



DIE FOLGEN DES KLIMA-
WANDELS FÜR DAS LEBEN IM

Südpolarmeer

Ein Lebensraum für Hartgesottene

Das Südpolarmeer ist der Ozean rund um die Antarktis. Es umschließt den vereisten Kontinent vollständig und erstreckt sich über eine Fläche von 20,3 Millionen Quadratkilometer - was in etwa der 57-fachen Größe Deutschlands entspricht. Seine offizielle Nordgrenze ziehen Geografen am 60. südlichen Breitengrad. Im Süden dagegen setzt die Küstenlinie des antarktischen Kontinentes dem Meer eine natürliche Begrenzung.

Bei Seefahrern, Abenteurern und Wissenschaftlern ist dieses südlichste Meeresgebiet der Erde als außergewöhnlich stürmisch und eiskalt bekannt. Diese und andere Eigenschaften verdankt das Südpolarmeer seiner unmittelbaren Nachbarschaft zur Antarktis. Drei Beispiele für das enge Zusammenspiel: Der große Temperatur- und Druckunterschied zwischen den kalten Luftmassen über dem antarktischen Kontinent und der wärmeren Luft über den Subtropen befeuert Westwinde, die so stark sind, dass sie mit dem antarktischen Zirkumpolarstrom die stärkste Meeresströmung der Erde antreiben. Wo die Eismassen des antarktischen Eisschildes als Schelfeis auf dem Südpolarmeer schwimmen, sinkt die Temperatur des Meerwassers auf bis zu minus zwei Grad Celsius. Allein sein hoher Salzgehalt verhindert dann, dass es auf der Stelle gefriert. Und während des neun Monate andauernden antarktischen Winters



Im Gegensatz zum arktischen Meereis wird das meiste Packeis der Antarktis nicht älter als ein Jahr. Die im Durchschnitt 60 Zentimeter dicke Eisdecke bildet sich in den ersten Winterwochen, erreicht im September ihre größte Ausdehnung von etwa 19 Millionen Quadratkilometern und schmilzt dann im kurzen antarktischen Sommer bis auf eine Fläche von drei Millionen Quadratkilometer weg. (Foto: Mario Hoppmann, AWI)

bildet sich auf dem Südpolarmeer eine bis zu 1,5 Meter dicke Meereisdecke. Die Lufttemperatur über dem Meer sinkt dann auf minus 30 Grad Celsius und kälter - Bedingungen, die nur übersteht, wer außergewöhnliche Überlebensstrategien entwickelt hat.

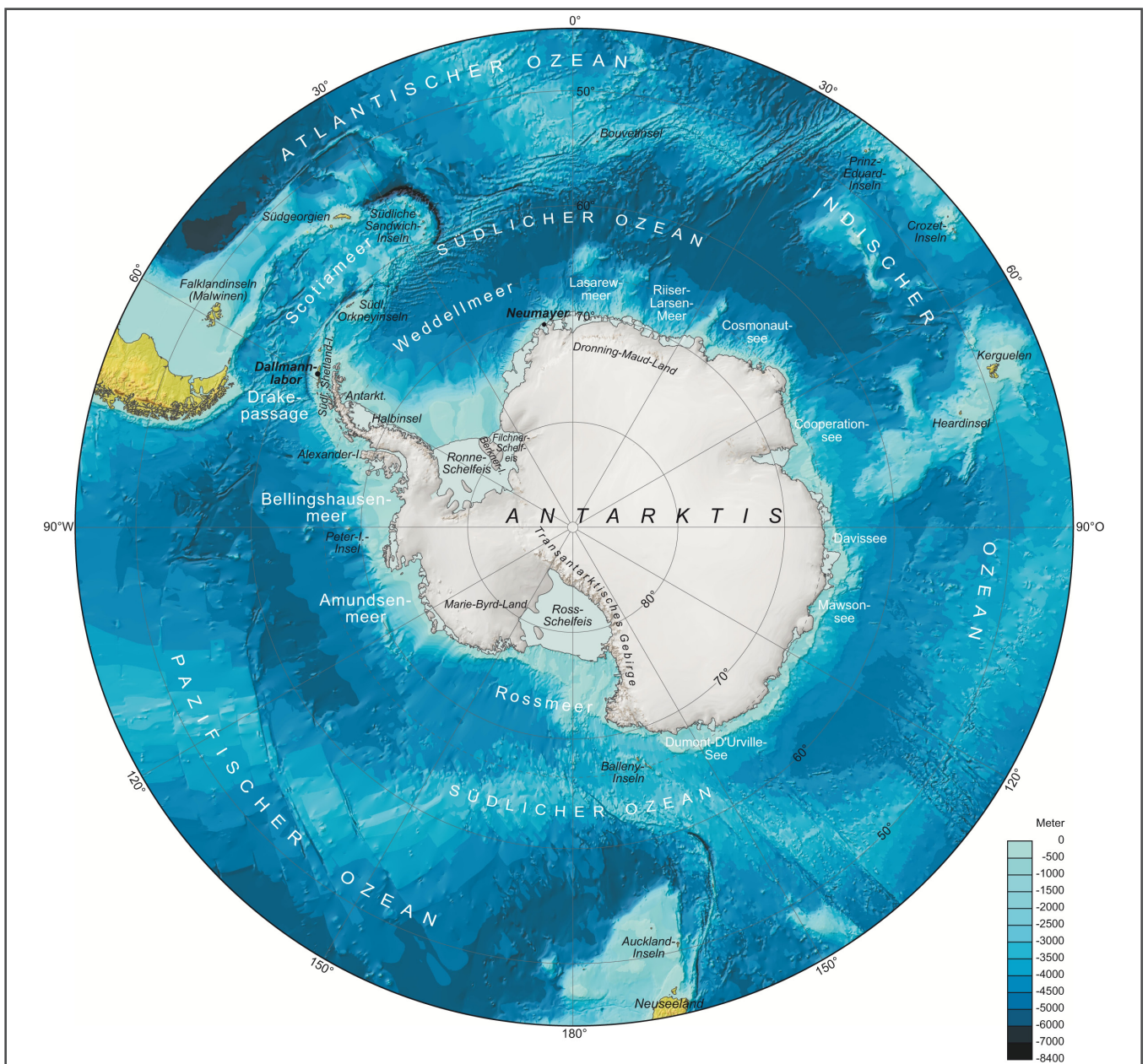
Polarforscher haben in der Vergangenheit viel Zeit und Mühe aufgewandt, um die Artenvielfalt der Antarktischbewohner zu untersuchen und ihre Überlebensstricks zu

verstehen. Sie entdeckten zum Beispiel die Frostschutzmittel im Blut der Eisfische und entschlüsselten, wie sich Kaiserpinguine durch Gruppenkuscheln wärmen. Angesichts des weltweiten Klimawandels aber stellen sich heute neue Fragen:

Wie verändern die Erwärmung und die zunehmende Versauerung der Ozeane die Lebensgemeinschaften in der Antarktis und im angrenzenden Südpolarmeer? Werden sich die kälteliebenden Arten an die neuen Lebensbedingungen anpassen können? Wie gut verkraftet das Ökosystem menschliche Eingriffe wie zum Beispiel

die Eisfisch- und Krillfischerei? Und zu guter Letzt: Wie wirken sich Veränderungen im Südpolarmeer auf die Ökosysteme anderer Meeresregionen aus? So sind doch die antarktischen Gewässer nicht nur für Bartenwale einer der wichtigsten Futtergründe unseres Planeten.

Die bisherigen Klimaforschungsergebnisse zeichnen das Bild einer zweigeteilten Polarregion. Während die Durchschnittstemperatur über dem östlichen Teil der Antarktis sowie im östlichen Weddellmeer und im Rossmeer stabil bleibt oder sogar sinkt, finden die Wissenschaftler in der Westantarktis und an der Antarktischen



Die Antarktis ist der kälteste, windigste und trockenste Kontinent unserer Erde. Das Klima über der von Eis bedeckten Landmasse rund um den Südpol beeinflusst maßgeblich die Lebensbedingungen im Südpolarmeer, zu dem auch Randmeere wie das Rossmeer gehören. (Karte: AWI)

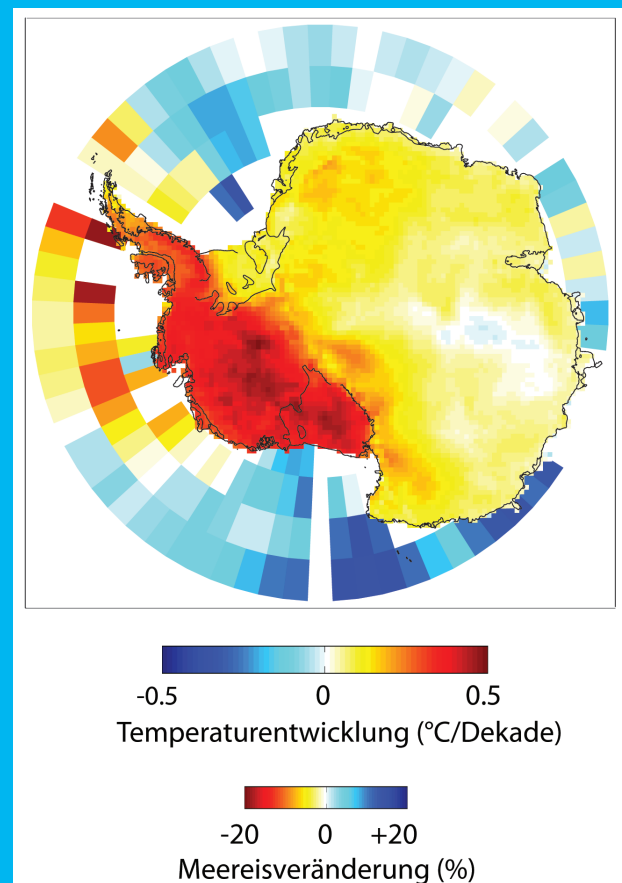
Halbinsel Belege für eine rasante Erwärmung. In diesen Regionen steigen die Luft- und Wassertemperatur, die winterliche Meereisdecke schrumpft, Schelfeise zerfallen, die Gletscher ziehen sich zurück und die Winde nehmen zu. Eine Entwicklung mit gravierenden Folgen für das Ökosystem des Südpolarmeeres und seine Be-

wohner. Die Wissenschaftler formulieren es so: In einigen Bereichen der Antarktis ist plötzlich alles anders. Der Klimawandel nimmt die Lebensgemeinschaften des Südpolarmeeres auf vielfache Art und Weise in die Zange. Wie, das zeigen folgende Beispiele aus der Forschung des Alfred-Wegener-Institutes.

Faktenbox: Zahlen zum Klima der Antarktis

- **Erwärmung:** In den zurückliegenden 50 Jahren ist die Sommer-Lufttemperatur an der westlichen Antarktischen Halbinsel um zwei Grad Celsius gestiegen; die Winter waren 2,5 Grad Celsius wärmer. Als ein Grund für diesen Anstieg wird die Verschiebung der Windsysteme über der Antarktis angenommen. Auf diese Weise gelangt heute mehr warme Luft Richtung Halbinsel als früher.
- **Gletscherrückzug:** Der antarktische Eisschild hat in der Zeit von 2002 bis 2011 pro Jahr etwa 147 Gigatonnen Eis verloren. In den 1990er Jahren waren es durchschnittlich 30 Gigatonnen. Die größten Verluste verzeichnen die Gletscher in der Westantarktis.
- **Meereis-Rekord:** Im September 2013 verzeichneten Forscher die größte antarktische Meereis-Fläche der zurückliegenden 30 Jahre. Das Eis hatte sich auf einer Fläche von 19,48 Millionen Quadratkilometer gebildet. Aber: Zuwüchse gibt es nur im Ross- und im Weddellmeer. Im Amundsenmeer und Bellingshausenmeer sowie an der Spitze der Antarktischen Halbinsel schrumpft die Eisdecke stetig und fehlt dem Krill, den Robben, Pinguinen und anderen Eisbewohnern zunehmend als Lebensraum.
- **Meeresspiegelanstieg:** Der antarktische Eisschild ist bis zu 4770 Meter dick. Seine Eismassen speichern zusammengenommen rund 63 Prozent der irdischen Süßwasserreserven. Würden diese Gletscher abschmelzen, stiege der weltweite Meeresspiegel um 58 Meter. Derzeit lassen die Massenverluste des antarktischen Eisschildes den weltweiten Meeresspiegel um 0,4 Millimeter pro Jahr ansteigen.
- **Winde:** Die Westwinde über dem Südpolarmeer haben seit den 1980er Jahren zugenommen. Ursache dafür sind die Ausdünnung der Ozonschicht über der Antarktis (Ozonloch) und der Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre (Erwärmung).

- **Ozonschicht:** Das sogenannte Ozonloch über der Antarktis beeinflusst seit dem Jahr 1980 maßgeblich das antarktische Klima. Es verstärkt den südlichen Polarwirbel, einen Windgürtel um den Südpol; verändert Wetterabläufe rings um den Kontinent und verstärkt die Westwinde um bis zu 15 Prozent.



Die zwei Gesichter: Diese Karte zeigt, inwieweit sich im Zeitraum von 1979 bis 2003 die Oberflächentemperatur auf dem antarktischen Kontinent und die Meereisbedeckung des Südpolarmeeres verändert haben. Gut zu erkennen ist die Zweiteilung des Kontinentes. Während die Erwärmung im Westen stark voranschritt und die Meereisbedeckung abnahm, blieben die Temperaturen im Osten nahezu stabil. Gleichzeitig wuchs die Meereisbedeckung im Ross- und Weddellmeer. (Abbildung: Eric J. Steig et al. *Nature* 457, 459-462 (2009), doi: 10.1038/nature07669)



Eisschollen wie dieses Exemplar aus dem Weddellmeer sind überlebensnotwendige Weidegründe für den Antarktischen Krill. Die Krebse fressen vor allem als Jungtiere all jene Algen, die im Eis und vor allem an der Unterseite der Scholle wachsen. Auf diesem Bild sind die Algenteppiche an der grünen bis braunen Färbung der obenauf liegenden Eisbrocken zu erkennen. (Foto: Mario Hoppmann, AWI)

Meereis: Im Kindergarten des Krills fehlt das Packeis

Blauwale, Pinguine, Robben und Eisfische – sie alle würden in der Antarktis verhungern, gäbe es nicht den Antarktischen Krill. Diese bis zu sechs Zentimeter langen garnelenähnlichen Krebstiere stellen die Hauptnahrung für alle größeren Bewohner dieses einzigartigen Lebensraumes dar. Krill wandert in so großen Schwärmen durch den Südlichen Ozean, dass man seine Menge bis heute nur schätzen kann – auf eine Gesamtmasse von 100 bis 400 Millionen Tonnen. Bestens bekannt dagegen ist, dass Krill vor allem im ersten Lebensjahr eine ausreichend große und dicke Packeisdecke braucht, um den mehr als neun Monate langen antarktischen Winter zu überstehen. Die hungrigen Larven weiden in dieser Zeit die algenbewachsene Unterseite des Eises ab. Sie finden in den vielen Hohl- und Zwischenräumen im Packeis Schutz vor Feinden und treiben mit den Schollen in weit entfernte Gebiete des Südpolarmeeres.

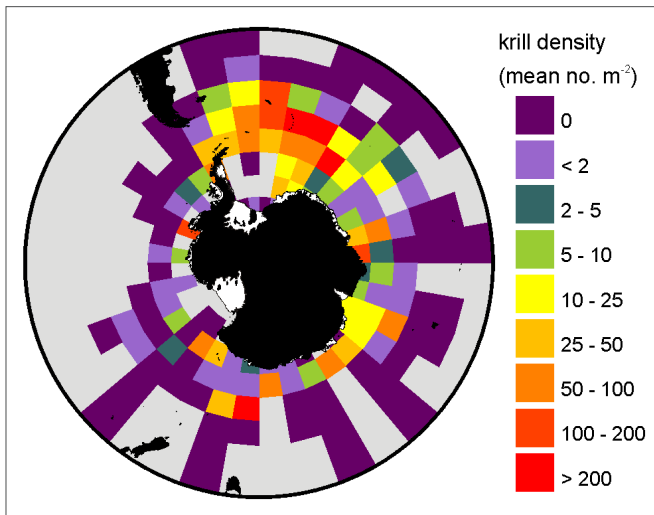
Aber: Die Kinderstuben und Hauptverbreitungsgebiete des Antarktischen Krills (Bellinghausenmeer, Amundsenmeer, südliches Scotiameer) liegen größtenteils in genau jenem Teil des Südlichen Ozeans, in dem die Folgen des Klimawandels schon heute deutlich zu spüren sind. Westlich der Antarktischen Halbinsel zum Beispiel hat sich das Oberflächenwasser in den zurückliegenden 50 Jahren um mehr als ein Grad Celsius erwärmt. Gleichzeitig beobachten Wissenschaftler in dieser und in anderen krill-relevanten Regionen den schnellsten Meereisrückgang. So verkürzte sich zum Beispiel in

den zurückliegenden drei Jahrzehnten die Eissaison im südlichen Bellinghausenmeer und im Gebiet westlich der Antarktischen Halbinsel um 85 Tage. Zeitgleich aber nahm die Ausdehnung des Packeises im Rossmeer derart zu, dass AWI-Experten am 18. September 2013 einen neuen Meereis-Flächenrekord für den Südlichen Ozean vermeldeten.

Kann der Krill seine Kinderstube unter diesen Umständen nicht in Regionen mit wachsender Eisdecke verlagern? Er versucht es. An der Antarktischen Halbinsel zum Beispiel beobachten Forscher, dass sich der Krill



Der Antarktische Krill fühlt sich bei Temperaturen von -1 bis 1 Grad Celsius am wohlsten. Sollte sich das Südpolarmeer erwärmen, bliebe ausgewachsenen Tieren für eine gewisse Zeit die Möglichkeit, in größere Wassertiefen auszuweichen. Ohne ausreichend Meereis aber wäre das Überleben dieser Schlüsselart gefährdet. (Foto: Carsten Pape, AWI)



Diese Abbildung zeigt die Hauptverbreitungsgebiete des Antarktischen Krills. Die Populationsdichte sinkt derzeit - vor allem im atlantischen Teil des Südpolarmeeres. Hauptursachen dafür sind die regionale Erwärmung des Meeres sowie der Rückgang des Meereises. (Grafik nach: Atkinson A, Siegel V, Pakhomov EA, Rothery P and others (2008) Oceanic circumpolar habitats of Antarctic krill. Mar Ecol Prog Ser 362:1-23.)

zunehmend in Richtung Amundsensee bewegt - dorthin, wo die Folgen der Erwärmung noch nicht jenes Ausmaß erreicht haben wie an der Spitze der Halbinsel. Zur Zeit weiß man jedoch noch nicht, wie der Krill weiter auf die zunehmenden Umweltveränderungen reagieren wird. Das gilt auch für die Frage, wie es diesen kälteliebenden Krebsen ergehen wird, wenn sich das Südpolarmeer weiter erwärmt. Aus Experimenten wissen Forscher, dass die Tiere einen Temperatursprung auf 3,5 Grad Celsius und mehr für kurze Zeit aushalten können. Bleibt das Wasser aber über einen längeren Zeitraum wärmer als ein Grad Celsius, stört diese Hitze unter anderem das Wachstum dieser wichtigen Schlüsselart.



Für Bartenwale wie diesen Buckelwal ist Antarktischer Krill die wichtigste Nahrungsquelle. Vor allem die Walkühe fressen sich im Südpolarmeer jene Fettreserven an, die sie benötigen, um die lange Reise Richtung Äquator zu bewältigen. In den wärmeren Tropen und Subtropen bringen sie ihre Kälber auf die Welt. (Foto: ITAW/Carsten Rocholl)

Besonderheiten der antarktischen Tierwelt

- Viele Arten sind endemisch. Das heißt, sie kommen nur in der Antarktis vor.
- Die meisten Lebewesen am Grund des Südpolarmeeres wachsen in der Regel vier- bis 18-mal langsamer als Artgenossen in wärmeren Regionen. Sie haben einen langsameren Stoffwechsel, benötigen deshalb mehr Zeit, um geschlechtsreif zu werden und erreichen meist ein höheres Alter als ihre Verwandten in wärmeren Gefilden. Es gibt allerdings auch Ausnahmen: zum Beispiel außergewöhnlich schnell wachsende Seescheiden (Manteltiere) und Schwämme.
- Manche antarktische Arten werden deutlich größer als verwandte Arten in den Tropen oder mittleren Breiten.
- Viele kälteliebende Meeresbewohner tolerieren nur sehr geringe Schwankungen der Wassertemperatur.
- Das antarktische Meereis unterhält seine ganz eigene vielfältige Lebensgemeinschaft. Dazu gehören vor allem Mikroalgen und Kleintiere, die in den winzigen Sohlekanälchen des Eises leben. Manche Ruderfußkrebse verbringen einen Teil ihres Lebenszyklus im Meereis - so zum Beispiel Flohkrebse und Krill, die an der Unterseite des Eises Algen abgrasen und mehrere Zentimeter lang werden können. Einigen Fischarten dient das Meereis als Lebensraum und Laichplatz. Auch verschiedene Pinguin- und Robbenarten sind auf das Meereis als Jagdrevier und Ruheplattform angewiesen.
- Die Lebensrhythmen der Antarktisbewohner sind eng an jahreszeitliche Rhythmen wie die Zunahme oder das Abschmelzen des Meereises gebunden. Verändern sich diese Rhythmen, sinken unter Umständen die Überlebenschancen der angestammten Tiere.
- Wissenschaftler kennen heute weniger als zwei Prozent aller Antarktisbewohner gut genug, um klimabedingte Veränderungen feststellen zu können.



Südliches Weddellmeer: Dieses Foto zeigt die Kalbungskante des Filchner-Ronne-Schelfeises, des größten Schelfeises der Antarktis. Seine Fläche ist groß genug, um Spanien fast vollständig mit Eis zu bedecken. (Foto: Ralph Timmermann, AWI)

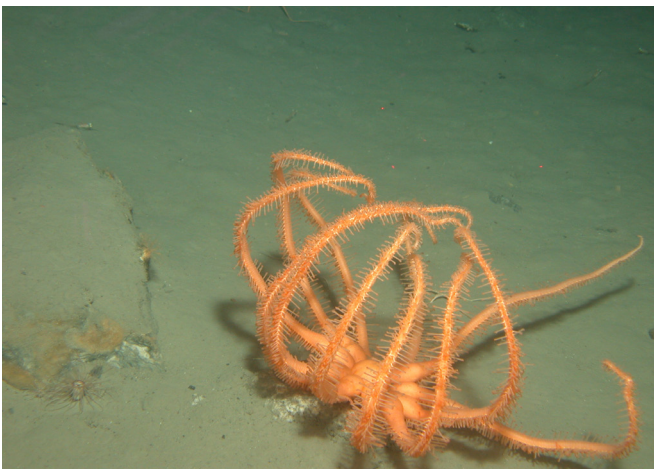
Schelfeise: Wo die Mega-Eisplatten zerfallen, erobern Glasschwämme und Gefolge das Terrain

Die Antarktische Halbinsel war einst ein Mekka der Schelfeise. Sowohl an der Ost- als auch an der Westküste der Landzunge ragten imposante Ausläufer der Landgletscher auf das Meer hinaus. Als Schelfeis bezeichnet man das schwimmende Ende einer Gletscherzunge, also jenen Teil des Eisstromes, der nicht mehr auf Land oder dem Meeresboden aufliegt.

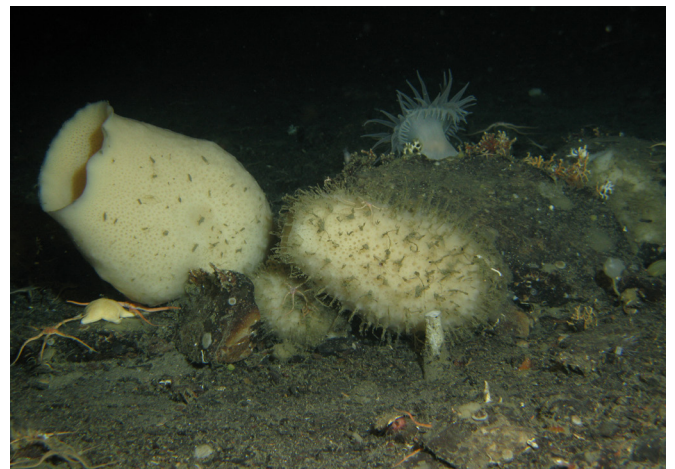
Von der Schelfeis-Pracht rund um die Antarktische Halbinsel ist heute allerdings nur noch ein kleiner Teil

geblieben. Ein Anstieg der Lufttemperatur von durchschnittlich zwei bis drei Grad Celsius hat dazu geführt, dass in den zurückliegenden 50 Jahren gleich sieben der zwölf schwimmenden Gletscherausläufer entweder in Teilen oder vollständig abbrachen und in Hunderte Eisberge zersprangen, die sich schließlich auflösten.

Ein solcher Schelfeis-Abbruch bedeutet für die Bewohner am Meeresboden Fluch und Segen zugleich. Fluch, weil so mancher Eisberg bei seiner Drift durch flache Küstengewässer wie ein Hobelmesser über den Meeresboden gleitet und alles abrasiert, was nicht schnell genug Reißaus nehmen kann. Segen, weil mit dem



Als AWI-Biologen im Jahr 2007 den Meeresgrund im ehemaligen Larsen-A-Schelfeisgebiet untersuchten, fanden sie einen dünn besiedelten Lebensraum vor - mit Unterschelfeis-Arten wie dem vielarmigen Seestern *Feyella fragillissima*. (Foto: Julian Gutt, AWI)



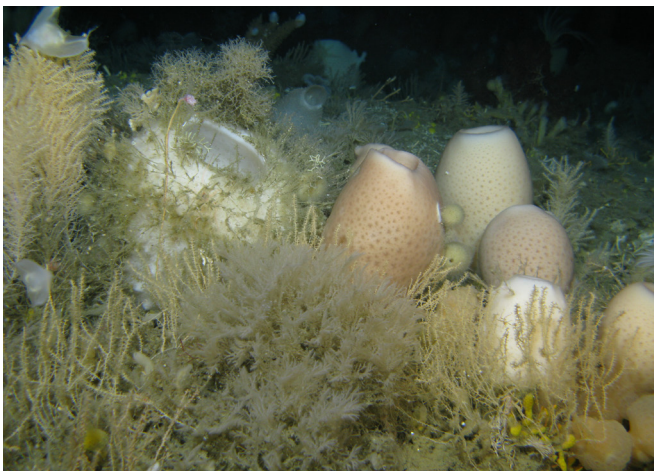
Vier Jahre später bot sich den Wissenschaftlern ein vollkommen anderes Bild: Glasschwämme, Haarsterne und andere Arten hatten Einzug gehalten und den Meeresboden schon dichter besiedelt. Die Artenvielfalt insgesamt war gestiegen. (Foto: Thomas Lundälv, AWI)

Verschwinden des Schelfeises zumindest im eisfreien Sommer endlich Licht dort hinfallen kann, wo vorher Dunkelheit, Futterknappheit und damit Bedingungen wie in der Tiefsee herrschten. Denn auch für das Südpolarmeer gilt: Wo Sonnenlicht die obere Wasserschicht durchflutet, beginnt das Leben zu toben und am Boden darunter ein Wettlauf um die besten Plätze.

An diesem Rennen beteiligen sich selbst Arten wie die antarktischen Glasschwämme, von denen man bisher dachte, dass sie in dem minus zwei Grad kalten Wasser Jahrzehnte brauchen würden, um wenige Zentimeter zu wachsen. AWI-Biologen konnten jedoch im Sommer 2011 im Gebiet des ehemaligen Larsen-A-Schelfeises nachweisen, dass Glasschwämme alles andere als träge sind. In diesem Teil des westlichen Weddellmeeres hatten die Glasschwämme innerhalb von vier Jahren den Meeresboden großflächig bevölkert. Sie hatten Tiefsee- und Pionierarten wie zum Beispiel Seescheiden verdrängt und das Ökosystem nachhaltig verändert.

Heute, rund 20 Jahre nach dem Zerfall des Larsen-A-Schelfeises, leben deutlich mehr Arten in der Region als zuvor. Mit den Schwämmen hielten zum Beispiel auch Seesterne, Krill, Eisfische, Korallen, Robben und Antarktische Zwergwale Einzug. Und in wenigen Jahrzehnten werden sich die Lebensgemeinschaften in diesem ehemals tiefsee-ähnlichen, nährstoff- und artenarmen Schelfeisgebiet vermutlich kaum noch von den „normalen“ antarktischen Lebensgemeinschaften im schelfeis-freien östlichen Weddellmeer unterscheiden.

Fraglich ist allerdings, wie die antarktischen Meeresbewohner reagieren werden, wenn die Temperaturen am



Schwämme, Eisfische, Haarsterne: Am Grund des östlichen Weddellmeeres drängen sich die vielen verschiedenen Bodenbewohner dicht an dicht. In wenigen Jahrzehnten, so vermuten AWI-Biologen, werden solche Aufnahmen auch in den ehemaligen Schelfeis-Gebieten des...

Faktenbox: Schelfeise

- In den vergangenen 50 Jahren sind an der Antarktischen Halbinsel sieben der zwölf Schelfeise der Halbinsel auseinandergebrochen oder haben große Teile ihres Eises eingebüßt. Auslöser waren an der Westseite der Insel die Meereserwärmung, an der Ostseite die gestiegene Lufttemperatur.
- Die Zahl der Schelfeisabbrüche war gestiegen, nachdem es in den 1990er Jahren eine Abfolge mehrerer warmer Sommer gegeben hatte.
- Insgesamt ging an der Antarktischen Halbinsel eine Eisfläche von 28100 Quadratkilometern verloren; das entspricht in etwa der Fläche des Bundeslandes Brandenburg.
- Große Schlagzeilen machte der Zerfall des Larsen-A-Schelfeises im Jahr 1995. Es verlor innerhalb weniger Tage 90 Prozent seiner Fläche.

Meeresboden steigen und die Versauerung des Südpolarmeer voranschreitet. Bisher gehen Wissenschaftler davon aus, dass sich die in der Antarktis lebenden Tiere nur in einem relativ kleinen und ausgesprochen kalten Temperaturbereich wirklich wohlfühlen. Erwärmt sich das Wasser über einen gewissen Schwellenwert hinaus oder übersteigt es einen bestimmten Säuregehalt, sinken ihre Überlebenschancen. Allerdings kennen die Forscher solche Schwellenwerte bis heute nur von sehr wenigen Bewohnern des Südlichen Ozeans.



... westlichen Weddellmeeres möglich sein. Denn: Seit dem Zerfall der Schelfeise gleichen sich dort die Lebensbedingungen an. Arten aus dem östlichen Teil des Weddellmeeres können also in die ehemaligen Schelfeis-Gebiete einwandern. (Fotos: Thomas Lundälv, AWI)



Forschungsschwerpunkt Potter Cove: Am Fuße eines erloschenen Vulkans liegt die argentinische Antarktis-Forschungsstation Carlini, an der das Alfred-Wegener-Institut gemeinsam mit seinen argentinischen Partnern das Dallmann-Labor betreibt. Von hier aus untersuchen AWI-Biologen die Veränderungen des Ökosystems in der Meeresbucht. (Foto: Katharina Zacher, AWI)

King George Island: Schrumpfende Gletscher verändern ein Ökosystem

Ein 400 Meter dicker Eisschild bedeckt King George Island, die größte der Südshetland-Inseln an der Spitze der Antarktischen Halbinsel. Durch die Erwärmung, welche diese Region der Antarktis mit besonderer Stärke trifft, schrumpft der Eisanter um mehrere Höhenmeter pro Jahr. Noch deutlicher aber zeigt sich sein Eisverlust an den Gletscherzungen. Der Ausläufer des Fourcade-Gletschers in der südlich gelegenen Potter-Cove-Bucht zum Beispiel hat in den vergangenen 50 Jahren mehr als 1000 Meter Länge eingebüßt. Eine folgenschwere Entwicklung!



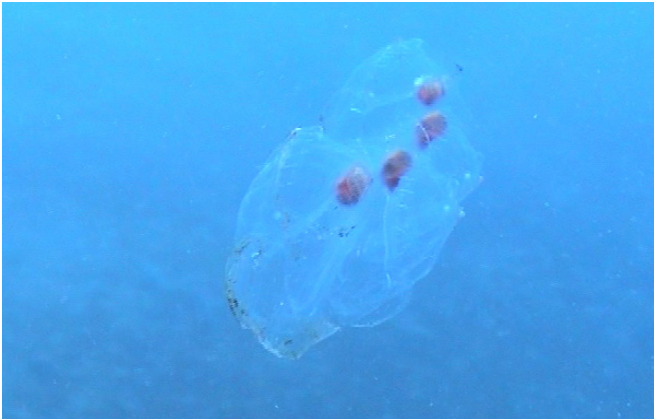
Großalgen wachsen heute dort, wo früher der Fourcade-Gletscher in der Potter-Cove-Bucht auf King George Island (rechts) den Meeresboden mit seinen Eismassen bedeckte. Der neue Lebensraum hat allerdings seine Tücken. An Sommertagen fließt das Schmelzwasser in Sturzbächen ...

Wo sich der Fourcade-Gletscher zurückzieht, gibt er Meeresboden und Teile des Insel-Felssockels frei. Diesen neuen Lebensraum erobern Meeresalgen und Tange, welche aus den Randbereichen der Bucht einwandern und eine neue Nahrungsquelle für algenfressende Bodenbewohner darstellen. Aber: Nicht alle Algenarten schaffen es, am Fuße des Gletschers zu überleben, denn ungestört wachsen können sie dort nur im Frühjahr.

Sowie im Sommer die Lufttemperatur steigt, fließen Schmelzwasserströme den Gletscher hinab. Sie überspülen auf ihrem Weg ins Meer den angetauten Permafrostboden und reißen so große Mengen feinkörniger Sedi-



... den Gletscher hinab. Dabei überspült es den angetauten Permafrostboden und trägt feinkörnige Sedimente wie Sand in die Bucht. Diese trüben das Meerwasser und nehmen den Algen das überlebenswichtige Sonnenlicht. (Fotos: Lic Dolores Deregibus/www.glakma.es)



Salpen haben in der Bucht von Potter Cove den Platz des Krills eingenommen. Die Einwanderer kommen mit den neuen Lebensbedingungen besser zurecht als die Krabben. (Foto: Hartwig Krumbek, AWI)

mente mit sich. Die Folge: Das Meer färbt sich braun und in der oberen Wasserschicht bilden sich bis zu fünf Meter dicke Sedimentwolken, durch die kaum noch Licht dringt.

Trübes Wasser aber bedeutet weniger Licht für die verschiedenen Algenarten, die in der Wassersäule oder am Meeresboden leben. Sie können nicht mehr ausreichend Photosynthese betreiben, wachsen infolgedessen deutlich weniger oder sterben nach kurzer Zeit. Ihre Überreste sinken zu Boden und werden von Mikroorganismen zersetzt. Deren Abbauprozesse führen zu einer Abnahme des Sauerstoffgehalts am Meeresgrund. Der Boden verschlickt, was wiederum einen Wandel der dort lebenden Organismen-Gemeinschaften nach sich zieht. Denn überall dort, wo sich die absterbenden Algen sammeln, haben die typischen antarktischen Filtrierer wie Muscheln, Seescheiden und Schwämme keine Überlebenschance mehr. Sie werden ersetzt durch Meeresbewohner, die räuberisch leben, sich von kleineren Tieren und Algenresten ernähren und gut mit dem niedrigen Sauerstoffgehalt am Boden sowie mit dem Sedimentregen zurechtkommen.

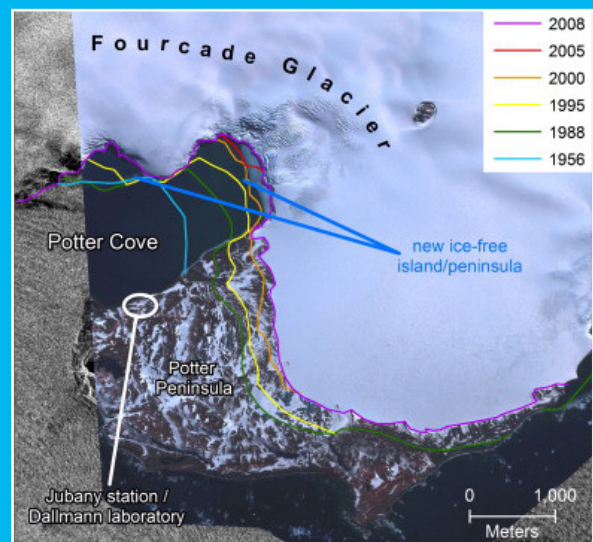
Zum Verhängnis wurden die Sedimentwolken in der Potter Bucht dem Antarktischen Krill. Die Krabben brauchen viel Nahrung. Wenn die Tiere aber mehr Sandkörner als Plankton aus dem Wasser filtern, verhungern sie. Der Krill ist heute aus der Bucht verschwunden. Seinen Platz im Nahrungsnetz haben Salpen eingenommen. Leidtragende dieses Wandels sind die in der Bucht brütenden Adélie- und Eselspinguine. Sie müssen weiter hinausschwimmen, um genügend nahrhafte Beute zu finden.

Die klimabedingte Veränderung des Ökosystems in Potter Cove ist derzeit in vollem Gang. Wann der Wandel abge-

So schrumpfen die Gletscher

Entlang der Antarktischen Halbinsel ziehen sich die ins Meer reichenden Ausläufer der Landgletscher zurück. Auslöser dieser Entwicklung sind die Zunahme der Lufttemperatur, hier vor allem im Winter, sowie der Anstieg der Wassertemperatur im Jahresmittel um fast 2 Grad Celsius.

Was aber passiert genau? Das wärmere Wasser schiebt sich unter die Eismassen und löst ihre Verankerung am Boden. Gleichzeitig verringert die wärmere Luft im Winter die Stabilität des Eises. Immer wieder bilden sich auf der Gletscheroberfläche Schmelzwasserströme, die anschließend in den Eiskörper sickern. Dort gefriert das Wasser wieder, dehnt sich aus und sprengt das Eis. Die Folge: Der Gletscher „kalbt“ einen Eisberg. Auf diese Weise und durch ablaufendes Schmelzwasser geht nach und nach ein Großteil der Eismasse verloren. Messungen am Fourcade-Gletscher in Potter Cove ergaben, dass er pro Tag bis zu 20 000 Tonnen Eis verliert. Die Eiskappe auf King George Island insgesamt büßte im Zeitraum von 2000 bis 2008 rund 20 Quadratkilometer ihrer Fläche ein.



Diese Satellitenaufnahme zeigt, in welchem Tempo sich der Fourcade-Gletscher in Potter Cove, King George Island, im Zeitraum von 1956 bis 2008 zurückgezogen hat. (Abbildung: Rückamp, Braun et al. (2011) Global and Planetary Change 79, 99-109)

schlossen sein wird und wie die Lebensgemeinschaften dann aussehen könnten, will ein internationales Wissenschaftler-Team im Forschungsprojekt IMCONet herausfinden, in dem AWI-Biologen federführend mitarbeiten.



Wellen türmen sich auf, wenn die Westwinde der Südhalbkugel die Wassermassen des Südlichen Ozeans vor sich her treiben und die stärkste Meeresströmung der Welt, den Antarktischen Zirkumpolarstrom, in Gang setzen. Kreuzt ein Schiff diese Strömung, überquert es verschiedene Fronten. So werden Strömungsbänder genannt, bei denen sich Wassertemperatur und Salzgehalt über kurze Distanz schnell ändern. (Foto: F. Rödel, AWI)

Westwinde: Die Strömungsmotoren der Antarktis drehen auf

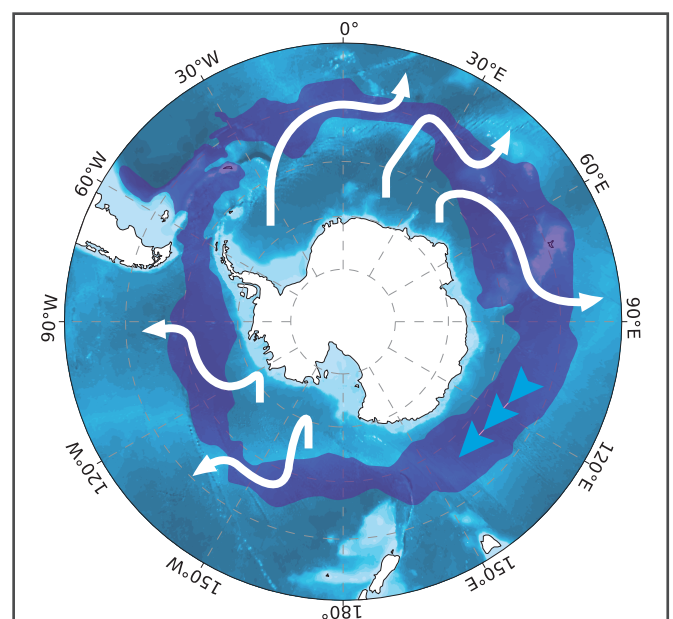
Den Westwinden auf der südlichen Halbkugel verdankt die Antarktis die stärkste Ozeanströmung der Welt: den ostwärts fließenden Antarktischen Zirkumpolarstrom (siehe Grafik). Er umrundet den gesamten antarktischen Kontinent, ohne dabei einmal auf Landmassen zu treffen und durch sie gebremst zu werden - ein auf unserem Planeten einmaliges Strömungsphänomen mit positiven Nebeneffekten für das Phytoplankton des Südpolarmeeres. Denn: An der Oberfläche des Zirkumpolarstroms wird Wasser nach Norden abtransportiert und das so entstehende „Loch“ mit aufsteigendem, nährstoffreichem Tiefenwasser ersetzt. Es enthält unter anderem Eisen - ein Dünger, der im Südlichen Ozean als Mangelware gilt.

Aber: Wo das Wasser ausreichend Eisen enthält, können vor allem Kieselalgen wachsen - und wo Kieselalgen und anderes Plankton wachsen, steht Beute für all jene zur Verfügung, die sich von diesen Algen oder deren Jägern ernähren - angefangen beim Krill, über Fische und Pinguine bis hin zum 33 Meter langen Blauwal.

Im Zuge des Klimawandels verändern sich nun die Westwinde südlich des 45. Breitengrades. Sie werden stärker, weil sich aufgrund der globalen Erwärmung die Temperatur- und Luftdruckunterschiede zwischen den Luftmassen nahe dem antarktischen Kontinent (subpolares Tiefdruckgebiet) und jenen der mittleren Breiten

(Hochdruckgebiet) erhöhen. Die Strömungsmotoren drehen also auf und schieben nun mit noch größerer Kraft die Wassermassen des Südlichen Ozeans vor sich her. Eine Veränderung mit erdumspannenden Folgen:

Erstens verschiebt sich der Antarktische Zirkumpolarstrom etwa 50 bis 80 Kilometer Richtung Süden - also

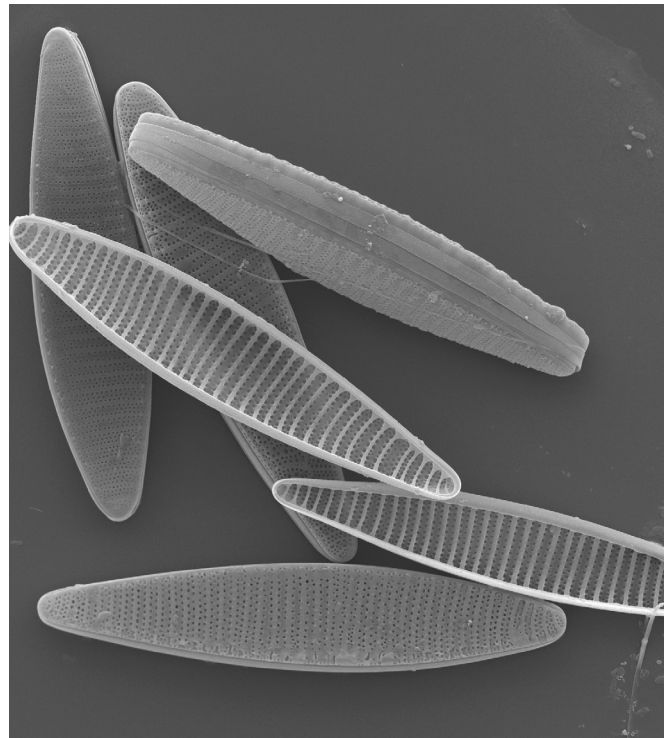


Der Antarktische Zirkumpolarstrom (violett) transportiert im Durchschnitt etwa 140 Millionen Kubikmeter Wasser pro Sekunde. Trotzdem bildet er keine unüberwindbare Barriere. An seiner Oberfläche wird Wasser Richtung Norden abtransportiert und das so entstehende Loch mit aufsteigendem Tiefenwasser aufgefüllt (weiße Pfeile) (Karte: AWI)

polwärts. Zweitens nimmt mit den Westwinden auch der Auftrieb des nährstoffreichen Tiefenwassers im Südpolarmeer zu. Für die antarktische Algenwelt sind das vermutlich erfreuliche Nachrichten, versprechen sie doch zumindest für den Sommer eine verstärkte Nährstoffzufuhr aus der Tiefe und damit verbesserte Wachstumsbedingungen für Algen. Neue AWI-Forschungsergebnisse haben zudem gezeigt, dass vor allem Kieselalgen von diesen Veränderungen profitieren werden. Sie werden in Zukunft vermutlich eine größere Rolle spielen, was dann voraussichtlich zu Lasten der kleineren Planktonarten geht.

Was aber bedeuten die Veränderungen der Westwinde und ein möglicher Wandel der Algenwelt für das restliche Ökosystem des Südpolarmees? Diese Frage beschäftigt derzeit nicht nur die Wissenschaftler am Alfred-Wegener-Institut. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt versuchen Experten aus aller Welt mit Hilfe von Ökosystem-Computermodellen, die zukünftigen Entwicklungen des Lebens im Südpolarmeer zu verstehen.

Gleichzeitig versuchen sie herauszufinden, wie der zunehmende Auftrieb von kohlenstoff- und nährstoffhaltigem Tiefenwasser eine der klimabedeutendsten Eigenschaften des Südlichen Ozeans beeinflussen wird: seine Fähigkeit, Kohlendioxid aus der Atmosphäre aufzunehmen. Bisher gilt das Südpolarmeer als Kohlenstoffsänke – also als ein Gebiet, in dem der Ozean der Atmosphäre das Treibhausgas Kohlendioxid entzieht und den enthaltenen Kohlenstoff entweder als gelöstes Gas ("Kohlensäure") oder in Form abgestorbener



Wo die oberste Wasserschicht des Südpolarmees ausreichend Eisen enthält, wachsen antarktische Kieselalgen wie diese durch ein Rasterelektronenmikroskop fotografierte Art *Fragilaropsis*. (Foto: Friedel Hinz, AWI)

Algenpartikel in der Tiefsee einlagert. Ein verstärktes Algenwachstum könnte diesen Effekt der sogenannten „biologischen Kohlenstoffpumpe“ verstärken. Dieser Prozess ist allerdings nur eines von vielen Puzzleteilen im zukünftigen Kohlenstoffkreislauf des Südpolarmees, die es zu enträtseln gilt.

Weitere Beispiele für Reaktionen der antarktischen Tierwelt auf den Klimawandel

- Pinguine: An der Nordspitze der Antarktischen Halbinsel schrumpfen die Bestände der Adéliepinguine. In der Ostantarktis ziehen die dort beheimateten Kaiserpinguine weniger Nachwuchs groß. Gründe für beide Phänomene sind vermutlich Veränderungen im Nahrungsnetz und der Meereisbedeckung des Südpolarmees.
- Robben: Die antarktischen Seeelefanten verlagern ihre Territorien in kältere, weiter südlich gelegene Gefilde. Ihre nördlicher gelegenen Reviere haben die Tiere aufgegeben.
- Einwanderer: Wärmer werdendes Tiefenwasser

könnte Königskrabben aus der Tiefsee den Weg hinauf auf die antarktische Kontinentalplatte ebnen. Die Tiere dort aber sind auf Scherenräuber wie die Krabben nicht eingestellt.

- Pflanzen: Aufgrund steigender Sommertemperaturen an der Antarktischen Halbinsel wachsen heute in der Region verschiedene Gras- und Flechtenarten.
- Algen: Wegen des Meereisrückganges in den Gewässern westlich der Halbinsel kommt es in diesem Gebiet zu Veränderungen in der Algenwelt. Statt größerer Arten gedeihen heute dort vor allem kleinere.



Das deutsche Forschungsschiff Polarstern hat im antarktischen Weddellmeer an einer Eisscholle festgemacht, damit die Expeditionsteilnehmer auf dem Eis detaillierte Untersuchungen der Luft, des Meereises und des Wassers darunter durchführen können. (Foto: Mario Hoppmann, AWI)

Forschungsfrage: Von der Atmosphäre bis in die Tiefsee - Wie funktioniert das Ökosystem der Antarktis?

Die Zeiten, in der die Antarktis als unbekanntes Terrain bezeichnet werden durfte, sind längst vorbei. Heute stehen mehr als 80 Forschungsstationen auf dem Kontinent. Satelliten und Flugzeuge beobachten seine Gletscher, Forschungsschiffe vermessen das Südpolarmeer von den Buchten bis in die Tiefseeegräben. Dennoch haben wir Menschen die Mechanismen des

Lebens im Südlichen Ozean zum Großteil noch nicht verstanden. Wissenschaftler des Alfred-Wegener-Institutes arbeiten daran, diese Prozesse zu durchschauen. Sie kombinieren Meeres-, Eis- und Atmosphärendaten mit biologischen Beobachtungen und entwickeln Computermodelle, mit denen sich Veränderungen des Ökosystems simulieren und vorhersagen lassen. Ihr Fokus liegt dabei auf den Gewässern rund um die Antarktische Halbinsel und auf dem Weddellmeer, das in Forscherkreisen auch als AWI-Hausmeer bekannt ist.

Kontakt zu den AWI-Experten



Forschungsthema Krill

Prof. Dr. Bettina Meyer
Tel: 0471 4831-1378
E-Mail: Bettina.Meyer@awi.de



Forschungsthema Potter Cove

Dr. Doris Abele
Tel: 0471 4831-1567
E-Mail: Doris.Abele@awi.de



Forschungsthema Leben am Meeresboden

Prof. Dr. Julian Gutt
Tel: 0471 4831-1333
E-Mail: Julian.Gutt@awi.de



Forschungsthema Westwinde und Kohlenstoffkreislauf

Dr. Judith Hauck
Tel: 0471 4831-1892
E-Mail: Judith.Hauck@awi.de

Impressum: Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven;
Herausgeberin: Karin Lochte (Direktorin)

Redaktion: Sina Löschke, Kristina Bär (E-Mail: medien@awi.de)
Coverfoto: Stefan Christmann, AWI,
Expertenfotos: Tanja Glawatty, AWI, privat