

4.4 Marine Biodiversität der Polargebiete im Klimawandel

DIETER PIEPENBURG & JULIAN GUTT

Marine Biodiversität der Polargebiete im Klimawandel: Der Klimawandel hat in den polaren Meeren regional unterschiedliche Auswirkungen auf die Biodiversität mariner Lebensgemeinschaften. Die Effekte beeinflussen einander, sind generell komplex und oft nicht-linear, weshalb sie schwer zu prognostizieren sind. Wegen der ausgeprägten Empfindlichkeit der meist hochangepassten polaren Organismen und Gemeinschaften gilt es als sehr wahrscheinlich, dass der klimabedingte Umweltwandel Biodiversitätsänderungen in beide Richtungen sowie erhebliche Faunenwechsel zur Folge haben wird. Zusätzlich beeinflussen vermehrte menschliche Aktivitäten in den hohen Breiten die marine Biodiversität, derzeit vor allem in der Arktis durch Exploration und Nutzung natürlicher und mineralischer Ressourcen, Schiffsverkehr und Tourismus. Sowohl für das Nordpolarmeer als auch den Südlichen Ozean soll die Biodiversität aber im Rahmen internationaler Verträge noch nachhaltiger als durch die bestehenden Maßnahmen geschützt werden, zum Beispiel durch die Einrichtung eines Netzwerks von Meeres-Schutzgebieten.

Marine Biodiversity of the polar regions in times of climate change: Climate change will have different ramifications for the biodiversity of marine polar biota. As the effects influence each other, they are generally complex, often non-linear and thus difficult to predict. Due to the marked sensibility of the often highly adapted polar organisms and communities, it is very likely that climate-driven environmental change will result in biodiversity variations in various directions, both rise and decline, as well as pronounced faunal community shifts. In addition, increasing human activities in high-latitude regions affect marine biodiversity, currently chiefly in the Arctic, through exploration and exploitation of natural and mineral resources, shipping and tourism. In both the Arctic and Southern Ocean, however, international agreements are underway to better preserve marine biodiversity than through current measures, for example by establishing networks of marine protected areas.

In den Meeren der Arktis und Antarktis sind die Lebensbedingungen durch extrem niedrige Wassertemperaturen, das großräumige Vorkommen von Meereis sowie – über das gesamte Jahr gesehen – allgemeine Nahrungsknappheit geprägt. Es gibt aber auch gravierende Unterschiede in geographischer, erdgeschichtlicher, klimatischer und ozeanographischer Hinsicht (HEMPEL & PIEPENBURG 2010). Das Nordpolarmeer (englisch: Arctic Ocean) ist ein zentralpolares Mittelmeer des Atlantischen Ozeans, das zum größten Teil von den eurasischen und nordamerikanischen Kontinentalmassen mit breiten und flachen Schelfplateaus an seinen Rändern umgeben ist. Bei dem Südlichen Ozean (englisch: Southern Ocean) handelt es sich um einen riesigen Wasserkörper, der um den fast vollkommen vergletscherten zentralpolaren antarktischen Kontinent zirkuliert. Er ist im Süden durch überwiegend schmale, aber ausgeprägt tiefe Schelfe gesäumt (bis 800 m), an die sich nach Norden die Tiefsee anschließt. Die großräumigen Strömungsverhältnisse sorgen auf der nördlichen Hemisphäre dafür, dass es zwischen Nordpolarmeer und Atlantik einen regen Austausch von Oberflächenwassermassen sowie Faunen und Floren gibt. Der Südliche Ozean ist an seiner Oberfläche – im Gegensatz zum tiefen Wasser – entlang des zirkumpolaren Frontensystems (Antarktische Konvergenz) durch einen starken Temperatursprung biogeographisch wirkungsvoll von den nördlich angrenzenden Ozeanen isoliert (TURNER et al. 2014). Außerdem ist der Südliche Ozean als extremer Kaltwasser-Lebensraum erdgeschichtlich viel älter als das Nordpolarmeer: Spätestens seit der Öffnung der

Drake-Passage, der Meerenge zwischen Südamerika und der Antarktischen Halbinsel, und damit der Entwicklung einer tiefen zirkumpolaren Strömung im frühen Miozän vor ca. 23 Mio. Jahren findet man in der Antarktis ähnliche Umweltbedingungen wie jetzt. Die Arktis hingegen war wahrscheinlich noch weitere 19 Mio. Jahre lang durch ein gemäßigtes Klima beherrscht. »Richtig polare«, d.h. von sehr niedrigen Wassertemperaturen und Eis geprägte Bedingungen sind im Nordpolarmeer erst mit dem Beginn des Pleistozäns vor etwa 2,6 Mio. Jahren nachzuweisen.

Die ausgeprägten Unterschiede zwischen Arktis und Antarktis haben Konsequenzen für die Diversität der marinen Lebensgemeinschaften. Grundsätzlich ist der Südliche Ozean wegen der längeren Evolutionsgeschichte in Kombination mit der biogeographischen Isolierung artenreicher als das Nordpolarmeer. Dies trifft vor allem für die benthischen Habitate zu. Südlich der Antarktischen Konvergenz haben sich einzigartige (endemische) Arten entwickelt. Nahe dem Kontinent wurden zusätzlich Populationen benthischer Arten immer wieder durch Schelfeisevorschübe getrennt, was zur Aufspaltung in verschiedene Arten und damit zu einer relativ hohen Artenvielfalt geführt hat. Laut DE BROUYER et al. (2014) sind 9.058 Arten im Südlichen Ozean bekannt, davon sind 7.151 benthisch, 344 pelagisch und 1.563 Säugetiere, Vögel und Fische. BLUHM et al. (2011) berichten für das Nordpolarmeer von insgesamt knapp 8.000 bekannten Arten, darunter über 4.500 benthischen, ca. 350 Zooplanktern sowie 259 Fischen und Säugetieren.

Folgen des Klimawandels

Die Ozeane bestimmen maßgeblich das weltweite Klima und seine Veränderung, werden aber auch selbst vom Klimawandel beeinflusst. Die Effekte sind regional sehr unterschiedlich, sowohl zwischen den als auch innerhalb der beiden Polarregionen. Sie sind zudem sehr komplex und beeinflussen einander (Abb. 4.4-1). Deshalb verlaufen sie oft nicht linear und sind somit schwer zu prognostizieren. Am stärksten vom Klimawandel betroffen ist das Nordpolarmeer, wo im Sommer immer größere Flächen eisfrei sind, d.h. die dortige saisonale Eisdynamik ähnelt zunehmend der des Südlichen Ozeans, in dem üblicherweise ein Großteil des im Winter gebildeten Meereises im Sommer taut. Auch in den Gewässern der Westantarktis gibt es einen dramatischen Meereisschwund, der allerdings im größeren ostantarktischen Südlichen Ozean noch nicht beobachtet wird. Allgemein sind in hohen Breiten die Auswirkungen der klimabedingten Umweltveränderungen auf die marinen Organismen und Lebensgemeinschaften besonders gravierend, denn diese sind zwar gut an die extremen Lebensbedingungen in polaren Meeren angepasst, haben dadurch aber an Toleranz gegenüber raschen Veränderungen in ihrem Lebensraum eingebüßt (HEMPEL & PIEPENBURG 2010).

Ozeanerwärmung

Der vornehmlich durch den Menschen verursachte Anstieg des atmosphärischen Kohlendioxids und anderer Treibhausgase bewirkt aufgrund des Treibhauseffekts seit etwa 200 Jahren eine Erwärmung der Atmosphäre (Abb. 4.4-1). Die Ozeane reagieren ebenfalls, wenn auch nicht so ausgeprägt und mit Verzögerung (DIETRICH et al. 2011). Im Laufe der Erdgeschichte hat es zwar immer wieder Temperaturveränderungen in den Ozeanen gegeben, etwa beim Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten. Die derzeitige Erwärmung ist jedoch in Ausmaß und Geschwindigkeit außergewöhnlich und hat vor allem in den hohen Breiten schwerwiegende Auswirkungen auf das Leben im Meer und im Meereis. Es ergeben sich direkte Folgen für die Physiologie und Lebensgeschichte einzelner Organismen und – noch weiter reichende – indirekte für die Zusammensetzung und das Funktionieren von ganzen Ökosystemen (MARRIBUS 2010). Steigende Wassertemperaturen führen zum Beispiel zur Erhöhung des Grundstoffwechsels aller Meeresbewohner. Dies hat Konsequenzen für die Energiebilanz und damit auch für Lebensprozesse wie Wachstum, Fortpflanzung und Verhalten. So werden sich die biologischen Abläufe zeitlich verschieben, die an die in den Polargebieten besonders ausgeprägten Jah-

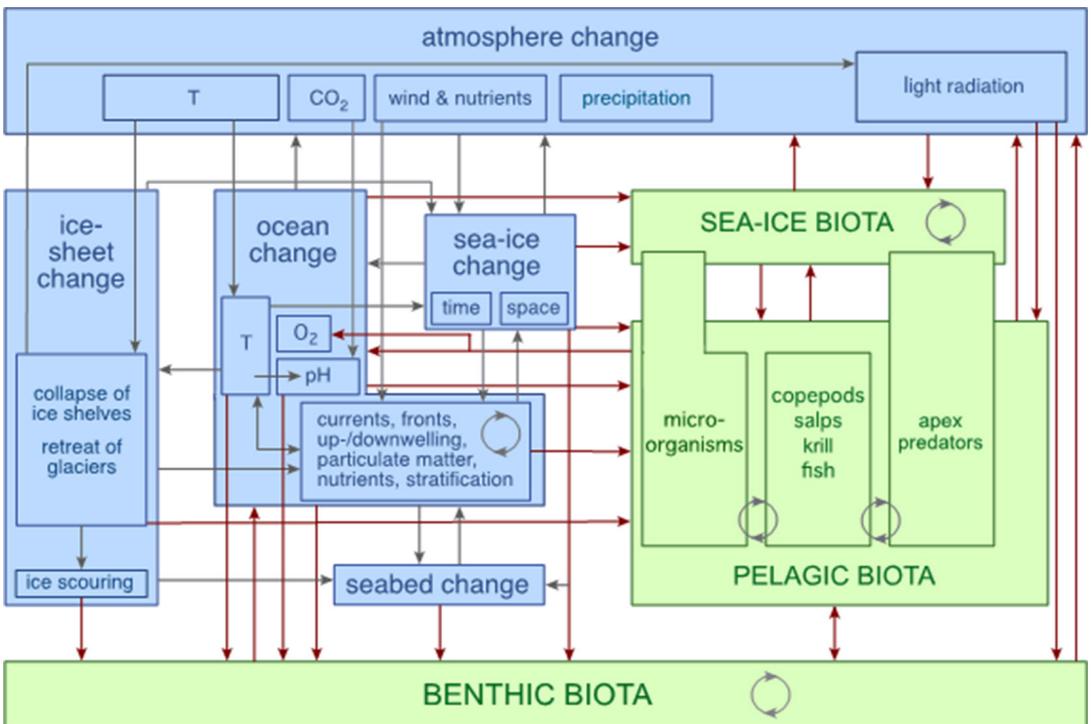


Abb. 4.4-1: Beziehungsgeflecht zwischen abiotischen Umweltveränderungen (in blau) und deren Auswirkungen auf die drei Haupt-Ökosysteme (Meereis, Pelagial und Benthial; in grün) in polaren Meeren am Beispiel des Südlichen Ozeans. Die grauen Pfeile zeigen Wirkungen innerhalb der abiotischen (unbelebten), die roten zwischen der unbelebten und der belebten Natur an (verändert nach GUTT et al. 2015).

reszeiten gebunden sind, wie zum Beispiel die Vermehrung. Weil nicht alle Arten auf die Erwärmung gleich reagieren, schlüpfen eventuell bestimmte Zooplankton- und Fischlarven ohne die nötige zeitliche Übereinstimmung mit der als Nahrung dienenden Planktonblüte und verhungern. Pflanzen sind nämlich generell weniger empfindlich gegenüber der Erwärmung als Tiere, da für ihr Wachstum die Lichtverhältnisse noch wichtiger als die Temperatur sind. Außerdem verschieben sich durch die Ozeanerwärmung die Verbreitungsgebiete von Arten im Plankton, Nekton und Benthos. Während sich pelagische Arten in der Arktis in mögliche Refugien in Polnähe mit dann immer noch hoch-polaren Bedingungen zurückziehen könnten, ist dies wegen der

Lage des Antarktischen Kontinents auf der Südhalbkugel weder für planktische noch für benthische Organismen möglich. Durch die polwärts gerichtete Verschiebung der Verbreitungsgebiete kommt es zu einer Einwanderung bestimmter Arten in bisher von ihnen nicht besiedelte Regionen (z.B. »Atlantifizierung« der Arktis; Abb. 4.4-2). Zum Beispiel breiten sich schon jetzt atlantische Nutzfische wie Kabeljau, Hering und Lodde nach Norden in die Arktis und Stein-/Königskrabben in der Antarktis weiter nach Süden aus. Diese Arten können als »Bioinvasoren« die einheimische hoch-polare Fauna verdrängen und die aufeinander eingespielten Nahrungsnetz-Gleichgewichte nachhaltig verändern. Sie haben nämlich teilweise eine Ernäh-

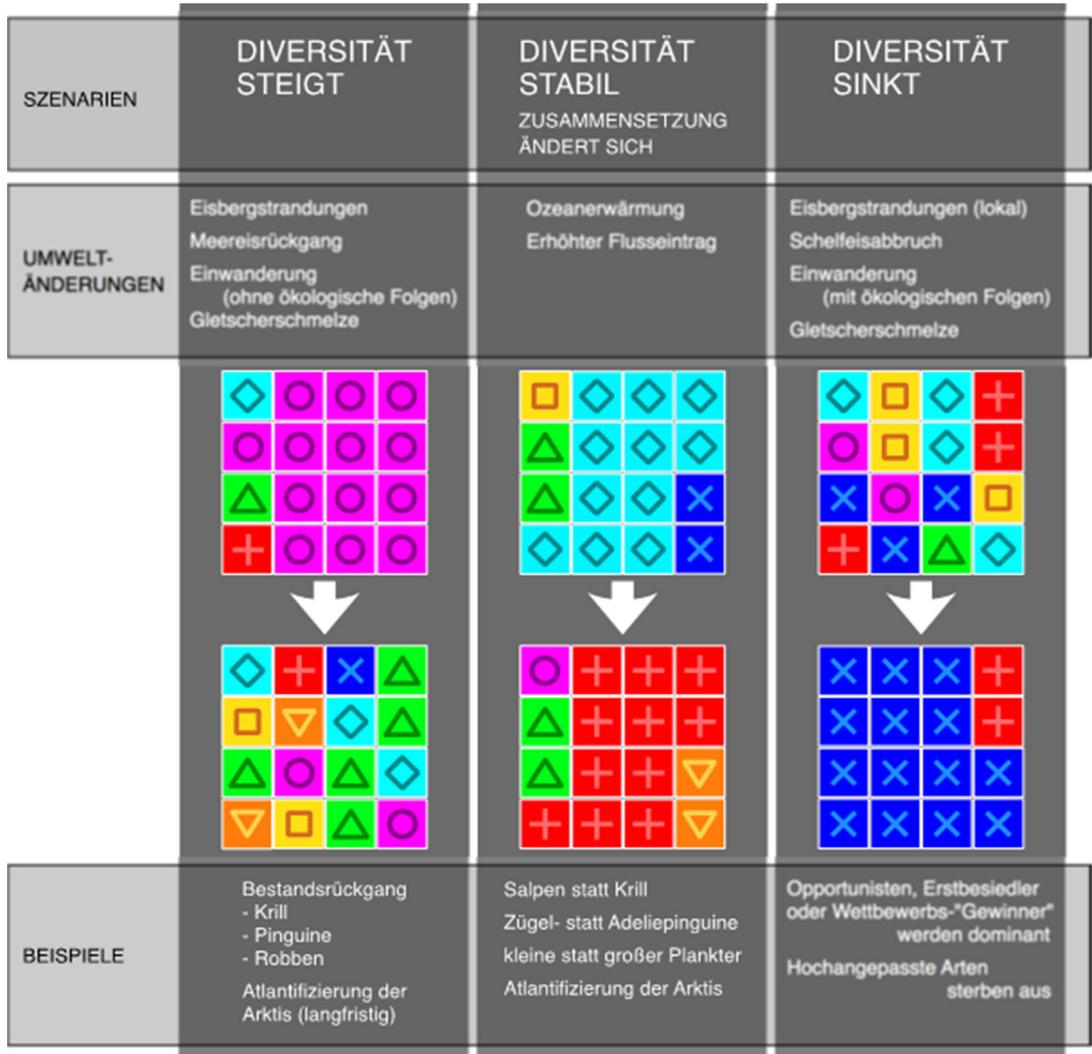


Abb. 4.4-2: Schematische Darstellung beispielhafter Szenarien für klimabedingte Umweltveränderungen und deren Auswirkungen auf die Biodiversität und Artenzusammensetzung von Lebensgemeinschaften in polaren Meeren (die bunten Kästen stellen Lebensgemeinschaften dar, unterschiedliche Symbole/Farben repräsentieren verschiedene Arten; verändert nach Kap. 1.1 - GUTT & AULIYA).

rungsweise, gegen die die derzeit dort siedelnden potenziellen Beuteorganismen evolutiv nicht gewappnet sind: Kabeljau und Steinkrabben können harte Skelettstrukturen zerbeißen und damit die gesamte benthische Diversität nachhaltig verändern (ARONSON et al. 2015). Im Plankton beider Polargebiete wird als Folge der Erwärmung punktuell bei verschiedenen Organismengruppen des Phyto- und Zooplanktons ein Wechsel von großen zu kleinen Arten beobachtet (Abb. 4.4-2). Pflanzen haben bei einer geografischen Verschiebung ihres Vorkommens entlang von Längengraden zum Verbleib in Wassermassen mit für sie günstiger Temperatur das Problem, in ein anderes Lichtregime hineinzugeraten und damit »fertig werden« zu müssen.

Ozeanversauerung

Der anthropogene Anstieg des Kohlendioxids in der Atmosphäre führt über den Treibhauseffekt nicht nur zu einer Erwärmung der Ozeane, sondern auch zu deren »Versauerung« (Abb. 4.4-1). Infolge der erhöhten Aufnahme von CO₂ aus der Luft und der vermehrten Bildung von Kohlensäure sinkt nämlich der pH-Wert im Meerwasser. Bislang haben die Weltmeere seit der industriellen Revolution im 19. Jahrhundert knapp die Hälfte des Kohlendioxids aus der Verbrennung fossiler Energieträger aufgenommen, was bereits zu einer globalen Erniedrigung um etwa 0,1 pH-Einheiten (von durchschnittlich 8,2 auf 8,1) geführt hat (SCHULZ & RIEBESELL 2011). Nach Modellvorhersagen könnte die Absenkung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts auf fast 0,4 Einheiten steigen, vor allem in den kalten polaren Meeren. Der pH-Wert des Wassers fiel damit auf den niedrigsten Stand innerhalb der letzten 20 Mio. Jahre, und das mit einer Geschwindigkeit, die etwa hundertfach höher wäre als alle natürlichen pH-Schwankungen in diesem Zeitraum. Eine solch drastische Änderung der Chemie der Ozeane hätte Auswirkungen auf alle marinen Lebewesen und Ökosysteme (siehe auch Kap. 4.6 - BACH & RIEBESELL). Die Versauerung der Ozeane ist auch mit einer Reduzierung des Karbonatgehalts im Meerwasser verbunden und hat somit unmittelbare negative Folgen für Organismen, die Kalkskelette oder -schalen haben, wie Korallen, Kalkalgen, Muscheln und Stachelhäuter. Wegen der erhöhten Löslichkeit des CO₂ bei niedrigen Temperaturen ist dieser Effekt in den Polarmeeren besonders gravierend. Hier können unverminderte CO₂-Emissionen in die Atmosphäre schon bis Ende dieses Jahrhunderts zu einer Karbonat-Untersättigung des Meerwassers in allen Wassertiefen führen (RIEBESELL & SCHULZ 2011). Dann können die Polarmeere nicht nur für bestimmte kalkbildende Lebewesen, wie Flügelschnecken, langfristig unbewohnbar werden, sondern auch für den Krill zu einem problema-

tischen Lebensraum werden – mit Konsequenzen für die gesamte marine Biodiversität in diesen Regionen. Es gibt allerdings auch Studien (STROBEL et al. 2012), die nahelegen, dass sich polare Organismen physiologisch an die zu erwartende Versauerung akklimatisieren können.

Meereisrückgang

Über die Folgen des Meereisrückgangs in der Arktis wird in Kap. 4.3 - FLORES berichtet. Auch in der Antarktis ist das Leben maßgeblich durch das Meereis geprägt (GUTT et al. 2015). Allerdings sind für den Südlichen Ozean nur wenige Arten bekannt, z.B. einige Ruderfußkrebse, Robben und Pinguine, die so eng an das Meereis als Lebensraum gebunden sind, dass sie aussterben müssten, falls das Meereis klimabedingt verschwindet. Dieses auf traditioneller Artenbestimmung beruhende Ergebnis steht im Gegensatz zu neueren metagenomischen Befunden an kleineren arktischen Meereisbewohnern und ihren »Geschwistern« im offenen Wasser. Bezüglich der reinen Artenzahl wären demzufolge im Südlichen Ozean, im Gegensatz zum Nordpolarmeer, auch bei erheblichem Rückgang des Meereises keine dramatischen Änderungen zu erwarten, wohl aber in der Zusammensetzung der Gemeinschaften. Zu den Verlierern im Südlichen Ozean könnte der Krill gehören, weil dessen Jugendstadien eine besonders enge Bindung an das Meereis zeigen. Falls die funktionelle Biodiversität im Pelagial so gering ist, dass der Ausfall des Krills nicht von anderen Nahrungstieren kompensiert werden kann, ist mit einem Kollaps einer wichtigen Ökosystemfunktion – der Sekundär-Produktion von Nahrung für viele »Endverbraucher« – zu rechnen. Wenn der Krill durch die viel weniger »nahrhaften« Salpen ersetzt werden sollte, wäre es nur von nachrangiger Bedeutung, ob die Biodiversität dann stabil bliebe oder sich sogar als Folge der Reduzierung des massenhaft vorkommenden Krills und der Etablierung einer ausgewogeneren Artenzusammensetzung erhöht (Abb. 4.4-2). Indirekte Folgen eines Meereisrückgangs für die Biodiversität sind schwer abschätzbar, weil durch multiple Stressoren kausale Zusammenhänge schwer nachvollziehbar und ökologische Folgen oft nicht-linear sind. Es gibt zwar Zukunftsprognosen einer Intensivierung von Algenblüten beim Meereisrückgang als auch gegenteilige Messungen, aber keine Kenntnisse über den Einfluss dieser Prozesse auf die Biodiversität. Wenn sich allerdings in der Wassersäule deutliche Änderungen von Artenzusammensetzung (z.B. Salpen statt Krill) und Ökosystemfunktionen (z.B. höhere Primärproduktion) einstellen, sind für die benthische Diversität Folgen zu erwarten. Artenreiche Suspensionsfressergesellschaften am Meeresboden sind eher

an spezifische Nahrung gebunden als die weniger diversen Weidegänger. Schwämme, Seescheiden, Moostierchen und Nesseltiere könnten so bei ansteigendem Nahrungseintrag leiden, weil ihr Filtrierapparat verstopft wird. Damit wäre ein Biodiversitätsrückgang zu erwarten, der durch eine Dezimierung ihrer reichen Begleitfauna noch verstärkt werden würde (Abb. 4.4-2). Ein Verlust an ausgewogener Artenzusammensetzung und damit eine Minderung von Lebensvielfalt ist auch zu erwarten, falls Weidegänger, z.B. Seegurken, durch ihre unspezifische Nahrungswahl von vermehrtem Absinken absterbender Mikroalgen profitieren und mit lokal massenhaftem Populationswachstum reagieren.

Abnahme von Gletschern und Schelfeisen

Das Abschmelzen von Gletschern hat in beiden Polargebieten durch erhöhten Eintrag von Sedimenten und Süßwasser Folgen für marine Habitate in Fjorden und Buchten (Abb. 4.4-1). Es ist festgestellt worden, dass davon Arten profitieren, die sich durch eine hohe Toleranz gegenüber Umweltveränderungen auszeichnen, und die lokale Biodiversität sinkt. Es gibt auch ein gegenteiliges Beispiel aus der Antarktis, wo dominante Seescheiden verschwinden und sich kleinräumig eine stärker durchmischte Bodenfauna etabliert (SAHADE et al. 2015) (Abb. 4.4-2). Wenn die mit dem Inlandeis verbundenen schwimmenden antarktischen Eis tafeln der Schelfeise abbrechen, geht ein einmaliger Lebensraum darunter verloren. Nach dem Kollaps der Schelfeise würden deshalb viele der an eine extreme Nahrungsknappheit speziell angepassten Arten verschwinden und die besondere Unter-Schelfeis-Fauna durch die »normale« Schelffauna ersetzt. Dadurch leidet die gesamt-antarktische Artenzahl nur wenig, die räumliche Heterogenität (beta-Diversität) nimmt jedoch ab (Abb. 4.4-2). Betroffen ist bisher eine Fläche, die ungefähr 60% Niedersachsens ausmacht. Wenn als Folge solcher Schelfeisabbrüche Eisberge vermehrt auf Grund laufen und das Sediment durchpflügen, kommt es anfänglich zu einer drastischen Minderung der lokalen Biodiversität der Bodenfauna in den betroffenen Gebieten. Im weiteren Verlauf führt die Bildung eines aus dem Nebeneinander verschiedener Wiederbesiedlungsstadien bestehender »Flickenteppichs« zu einer erhöhten beta-Diversität (räumlichen Heterogenität) und auch zu einer gesteigerten regionalen Biodiversität (Abb. 4.4-2).

Zunahme des Eintrags durch Flüsse

In der nördlichen Hemisphäre bedeutet der Klimawandel nicht nur eine deutliche Erwärmung der Atmosphäre und Meere, sondern er führt auch zu erhöh-

ten Niederschlägen (Abb. 4.4-1). Die daraus folgende Zunahme des Einstroms von Süßwasser durch Flüsse mit Sedimenten, sowie Nähr- und Schadstoffen in das Nordpolarmeer resultiert in einer Verstärkung der thermohalinen Schichtung der Wassersäule. Diese Veränderung wird wegen ihrer Folgen für den Nährstoffhaushalt der oberen Wasserschichten auch Konsequenzen für das pelagische Produktionsregime haben. Die darüber hinausreichenden ökologischen Kaskaden-Effekte auf die pelago-benthische Kopplung – und damit auf die gesamte marine Biodiversität – sind derzeit nicht zu prognostizieren.

Zunahme der ultravioletten Einstrahlung

Die über der Antarktis regelmäßig zum Ende des Winters auftretende Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht (»Ozonloch«) und die daraus folgende verstärkte Einstrahlung ultravioletten Lichts (vor allem der UV-B-Anteil) hat Auswirkungen auf Meeresbewohner in der obersten Wasserschicht – allerdings nur dort, wo es zu dieser Jahreszeit kein Meereis gibt (Abb. 4.4-1). Dies betrifft insbesondere das Phytoplankton, aber auch Großalgen (siehe auch Kap. 4.5 - BARTSCH), Krill sowie Robben, deren Augen eventuell während ihrer Aufenthalte an Land oder auf dem Eis leiden. Diese Effekte scheinen aber nicht immer nachhaltig zu sein, weil sie durch vertikale Vermischung von Wassermassen durch Wind, die Kurzfristigkeit des Phänomens und die Eisdynamik überlagert bzw. kompensiert werden. Allerdings hat das Ozonloch zusätzliche Auswirkungen auf das Klima, z.B. auf windgetriebene regionale Schwankungen zwischen extrem kalten und milderer Witterungsbedingungen (Southern Annular Mode), mit Folgen für die marine Biodiversität.

Schlussbetrachtung

Der Klimawandel hat in den polaren Meeren regional unterschiedliche Auswirkungen (Abb. 4.4-1). Einerseits wird er wegen der hohen Empfindlichkeit vieler Organismen dort, wo er stattfindet, einen erheblichen Faunenwechsel und auch Änderungen der Biodiversität in beide Richtungen, Erhöhung und Verminderung, zur Folge haben (Abb. 4.4-2). Andererseits ist zu erwarten, dass durch das Nebeneinander sich ändernder Habitate und umweltstabiler Refugien, wie im hoch-antarktischen Südlichen Ozean, die räumliche Heterogenität der Lebensgemeinschaften (beta-Diversität) zunehmen wird. Wenn aber auch solche Refugien vom Klimawandel betroffen sind, ist auf längere Sicht mit einer großräumigen Durchmischung mit euryöken Arten, die an große Umweltschwankungen angepasst sind, zu rechnen. Weil viele Folgen des Klimawandels nicht-linear,

aber auch miteinander verbunden sind, ist eine zeitliche Abfolge von Erhöhung und nachfolgender Erniedrigung der Biodiversität, oder umgekehrt, zu erwarten. Dies kann zum Beispiel bei der Wiederbesiedlung nach Eisbergstrandungen oder bei Verschiebungen der Häufigkeiten von Räubern und ihrer potenziellen Beute der Fall sein.

Weil die polaren Meeresgebiete zusätzlich zum Klimawandel zunehmend menschlicher Nutzung ausgesetzt sind, aber auch Ökosystemdienstleistungen erbringen, verdienen Schutz- und Managementmaßnahmen besondere Beachtung. In dieser Hinsicht ist besonders die Arktis betroffen, weil sie näher an den stark industrialisierten und bevölkerungsreichen Regionen liegt. Außerdem sind die wirtschaftlichen Interessen an der Exploration und Nutzung von Bodenschätzen (vor allem Öl und Gas) und natürlicher Ressourcen (Fischerei), aber auch Schiffverkehr (Nutzung der Nordwest- und Nordost-Passage für die Handelsschifffahrt) und Tourismus hier derzeit stark ausgeprägt. Es gibt aktuelle Bemühungen innerhalb des Arktischen Rats, in dem die acht Anrainerstaaten sowie Vertreter der indigenen Völker der Arktis vertreten sind, diese Aktivitäten durch internationale Verträge zu regulieren. In Hinblick auf den Schutz der arktischen Biodiversität ist dabei vor allem das Bestreben zur Schaffung eines Netzwerks von Meeres-Schutzgebieten (*»Marine Protected Areas«*) interessant (PAME 2015). Aber auch im Südlichen Ozean ist der direkte Einfluss menschlicher Aktivitäten evident. So trifft zum Beispiel die Erholung der Buckelwalbestände nach dem Ende des Walfanges auf einen Klima-verursachten Rückgang ihrer Hauptnahrung, des Krills. Außerdem sind antarktische Bodenfische in einigen Regionen durch die mittlerweile verbotene Fischerei mit Schleppnetzen übermäßig und langfristig dezimiert worden, und die zunehmende Langleindefischerei auf den Patagonischen und Antarktischen Seehecht verändert das pelagische Nahrungsnetz. Im Südlichen Ozean obliegen die Bemühungen zum Schutz, aber auch der nachhaltigen Nutzung mariner Lebensgemeinschaften der *»Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources«* (CCAMLR) sowie dem *»Committee on Environmental*

Protection« (CEP), deren Arbeiten in das Antarktisvertrags-System eingebettet sind.

Literatur

- ARONSON, R. B., K. E. SMITH, S. C. VOS, J. B. MCCLINTOCK et al. (2015): No barrier to emergence of bathyal king crabs on the Antarctic shelf. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112, 12997-13002, DOI: 10.1073/PNAS.1513962112.
- BLUHM, B. A., A. V. GEBRUK, R. GRADINGER, R. R. HOPCROFT et al. (2011): Arctic marine biodiversity: An update of species richness and examples of biodiversity change. *Oceanography*, 24, 232-248.
- DE BROYER, C., P. KOUBBI, H. J. GRIFFITHS, B. RAYMOND et al. (2014): *Biogeographic Atlas of the Southern Ocean*. SCAR, Cambridge.
- DIETRICH, V., R. ERB & W. KLEESATTEL (Hrsg.) (2011): *Abenteuer Weltmeere*. Cornelsen Verlag, Berlin.
- GUTT, J., N. BERTLER, T. J. BRACEGIRDLE, A. BUSCHMANN et al. (2015): The Southern Ocean ecosystem under multiple climate stresses - an integrated circumpolar assessment. *Global Change Biology*, 21, 1434-1453, doi: 10.1111/geb.12794.
- HEMPEL, G. & D. PIEPENBURG (2010): Nord- und Südpolarmeer im Klimawandel. Ein biologischer Vergleich. *Biologie in unserer Zeit*, 40, 386-395.
- MARIBUS (eds.) (2010): *World Ocean Review 2010: Mit den Meeren leben*. Maribus, Hamburg.
- PAME (Protection of the Arctic Marine Environment) (2015): *Framework for a Pan-Arctic Network of Marine Protected Areas*. PAME International Secretariat, Akureyri.
- RIEBESELL, U. & K. SCHULZ (2011): Auswirkungen der Ozeanversauerung auf marine Lebensprozesse. In: LOZÁN, J. L., H. GRASSL, L. KARBE & K. REISE (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Die Meere – Änderungen und Risiken*. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg. 173-177.
- SAHADE, R., C. LAGGER, L. TORRE, P. MOMO et al. (2015): Climate change and glacier retreat drive shifts in an Antarctic benthic ecosystem. *Science Advances*, 1, e1500050, doi: 10.1126/sciadv.1500050.
- SCHULZ, K. & U. RIEBESELL (2011): Versauerung des Meerwassers durch anthropogenes CO₂. In: Lozán, J.L., Graßl, H., Karbe, L., Reise, K. (Hrsg.): *Warnsignal Klima: Die Meere – Änderungen und Risiken*. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg. 160-163.
- STROBEL, A., S. BENNECKE, E. LEO, K. MINTENBECK et al. (2012): Metabolic shifts in the Antarctic fish *Notothenia rossii* in response to rising temperature and pCO₂. *Frontiers in Zoology*, 9, 28, doi:10.1186/1742-9994-9-28.
- TURNER, J., N. E. BARRAND, T. J. BRACEGIRDLE, P. CONVEY et al. (2014): Antarctic climate change and the environment: an update. *Polar Record*, 50, 237-259.

Kontakt:

Prof. Dr. Dieter Piepenburg

Prof. Dr. Julian Gutt

Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar-

und Meeresforschung, Bremerhaven

dieter.piepenburg@awi.de

julian.gutt@awi.de

Piepenburg, D. & J. Gutt (2016): *Marine Biodiversität der Polargebiete im Klimawandel*. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Racher (Hrsg.), *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*. pp. 237-242. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.38.