



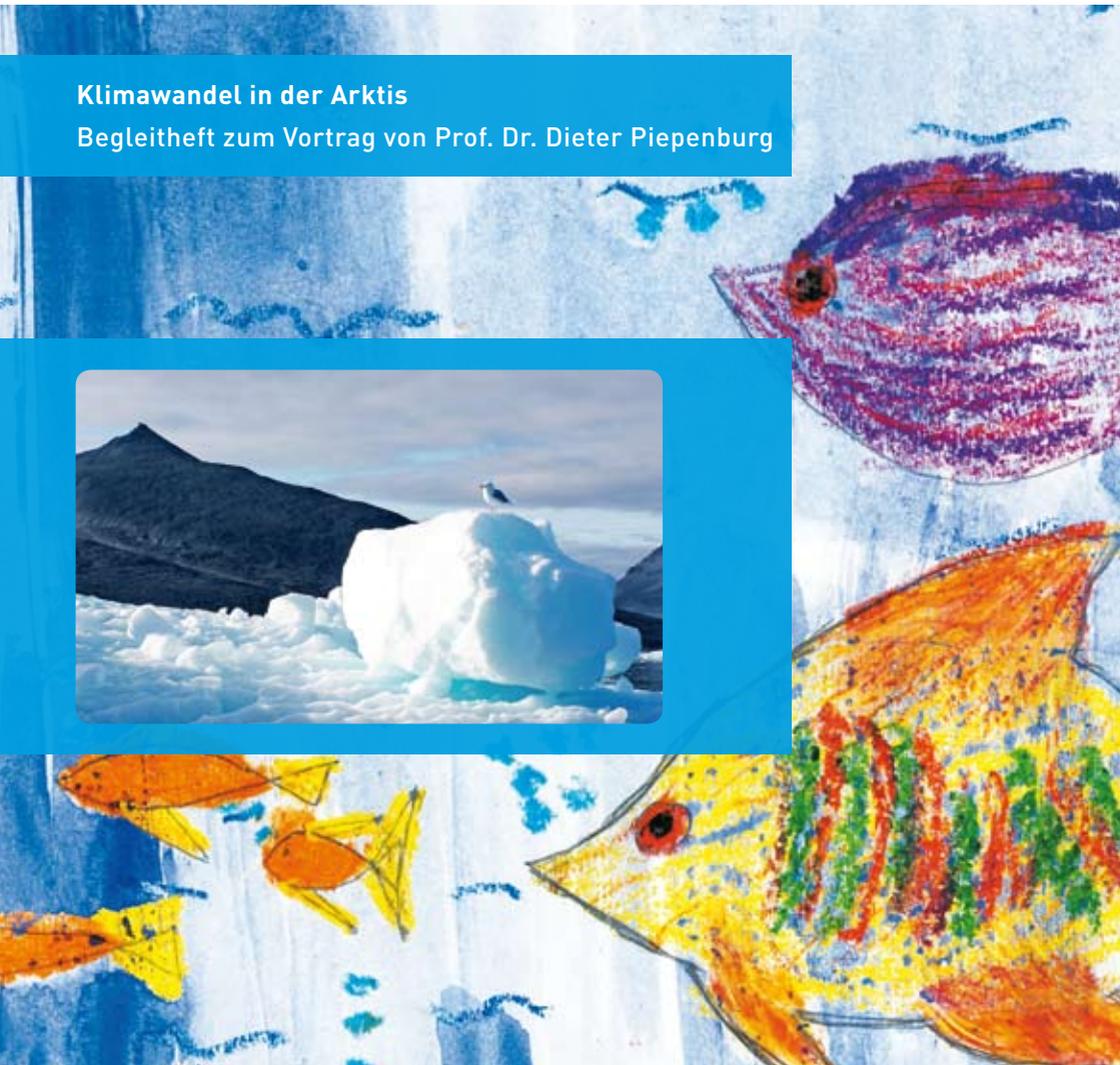
ozean der zukunft
DIE KIELER MEERESWISSENSCHAFTEN

KINDER- UND SCHÜLERUNI OZEAN DER ZUKUNFT 2009

| Für Schülerinnen und Schüler von 12 bis 16 Jahren

Klimawandel in der Arktis

Begleitheft zum Vortrag von Prof. Dr. Dieter Piepenburg





DIENSTAG, 02. Juni 2009

Klimawandel in der Arktis Prof. Dr. Dieter Piepenburg

Institut für Polarökologie an der Universität Kiel,
Akademie der Wissenschaften und Literatur Mainz



Der Wandel des Klimas ist nirgendwo auf der Erde rascher als in der Arktis. Das Eis der arktischen Meere schmilzt schneller als gedacht. Was bedeutet diese „ökologische Revolution“ für die dort lebenden Tiere und Pflanzen? Der Polarökologe Professor Dieter Piepenburg erklärt in seinem Vortrag, was die Wissenschaft heute darüber weiß.

KLIMAWANDEL IN DER ARKTIS - WIE SICH EISBÄREN UND SCHLANGENSTERNE ANPASSEN

DIE ARKTIS

Die Arktis – Inbegriff einer kalten, weißen Ödnis im hohen Norden der Welt. Sie ist die Heimat des ewigen Eises „ganz oben“ auf der Erde, am Nordpol, und für uns Europäer auf ihre eigene, ganz spezielle Art und Weise eine ähnlich exotische Region wie die Tropen Afrikas oder Südamerikas. Lange Zeit war die Arktis für die meisten Menschen ein lebensfeindlicher und unheilvoller Ort, dessen Erforschung zahllosen Entdeckern das Leben gekostet hat.

Das öffentliche Interesse an der Arktis ist in den letzten Jahren immer stärker geworden. Denn die Wissenschaft hat erkannt, dass diese kaum besiedelte Region von großer Bedeutung für die gesamte Erde ist. So hinterlässt der Klimawandel schon heute seine Spuren. Man weiß jetzt, dass gerade in der Arktis Prozesse ablaufen, die unser europäisches Klima prägen. Außerdem findet der Wandel des Klimas nirgendwo schneller statt als in der Arktis. Deshalb stellt sie eine Art „Frühwarnsystem“ dar und erlaubt einen Blick in die Zukunft einer wärmeren Welt.

Die zentrale Arktis wird von einem tiefen Meer bedeckt - dem Nordpolarmeer (Abbildung 1). Direkt am Nordpol ist das Nordpolarmeer über vier Kilometer tief. Insgesamt, das heißt mit seinen flacheren Randmeeren vor den Küsten Nordamerikas und Eurasiens, bedeckt es eine Fläche von über zehn Millionen Quadratkilometern und ist damit größer als Europa. Im Gegensatz zum ringförmigen Südlichen Ozean rund um die Antarktis (d.h. rund um den Südpol) ist das Nordpolarmeer zu einem großen Teil von kontinentalen Landmassen umschlossen.

POLZENTRIERTES INTERKONTINENTALES MITTELMEER ▸ Nebenmeer des Atlantiks 10 - 15 Mio. km²

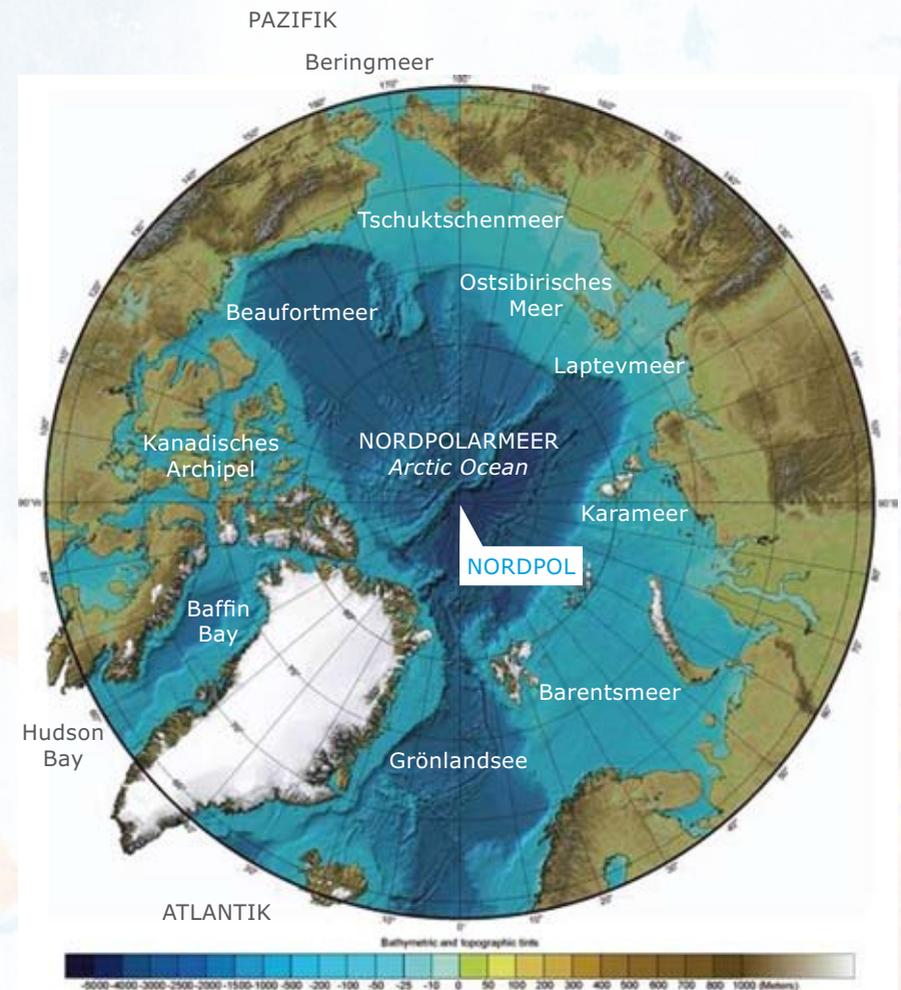


Abbildung 1:

Karte des Nordpolarmeeres, direkt am Nordpol ist es über 4 Kilometer tief.

WARUM IST ES AN DEN POLEN KALT?

Zu den auffälligsten Merkmalen nord- wie auch südpolarer Breiten gehört die ausgesprochene Kälte, die die Lebensbedingungen entscheidend prägt. Warum ist das so? Es liegt zum einen daran, dass die Erde eine Kugel ist und deshalb die insgesamt pro Fläche eingestrahlte Sonnenenergie in hohen Breiten deutlich geringer ist als in niederen Breiten. Zum anderen ist die Drehachse der Erde um etwa 23,5 Grad zur Umlaufebene um die Sonne geneigt. Dadurch entstehen die Jahreszeiten, die Unterschiede zwischen Sommer und Winter, die mit zunehmender Breite immer ausgeprägter werden. Dies betrifft in erster Linie das sogenannte **Lichtregime**, die jahreszeitlichen Unterschiede in der Sonneneinstrahlung: Während am Nordpol im Sommer die Sonne nicht untergeht („Mitternachtssonne“), ist es im Winter mehrere Wochen lang genau umgekehrt und es herrscht „ewige Nacht“. Man kann sich gut vorstellen, dass diese extremen Bedingungen einen großen Einfluss auf die dort vorkommenden Lebewesen haben müssen.

POLARE MEERE – LEBEN „IN DREI ETAGEN“

Weil es in polaren Breiten so kalt ist, ist Eis im Nord- und Südpolarmeer allgegenwärtig, und zwar sowohl als Meereis (gefrorenes Meerwasser) als auch in Form von Eisbergen (vom Inlandeis abgebrochene Teilstücke).

Obere Etage (Meereis):

Das **Meereis** bildet einen besonderen Lebensraum an der Oberfläche polarer Meere, der **Sympagial** genannt wird (Abbildung 2). Er bildet sozusagen eine dünne Haut, die den ungleich größeren Lebensraum des **Freiwassers**, **Pelagial** genannt, bedeckt.

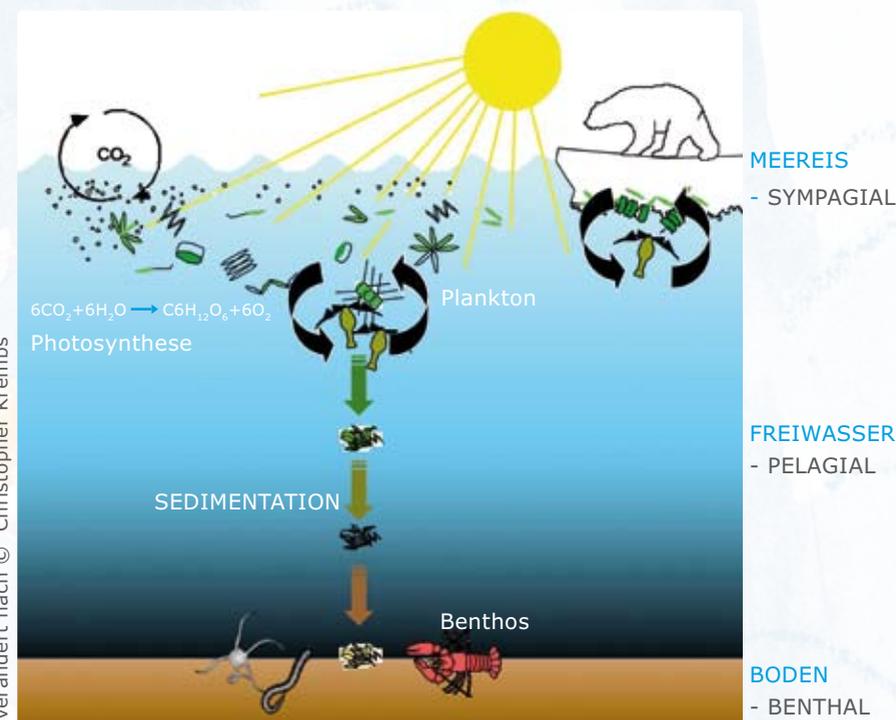


Abb. 2: Das Leben in den polaren Meeren hat im Gegensatz zu allen anderen Weltmeeren eine dritte Etage, den Lebensraum des Meereises (Sympagial).

Mittlere Etage (Freiwasser):

Wie überall im Weltmeer können Pflanzen, die mit Hilfe des Lichts Photosynthese betreiben und die Grundlage aller Nahrungsnetze bilden, nur dort vorkommen, wo ausreichend Sonnenlicht vorhanden ist. Und das ist im Meer nur in der oberen Schicht des Freiwassers (Pelagials) so, aber erstaunlicherweise auch im Meereis. Anders als an Land sind die wichtigsten Pflanzen nicht große Lebewesen wie zum Beispiel Bäume, sondern einzel-

lige, mikroskopisch kleine (nur Bruchteile von Millimetern große) und im Wasser schwebende Organismen, das Phytoplankton (pflanzliches Plankton). In polaren Meeren sind dies vor allem Kieselalgen (Diatomeen).

Untere Etage (Boden):

Wasser verschluckt (absorbiert) Licht viel stärker als Luft. In größeren Tiefen ist es deshalb zu dunkel und es gibt keine lebenden Pflanzen mehr, weil mangels Licht eine Photosynthese nicht möglich ist. Die unterste Etage des Gesamt-Ökosystems Meer bildet der **Meeresboden (Benthal)**. Dieser liegt mit Ausnahme der unmittelbaren Küstengewässer in so großen Wassertiefen, dass dort keine Pflanzen leben können.

Die drei Lebensräume in den verschiedenen Etagen sind nicht unabhängig voneinander, sondern es gibt zwischen ihnen vielfältige Wechselbeziehungen, die für das „Funktionieren“ des Gesamt-Ökosystems Meer wichtig sind. So ist beispielsweise die Grundlage aller Nahrungsnetze am Meeresboden die organische (fressbare) Substanz, die aus dem oberen Pelagial, wo das Phytoplankton lebt, nach unten absinkt. Dieser Vorgang wird als **Sedimentation** bezeichnet. Das bedeutet, die Lebensgemeinschaften des Benthals hängen ganz entscheidend von den Vorgängen im Freiwasser ab – der wissenschaftliche Begriff für diese fundamentale Beziehung ist „**pelago-benthische Kopplung**“. Dieses Prinzip gilt weltweit. Die Besonderheit in polaren Meeren ist, dass hier das Meereis als dritte „Etage“ dazukommt. Zum einen kann es, vor allem wenn es schneebedeckt ist, den Lichteinfall in das Freiwasser abschwächen und so die Photosynthese und somit die Produktion des Phytoplanktons negativ beeinflussen. Zum anderen ist es aber - und das mag für viele überraschend sein - kein toter, solider Block gefrorenen Wassers, sondern bildet einen eigenständigen Lebensraum mit einer erstaunlich vielfältigen Flora und Fauna.

MEEREIS ALS MARINER LEBENSRAUM

Der Grund für diese erstaunliche Lebensvielfalt liegt in der Mikrostruktur des Meereises. Es ist von einer Vielzahl dünner, fein verästelter Kanälchen durchzogen, die beim Gefrieren des Meerwassers entstehen und in denen mikroskopisch kleine Organismen wie zum Beispiel Eisalgen hausen (Abbildung 3b+c). Da sich in diesem ader-ähnlichen Geflecht hochkonzentriertes Salzwasser befindet, wird es als „Salzlaugen-Kanalsystem“ bezeichnet. Die Salzgehalte sind mehr als dreimal höher als im Meerwasser selbst, sie können über 100 statt 34 Promille betragen. Die Anzahl der hier lebenden Eisalgen kann unter guten Bedingungen so hoch werden, dass sie zu bräunlichen Verfärbungen des Meereises führen (Abbildung 3a).

© M. Spindler

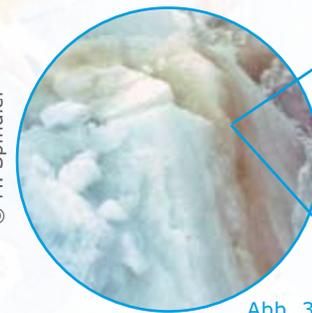


Abb. 3a

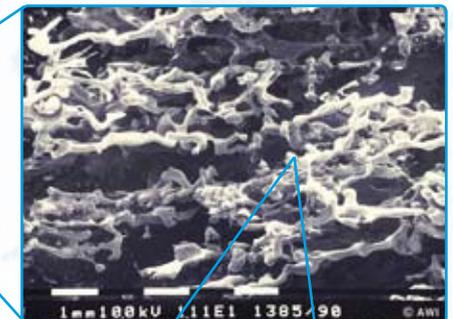


Abb. 3b



Abb. 3c

Abb. 3:

Bräunliche Verfärbungen des Meereises zeigen hier lebende Eisalgen an (Abbildung 3a). Wissenschaftler haben festgestellt, dass das Meereis nicht einfach ein kompakter Eisklotz ist, sondern durchzogen von unzähligen mikroskopisch kleinen Kanälen, dem Salzlaugen-Kanalsystem (Abbildung 3b). Dieses System bietet speziell angepassten Lebewesen, wie den Eisalgen, einen Lebensraum (Abbildung 3c).

Sie bilden die Grundlage eines besonderen Meereis-Nahrungsnetzes, das über kleine pflanzenfressende Tiere, die ebenfalls im Eis, aber auch an dessen Unterseite leben können, über Flohkrebse, Fische und Robben bis zum Eisbären reicht. Ähnlich wie im Freiwasser ist auch das Meereis-Nahrungsnetz nicht vollständig isoliert und in sich geschlossen. Es gibt einen Austausch mit anderen marinen Lebensräumen, vor allem natürlich mit dem Freiwasser unterhalb des Eises, aber auch mit dem Meeresboden, zumindest in flacheren Meeresgebieten. Das Konzept der „pelagobenthischen Kopplung“ ist in polaren Meeren deshalb zur **„kryo-pelagobenthischen Kopplung“** erweitert, um diese besonderen ökologischen Beziehungen zu fassen. Tatsächlich ist der Nahrungseintrag über die Sedimentation fressbaren Materials von oben nach unten in Meereisrandgebieten besonders hoch, weshalb hier am Meeresboden außergewöhnlich reiche Lebensgemeinschaften zu finden sind.

EISBÄREN ALS „MEEREIS-LEBEWESEN“

Eisbären sind spätestens seit „Knut“, dem weltweiten Medienstar aus dem Berliner Zoo, die bekanntesten arktischen Tiere – und wohl auch die prominentesten „Opfer“ der sich anbahnenden „Klimakatastrophe“, die die Arktis bedroht.

Für die meisten Menschen mag es überraschend sein, aber der Eisbär ist ökologisch betrachtet – anders als sein nächster Verwandter, der Braunbär – im Grunde ein „Meereslebewesen“, genauer gesagt ein Teil des Meereis-Nahrungsnetzes. Das zeigt auch sein wissenschaftlicher Name *Ursus maritimus*, was frei übersetzt „Meeresbär“ bedeutet (Abbildung 4).

Er hat sich nach evolutionären Maßstäben erst vor relativ geringer Zeit, wahrscheinlich in der vorletzten Eiszeit vor etwa 200.000 Jahren, aus einer isolierten Braunbären-Population entwickelt. Und zwar als Anpassung

an eine andere Lebensweise, nämlich als spezialisierter Jäger von Robben, die in den arktischen Meeren eine reiche Jagdbeute darstellen.



© C. von Dorrien

Abb. 4: Der Eisbär ist an die harten Umweltbedingungen der Arktis angepasst. Die schnellen Veränderungen der Arktis durch den Klimawandel können aber zu einer starken Bedrohung für den Eisbären werden.

Eine Reihe von speziellen Anpassungen in Körperbau, Physiologie und Verhalten erlauben es dem Eisbären, den besonders harten Umweltbedingungen der Arktis, vor allem der großen Kälte, zu trotzen.

Der Eisbär ist eine bedrohte Art. Schon einmal war er in seiner Existenz gefährdet, als er im 20. Jahrhundert immer stärker bejagt worden war. 1960 gab es weltweit geschätzt nur noch etwa 5000 Tiere. Nach den weitgehenden Jagdbeschränkungen seit Anfang der 1970er Jahre haben sich die meisten der 19 verschiedenen regionalen Bestände aber gut erholt und heute gibt es insgesamt wieder etwa 25.000 Tiere. Die neue und wahrscheinlich noch größere Bedrohung ist der weltweite Klimawandel, der besonders in der Arktis drastische Auswirkungen hat bzw. haben wird. Davon ist vor allem das Meereis betroffen.

KLIMAWANDEL UND RÜCKGANG DES MEEREISES

Bis vor kurzem galt, dass ein Großteil, etwa acht bis neun Zehntel der Fläche der arktischen Meere, am Ende des Winters (ca. Anfang Mai) von Meereis bedeckt ist. Bis zum Ende der kurzen Frühlings- und Sommerperiode (ca. Anfang September) schmilzt es um etwa die Hälfte ab, bis noch ungefähr 40 Prozent, etwa sieben Millionen Quadratkilometer, des Nordpolarmeers eisbedeckt sind - und dann beginnt der jahreszeitliche Zyklus von neuem.

Das arktische Meereis ist aber ohne Zweifel auf dem Rückzug (Abb. 5).



Beobachtetes Meereis,
September 1979



Beobachtetes Meereis,
September 2003

Abb. 5:

Die NASA zeigt auf Satellitenbildern die sommerliche Eisbedeckung des Meereises der Arktis im September.

Im Vergleich von 1979 und 2003 ist ein deutlicher Rückgang des Meereises zu verzeichnen.

Dieser Trend ist schon seit Beginn der regelmäßigen Satelliten-Fernerkundung Ende der 1970er Jahre nachweisbar, hat sich aber in den letzten Jahren dramatisch verschärft und verläuft damit offenbar noch schneller als die meisten Modelle vorhersagen. Heute geht man davon aus, dass nicht erst am Ende des 21. Jahrhunderts, sondern vielleicht sogar schon dreißig bis vierzig Jahre vorher das zentrale Nordpolarmeer im Sommer weitgehend eisfrei sein wird.

Diese Entwicklung stellt natürlich für die Lebensräume in den arktischen Meeren, die ja in unterschiedlicher Weise vom Meereis beeinflusst werden, eine „ökologische Revolution“ dar. Direkt und somit am stärksten betroffen sind die Lebewesen, die zum Meereis-Nahrungsnetz gehören, von der Eisalge bis zum Eisbären (Abbildung 6). Denn ihr Lebensraum selbst, das Meereis, wird immer kleiner werden. Aufgrund der engen Kopplung zwischen den Lebensräumen Meereis, Freiwasser und Meeresboden werden aber indirekt alle Lebewesen im Nordpolarmeer beeinflusst, auch diejenigen, die nicht im oder unter dem Eis leben. So lautet beispielsweise eine wissenschaftliche Hypothese, dass auch die Organismen des Meeresbodens langfristig zu den „Verlierern“ des Meereis-Rückgangs gehören, weil der Nahrungseintrag durch die Sedimentation zurückgeht.

Eine exakte Vorhersage aller ökologischen Veränderungen, die vom Rückgang des Meereises betroffen wären, ist natürlich noch nicht möglich, denn dafür sind die Zusammenhänge zu komplex. Auch die Zukunft für den Eisbären mag trotz der eher finsternen Prognosen nicht ganz hoffnungslos sein. Denn er hat ja offensichtlich auch die Warmzeit zwischen der vorletzten und der letzten Eiszeit als Art überstanden, die sogenannte Eem-Warmzeit vor 125.000 bis 115.000 Jahren, in der es nach geologischen Befunden in der Arktis noch deutlich wärmer war als es jetzt ist und auch in der näheren Zukunft sein wird.

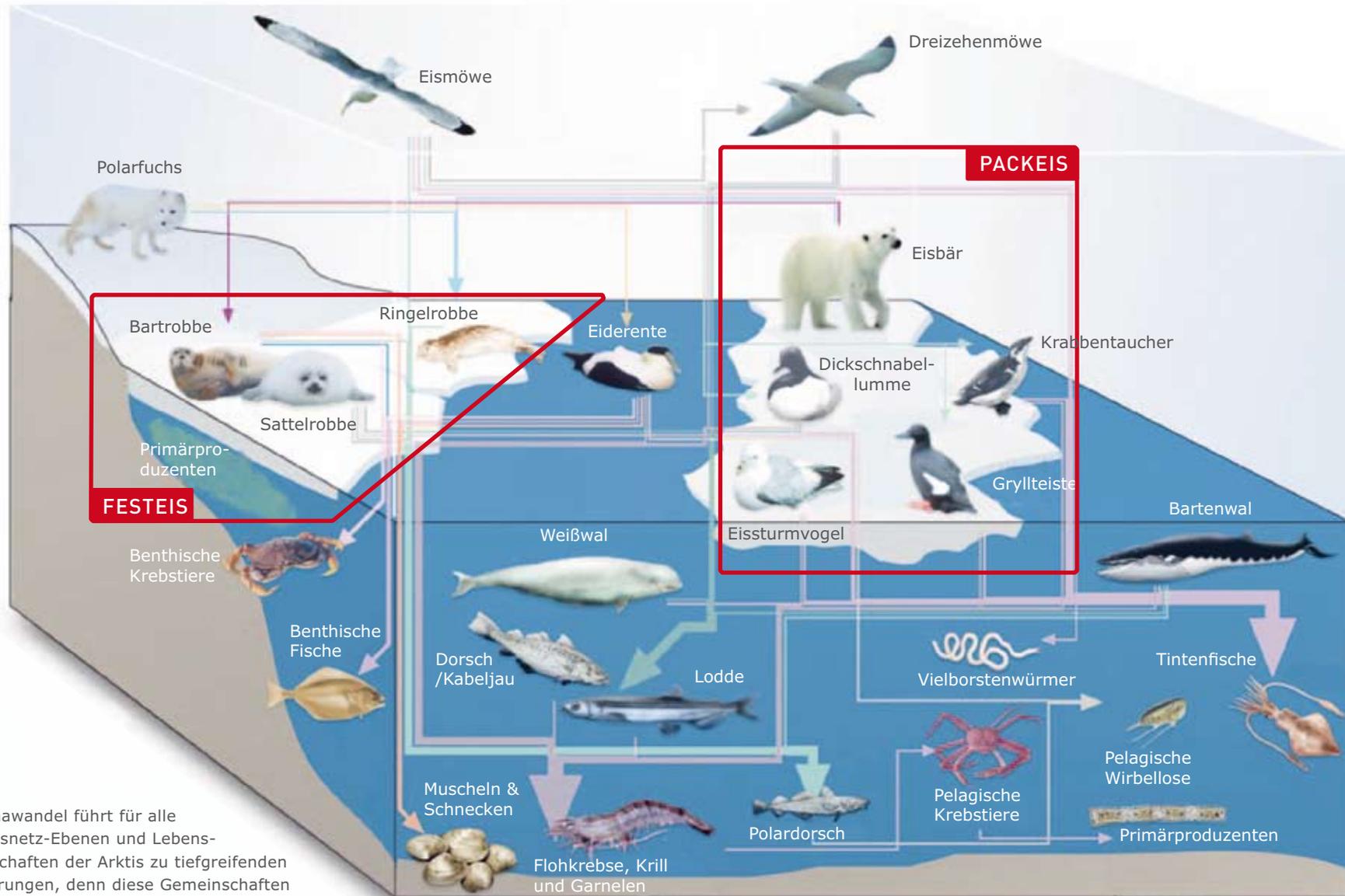


Abb. 6:
 Der Klimawandel führt für alle Nahrungsnetz-Ebenen und Lebensgemeinschaften der Arktis zu tiefgreifenden Veränderungen, denn diese Gemeinschaften sind eng an das Meereis gekoppelt.

verändert nach © 2004, ACIA

WIE WIRD MAN POLARÖKOLOGE ODER POLARÖKOLOGIN? UND WELCHE VORAUSSETZUNGEN MUSS ICH MITBRINGEN?

DIE VORAUSSETZUNGEN

Man muss sich für die Naturwissenschaften (Physik, Chemie, Biologie) und Mathematik interessieren, besonders für die Zusammenhänge des Lebens, also die Biologie, denn Ökologie ist eine wissenschaftliche Teildisziplin der Biologie.

Als Biologe oder Biologin beschäftigt man sich vor allem mit dem Bau, der Verbreitung oder der Lebensweise von Tieren und Pflanzen. Als Ökologe bzw. Ökologin erforscht man die Wechselbeziehungen der Organismen untereinander und mit ihrer abiotischen Umwelt. Als Polarökologe/Polarökologin hat man sich auf die Lebewesen der Arktis und der Antarktis spezialisiert. Praktische Arbeiten draußen (= im Freiland) und auf See gehören genau so dazu wie Arbeiten am Computer oder längere Routinearbeiten im Labor. Latein ist keine Voraussetzung, hilft aber möglicherweise beim Verstehen der zahlreichen Fachausdrücke und der lateinischen Namen der Tiere. Wichtig ist, dass man in der englischen Sprache gut ist oder seine Fähigkeiten im Laufe der Ausbildung vertieft. Denn erstens treffen sich Wissenschaftler mindestens einmal im Jahr auf der ganzen Welt und reden miteinander. Das wird meistens in englischer Sprache gemacht. Und zweitens muss man seine Ergebnisse aufschreiben und mit anderen Wissenschaftlern austauschen. Auch dieses geschieht fast immer in englischer Sprache.

BERUFSBERATUNG BIOLOGE/BIOLOGIN

Biologie ist ein eigener Studiengang. Man kann das Fach an vielen Universitäten, auch hier in Kiel, studieren. Um an die Universität zu gehen, braucht man die Hochschulreife, das Abitur. Insgesamt muss man also erst 12 oder 13 Jahre zur Schule gehen. Anschließend kann man sich an einer Universität einschreiben. Da Biologie ein beliebtes Studienfach ist, gibt es für Biologie einen relativ hohen Numerus clausus, das heißt eine Zulassungsbeschränkung. Die geht nach dem Notendurchschnitt.

Biologie lässt sich in viele verschiedene Fachgebiete aufteilen: Botanik (Pflanzenkunde), Zoologie (Tierkunde), Molekularbiologie, Zellbiologie, Entwicklungsbiologie, Physiologie, Verhaltensbiologie, Ökologie, Evolutionsbiologie und Systematik.

Das Studium dauert ungefähr vier bis fünf Jahre. Wenn man eine Doktorarbeit machen möchte, braucht man noch mal drei Jahre, arbeitet dabei aber bereits an einem Institut und verdient auch schon Geld. Während einer Doktorarbeit muss man etwas Neues herausfinden und in speziellen Zeitungen veröffentlichen.



| Prof. Dr. Dieter Piepenburg,

Institut für Polarökologie der Universität Kiel,
Akademie der Wissenschaften und der Literatur
Mainz

dpiepenburg@ipoe.uni-kiel.de

DER KIELER EXZELLENZCLUSTER OZEAN DER ZUKUNFT

Der Kieler Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ ist ein in Deutschland einmaliger Forschungsverbund von mehr als 140 Wissenschaftlern aus sechs Fakultäten der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, des Leibniz-Instituts für Meereswissenschaften (IFM-GEOMAR), des Instituts für Weltwirtschaft (IfW) und der Muthesius Kunsthochschule.

Ziel des interdisziplinären Verbundes aus Meeres-, Geo- und Wirtschaftswissenschaftlern sowie Mediziner, Mathematikern, Juristen und Gesellschaftswissenschaftlern ist es, den Ozean- und Klimawandel gemeinsam zu erforschen, die Risiken und Chancen neu zu bewerten und ein weltweit nachhaltiges Management der Ozeane und mariner Ressourcen zu ermöglichen. Der Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ wird im Rahmen der Exzellenzinitiative von der deutschen Forschungsgemeinschaft im Auftrag von Bund und Ländern gefördert.

Weitere Informationen unter: www.ozean-der-zukunft.de



Wir danken der Förde Sparkasse und ihrer Stiftung
„200 Jahre Sparkasse Kiel“ für die freundliche Unterstützung:

1888
1998
200
Stiftung 200 Jahre
Sparkasse Kiel

 Förde
Sparkasse


Der Entdecker

Kieler Nachrichten

