, zumindest auf den flachen, küstennahen Schelfen, wo die pelagobenthische Kopplung wegen der geringen Wassertiefe naturgemäß immer sehr eng ist.

Allerdings gibt es derzeit noch keine verlässlichen Daten, die das eine oder andere Szenario wissenschaftlich exakt untermauern. Und obgleich als gesichert gilt, dass die Arktis als ganzes sehr empfindlich auf die Klimawandlung reagieren wird, ist strittig, wie sensitiv das arktische Benthos gegenüber den sicherlich gravierenden Umweltveränderungen tatsächlich ist. Gerade der »unausgereifte« Charakter der Bodenfaunen – zurückzuführen auf die kurze und wechselvolle Geschichte der Arktis sowie den hohen Grad an ökologischen »Störungen« (s.o.; DAYTON 1990) – lässt den Schluss zu, dass die benthischen Gemeinschaften eher sehr »resilient« (widerstandsfähig) und »elastisch« sind und relativ große ökologische Veränderungen abpuffern können.

Wie für den großräumigen Vergleich zwischen Arktis und Antarktis gilt auch auf einer kleineren räumlichen Skala die allgemeine Feststellung, dass die verschiedenen arktischen Bodenfaunen nicht in gleicher Weise von der Veränderung betroffen sind und nicht uniform darauf reagieren werden. So wird zum Beispiel die Fauna in den flachen Küstengewässern vor allem vom Verschwinden des Meereises und dem Zunehmen der Flusseinträge von Süßwasser, Trüb-, Nähr- und Schadstoffen beeinflusst werden. Außerdem ist mit einer (zeitweisen) Zunahme von Gletscherkalbungen und somit auch der Eisbergstrandungen zu rechnen, die je nach Intensität und Häufigkeit diversitätssteigernd oder –erniedrigend wirken können (siehe unten). Die Gemeinschaften der tieferen, küsternen Schelfe und des zentralen Nordpolarmeers dagegen

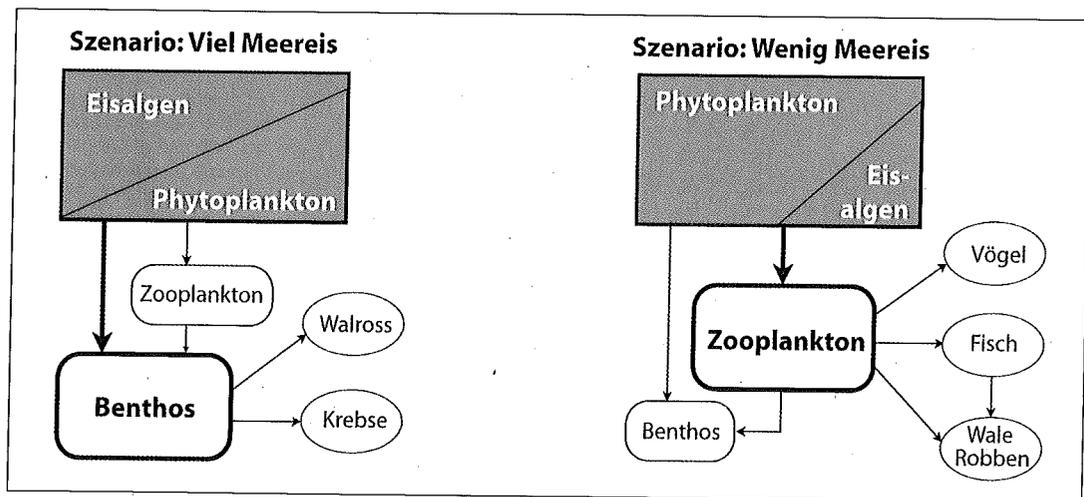


Abb. 3.6-3: Konzeptionelles Modell für grundlegende Veränderungen im Energieflussmuster durch Meereis-, Plankton- und Benthosgemeinschaften als Folge des klimabedingten Rückgangs des arktischen Meereises (nach CARROLL & CARROLL 2003).

werden vor allem von der Verschiebung im Muster der kryo-pelago-benthischen Kopplung betroffen sein. Im Vergleich zur Antarktis ist außerdem zu beachten, dass in der Arktis neben den großräumig wirkenden, klimabedingten Veränderungen auch noch mit gravierenden regionalen anthropogenen Umwelteinflüssen, z.B. im Zusammenhang mit der Ausbeutung biologischer und mineralischer Ressourcen, zu rechnen ist (s. Kap. 4.15 und 5.9).

Antarktis

Die Flachwasserfauna der antarktischen Meere in Wassertiefen bis etwa 50 m steht nahezu ständig unter dem direkten Einfluss des Meereises. Sie ist daher wenig divers und kann als relativ unempfindlich eingestuft werden, weil sie an solche Störungen und Schwankungen in den Umweltbedingungen wenigstens bedingt angepasst ist. Die meisten dort vorkommenden Tiere können nämlich wegen ihrer mobilen Lebensweise bei ungünstigen Bedingungen ausweichen oder zuvor zerstörte Bereiche schnell wiedererobern. Unbekannt ist jedoch, ob sich in voneinander isolierten Flachwassergebieten mit mittleren Wassertiefen zwischen 40–140 m Geschwisterarten mit fleckenhafter Verbreitung gebildet haben. Diese wären wegen ihres sporadischen Auftretens rund um die Antarktis am ehesten durch kleinräumige Habitatvernichtung hochgradig gefährdet.

Auf dem Schelf bis in Wassertiefen um 250 m kann heute als nachhaltigste Folge eines Klimawandels eine mindestens regionale Veränderung in der Schelfeis- und Eisbergdynamik und damit die Vernichtung benthischer Habitate gesehen werden. Erste eigene Modellrechnungen zeigen jedoch, dass eine leichte Zunahme durch erhöhte Abbruchraten vom Inlandeis eher zu einer Erhöhung als zu einer Erniedrigung der Lebensvielfalt führt. Dadurch wird nämlich der sich aus verschiedenen Wiederbesiedlungsstadien zusammensetzende »Flickenteppich« zunächst noch »bunter« (Abb. 3.6-2b). Dementsprechend sollten durch den Menschen hervorgerufene und mitverursachte geringfügige Zerstörungen trotz des grundsätzlich sinnvollen Gebotes, sie zu vermeiden, keinen nachhaltig negativen Effekt haben. Wo allerdings ein Grenzwert liegt, bei dem ein solches System zusammenbricht, ist noch völlig unbekannt. Moderne Forschungsansätze tragen durch den Einsatz nicht-invasiver bildgebender Methoden (Unterwasservideo und -fotografie) diesem Aspekt bereits Rechnung. Möglicherweise ist das antarktische Benthos nicht nur durch klimabedingte Erhöhung von Störungsraten, sondern auch durch das Ausbleiben von Eisbergstrandungen gefährdet, weil ein solches Phänomen diversitätserniedrigend wirken kann. Dies ist vorstellbar, wenn regional zunächst sehr schnell viel Schelfeis abbricht, wie es zur Zeit an der Antarktischen Halbinsel be-

obachtet wird, und danach kaum noch Eisberge mehr entstehen.

Der vielleicht tiefgreifendste Wandel ist für die noch fast völlig unbekanntem Lebensgemeinschaften unter dem Schelfeis zu erwarten. Abhängig von der Strömungsrichtung gibt es dort eine sehr niedrige Nahrungszufuhr und damit die geringsten Stoffwechselraten in den Weltozeanen. Inwieweit das Leben daran spezifisch angepasst ist und besondere Lebensformen oder Arten hervorgebracht hat, ist noch gar nicht geklärt. Sicher ist jedoch, dass bereits beachtliche Schelfeisgebiete, die mit ca. 5.000 km² etwa doppelt so groß wie das Saarland sind, an der Antarktischen Halbinsel verschwunden und viel größere daran angrenzende gefährdet sind. Sicher ist auch, dass sich die dort vorkommenden Lebensgemeinschaften als Folge dieser Veränderungen durch eine deutlich erhöhtes Futterangebot zumindest in ihrer Zusammensetzung sehr stark verändern werden. Erste Hinweise auf einen kompletten Wandel von Lebensgemeinschaften gibt es bereits an einer Stelle, wo vor ca. 20 Jahren ein sehr großes Schelfeisstück abgebrochen ist. Es ist noch nicht geklärt, welches der beiden möglichen Szenarien zutreffend ist:

- Teile der Suspensionsfressergemeinschaft werden vom Eis wie von einem Bulldozer in andere Gebiete hineingeschoben und leben dort in Teilen weiter, wo sie eigentlich nicht hingehören;
- die dort gefundenen Suspensionsfresser repräsentieren Reste einer wegen ausbleibender Strömung im Absterben befindlichen Gemeinschaft.

Die klimasensible Meereisdynamik hat sicher, ebenso wie in der Arktis, einen beträchtlichen Einfluss auf die Primärproduktion in der lichtdurchfluteten obersten Wasserschicht. Prinzipiell entsteht hier auch die Nahrung für das in tieferem Wasser lebende Benthos, insbesondere für die vielen Suspensions- und Detritusfresser. Das Benthos ist aber, bedingt durch die Vereisungsgeschichte, an stark schwankende Nahrungsverfügbarkeit angepasst. Schließlich hat es auch viele Kaltzeiten unter vermutlich deutlich anderen Bedingungen überlebt. Deshalb ist bei moderaten Veränderungen in der Meereisausdehnung kein wesentlicher Effekt zu erwarten, außer bei einigen stark spezialisierten Arten. Es ist aber zu bedenken, dass grundsätzlich die Nahrungsverfügbarkeit einen durchaus unterschiedlichen Einfluss auf die Biodiversität haben kann: Ist sie so groß, dass es keine Nahrungskonkurrenz gibt, wirkt sie positiv auf die Diversität, da es nicht zur Verdrängung konkurrenzwächerer Arten kommt; übersteigt sie jedoch einen kritischen Schwellenwert und führt zu einer generellen »Überdüngung« des Systems, hat sie einen negativen Effekt auf die Lebensvielfalt. Eine kritische Situation könnte auch durch Extremereignisse entstehen, wie zum Beispiel einschneidende Verschiebungen des Größen- oder

Artenspektrums der Nahrungsorganismen oder das regelmäßige Absinken ungewöhnlich großer Algenmengen, die die Filtrierapparate der Tiere verstopfen können.

Dort, wo sich an Land bereits Folgen einer Klimaerwärmung zeigen, z.B. durch das Abschmelzen einer vergletscherten Küste an der Antarktischen Halbinsel, sind langfristig durch erhöhten Eintrag terrestrischen Materials auch Konsequenzen für küstennahe marine Ökosysteme zu erwarten. Hiervon wären insbesondere die sehr diversen und auf Wassertrübung sensibel reagierenden Suspensionsfresser betroffen.

Obwohl es noch keine eindeutigen Hinweise auf eine Erwärmung in den meisten küstennahen antarktischen Gewässern gibt, soll darauf hingewiesen werden, dass dies fatale direkte Folgen für die Fauna am Meeresboden hätte. Der Stoffwechsel der meisten Arten würde wegen der engen Anpassung an Temperaturen um den Gefrierpunkt des Meerwassers schon bei einer Erhöhung um nur wenige Grad in erhebliche Schwierigkeiten geraten. Möglicherweise würden sie alle verenden, sie können auch nicht in kältere Gefilde ausweichen, weil es die dann nicht mehr gibt. Ob die kürzlichen Funde von Steinkrabben an der Antarktischen Halbinsel, die sonst nur aus nördlicheren Breiten bekannt sind, ein erster biologischer Indikator für eine Wassererwärmung oder eigentlich nur auf vermehrte Forschungsfänge zurückzuführen sind, muss noch geklärt werden.

Erste Untersuchungen an der Tiefseefauna in Südpolargebieten gibt es bereits. Ergebnisse von Forschungen zur physiologischen und ökologischen Anpassung werden klären, ob es überhaupt eine eigenständige Antarktische Tiefseefauna gibt. Erst dann können entsprechende Hypothesen zu Klimafolgen aufgestellt und getestet werden.

Schlussbetrachtung

Polare Gemeinschaften gelten generell als besonders sensitiv – vor allem in der Antarktis – und können daher eine Indikatorfunktion hinsichtlich Umweltveränderungen einnehmen (ANON. 2004). Die größeren Benthostiere sind dafür besonders geeignet. Im Gegensatz zu den meist kurzlebigen Planktonorganismen integrieren sie nämlich

auf Grund ihrer längeren Lebensspanne Umweltbedingungen über Jahre bis vielleicht sogar Jahrhunderte. Insbesondere die am Boden festsitzenden (sessilen) Arten, z.B. Schwämme, aber auch die sich nur sehr begrenzt in ihrem erwachsenen Leben ausbreitenden Arten, z.B. Schlangensterne, müssen in ihren Habitaten ein Leben lang günstige Lebens- und Futterbedingungen vorfinden. Untersuchungen der Umweltänderungen und der Dynamik in den Verbreitungsmustern der Lebensgemeinschaften (*»Biodiversity Change«*) über so lange Zeitspannen sind kaum im Rahmen normaler Forschungsprojekte direkt durchzuführen. Isotopenanalysen in bestimmten Skelettelementen einzelner Tiere können aber Aufschluss über den Wandel der Lebens- und Futterbedingungen während des gesamten Lebens geben, weil diese Informationen in den Verhältnissen verschiedener stabiler Isotope (Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff) gespeichert werden. Klimafolgen können dann mit Hilfe räumlich expliziter, individuen-basierter Modelle am Computer simuliert werden. Hierzu sind allerdings ausreichende Basisdaten zu ökologischen Ansprüchen, Anpassungsmechanismen und der Lebensgeschichte von Schlüsselorganismen nötig.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss allerdings zwischen kurzfristiger Variation und langfristiger Veränderung unterschieden werden können. In der Antarktis trägt das biologische Programm *»Evolution and Biodiversity in the Antarctic«* des *»Scientific Committee on Antarctic Research«* (SCAR), insbesondere auch mit der Initiative *»Census of Antarctic Marine Life«* (CAML), dieser Entwicklung auf internationaler Ebene Rechnung. In der Arktis wurde 1991 das *»Arctic Monitoring and Assessment Programme«* (AMAP) und 2004 die Initiative *»Arctic Ocean Diversity«* (ArcOD) mit entsprechenden Zielen ins Leben gerufen. Inzwischen begreift man dabei die menschlichen Bewohner der arktischen Küsten ebenfalls als Teil der betroffenen Ökosysteme und nicht nur als deren außen stehende Nutzer – ein Ansatz, der die Prognosefähigkeit der klimagekoppelten ökologischen Modelle sicherlich erhöhen wird, da so auch wichtige anthropogene Einflussfaktoren adäquat berücksichtigt werden ♦