Zum Internationalen Polarjahr 2007-2008

WARNSIGNALE
AUS DEN POLARREGIONEN

Natur • Klimawandel • Ressourcen • Umweltschutz

Gebiete höchster Empfindlichkeit
mit weltweiter Wirkung

In Kooperation mit
GEO

Broschüre zum Buch
(siehe Seite 19)

Wissenschaftliche Auswertungen

Warnsignale aus den Polarregionen

		Seite
Inhalt:	Vorwort	3
	Die Polarregionen	4
	Das Polareis	6
	Eisschilde • Meereis • Fluss- und Seeeis • Permafrost	
	Die globale Erwärmung	8
	Die polaren Regionen erwärmen sich schneller	9
	Die Polarregionen: Gebiete höchster Empfindlichkeit mit weltweiter Wirkung	10
	Die indigenen Völker im Norden	
	Vegetation • Fauna	
	Das Meereis als Lebensraum	
	Verringerung des stratosphärischen Ozons:»Das Ozonloch«	
	Die Meeresströmungen und Bildung des Tiefenwassers	14
	Wirtschaftliche Nutzung und ihre Risiken	15
	Öl- und Gasförderung • Gashydrate •	
	Tourismus • Fischerei • Taiga	
	Andere Gefahrdungen und Schutz der Polarregionen	17
	Schadstoffe • Radioaktive Altlasten	
	Walfang • Die Arktis: Region des Umweltschutzes	
	Schlussbetrachtung	18
	Buchreihe: Warnsignale	19

Herausgeber: Dr. José L. Lozán, Hamburg
Prof. Dr. Hartmut Graßl, Hamburg
Prof. Dr. Peter Hupfer, Berlin
PD Dr. Dieter Piepenburg, Kiel/Mainz

Mit Beiträgen von: Dr. Horst M. Bronny, Bochum
Prof. Dr. Ulrich Cubasch, Berlin
Dr. Onno Groß, Hamburg
Prof. Dr. Roland Kallenborn, Longyearbyen, Norwegen
Dr. Claudia Kubatzki, Bremerhaven
Prof. Dr. Manfred Lange, Münster
Prof. Dr. Jochem Marotzke, Hamburg
Prof. Dr. Stefan Rahmstorf, Potsdam
Prof. Dr. Martin Riese, Jülich
Dr. Erich Roeckner, Hamburg
Dr. Lutz Schirrmeister, Potsdam
Dr. Martin Widmann, Geesthacht

Gestaltung: GEO und Büro: Wissenschaftliche Auswertungen

Bildnachweis: (Titelseite) Eisberg Adelie (Foto: H. Oerter, Bremerhaven) • Meereis (Foto: M. Mayer, Bremen) • Eisbären (Foto: J. Thomassen, Trondheim). Angehörige einer Inuit-Familie nach erfolgreicher Jagd in Barrow, Alaska (Foto: C. George, Barrow)

Druck: Druckerei & Verlag Steinmeier. Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

Bestellung: a) Senden Sie bitte einen mit EUR 2,50 frankierten Briefumschlag (DIN A4) an das Büro: »Wissenschaftliche Auswertungen«
Dr. J. L. Lozán, Imbekstieg 12, 22527 Hamburg oder
b) per Email: JLLozan@t-online.de oder Tel. 040-4304038 Fax 040-54765097
und überweisen Sie die Versandkosten EUR 2,50 auf folgende Bankverbindung:
J.Lozán - Deutsche Bank - BLZ 38070724 - Kto.Nr. 174039800.

Vorwort

Trotz ihrer scheinbaren Abgeschiedenheit haben die Polarregionen einen erheblichen Einfluss auf das Weltklima. Dies hängt besonders mit den bedeutenden Rückkopplungsprozessen zwischen dem polaren Eis (Eisschilde, Meereis und Permafrost) und der globalen atmosphärischen und ozeanischen Zirkulation zusammen. Außerdem beherbergen die Eisschilde über Grönland und der Antarktis 99% des Eisvolumens der Erde, und ihr Abschmelzen würde einen globalen Anstieg des Meeresspiegels um etwa 70 m bewirken. Schon geringe Schwankungen im polaren Eisvolumen werden deshalb zu merklichen Veränderungen des Meeresspiegels führen können.

Die Prognosen der 1980er und 1990er Jahre für das Klima des 21. Jahrhunderts haben sich bisher bestätigt; sie waren eher zu vorsichtig. Die beobachtete mittlere Erwärmung während des 20. Jahrhunderts von 0,6° C wird sich in diesem Jahrhundert nach den neuesten Berechnungen (2005) des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (Hamburg) und anderer um das Mehrfache beschleunigen – vorausgesetzt, dass die Anreicherung der Atmosphäre mit Treibhausgasen (besonders CO_2) anhält, also kein wesentlicher Klimaschutz betrieben wird. Aber auch mit Klimaschutz ist eine hohe Anpassungsleistung an den nicht mehr zu vermeidenden Klimawandel notwendig.

Die Folgen der globalen Erwärmung sind vielfältig. Der Meeresspiegel wird schneller als heute ansteigen. Die kleinen Inseln und tief liegenden Küstenregionen vor allem in Entwicklungsländern, die am wenigsten zur Erderwärmung beitragen, werden am härtesten betroffen sein. In den Polarregionen müssen wir mit einem weiteren Rückgang des Meer- und Flusseises und dem Auftauen von Permafrostgebieten rechnen. Zahlreiche Organismen, die auf, in und unter der polaren Meereisdecke leben, verlieren ihre Lebensräume. Viele dieser Tiere, z.B. die Eisbären, können nirgendwo hin ausweichen. Einige davon stehen bereits heute kurz vor dem Aussterben. Wir befinden uns bereits jetzt im Klimawandel, der bei fehlendem Klimaschutz zu Temperaturen führen würde, welche die Erde seit mindestens einer Million Jahre nicht mehr erlebt hat.

Mit dieser Arbeit möchten wir zur breiten öffentlichen Diskussion über unseren Umgang mit der Umwelt beitragen und zeigen, wie das Klima besser und konsequenter geschützt werden kann. Wir – Wissenschaftler – wollen die Öffentlichkeit fundiert, allgemeinverständlich und kritisch informieren.

Die Herausgeber Frühjahr 2006

DIE POLARREGIONEN

Abb. 1: Eisbären, (Foto: J.Thomassen, Trondheim)

Die Arktis und die Antarktis stellen zwei geographisch isolierte Regionen dar, die aufgrund der negativen Strahlungsbilanz durch extreme Klimabedingungen charakterisiert und größtenteils vereist sind. In Verbindung mit dem Wechsel zwischen Eiszeiten und Warmzeiten unterlagen beide Polarregionen und polnahe Gebiete seit Beginn des Pleistozäns vor vielen Millionen Jahren vor allem bezüglich der Eisbedeckung starken Schwankungen.

Die Südpolarregion wird durch den großen Kontinent Antarktika in der Mitte dominiert, der von einer ozeanischen Ringströmung umgeben und dadurch von den anderen Kontinenten getrennt ist. Im zentralen Bereich der Arktis befindet sich dagegen das Nordpolarmeer, während die südlichen Randgebiete durch die Nordgrenze des asiatischen, europäischen und amerikanischen Kontinentes eingenommen werden. Die Lage dieser Gebiete weist ein relativ günstiges Klima auf und ermöglicht dort eine Besiedlung durch den Menschen, weil ausreichend viele Pflanzen- und Tierarten vorkommen. Dies ist in Antarktika aufgrund der Trennung von den anderen Kontinenten und den dort herrschenden erheblich ungünstigeren Klimabedingungen nicht möglich.

Die heutige globale Klimaänderung ist so rasant wie vielleicht noch nie. Wenn wir weiter ähnlich wie bisher handeln, könnte die Erwärmung am Ende dieses Jahrhunderts 4° C im Vergleich mit der mittleren globalen Lufttemperatur in Bodennähe am Anfang des 20. Jahrhunderts betragen. Die mittlere globale Erwärmung im 20. Jahrhunderts betrug 0,6° C. Die Arktis erwärmt sich doppelt so schnell. In Deutschland war die mittlere Erwärmung im 20. Jahrhunderts mit 1° C auch überdurchschnittlich hoch.

Besorgniserregend ist die Tatsache, dass die Menschheit ohne Klimaschutz in einem Warmklima leben wird, wie sie es bisher noch nicht erlebt hat. Die Folgen für Natur und Gesellschaft sind vielfältig und bisher erst unvollkommen absehbar.

Die Erwärmung stößt sehr langfristige Prozesse an, die sich über Jahrhunderte und Jahrtausende auswirken werden. Beispielsweise dauert die Anpassung des Ozeaninneren an die Erwärmung der Oberfläche und Atmosphäre Jahrhunderte. Die thermische Ausdehnung des Meerwassers wird sich als Meeresspiegelanstieg also über Jahrhunderte fortsetzen, selbst wenn die Treibhausgaskonzentrationen nicht mehr steigen sollten.

Abb. 2: Kaiserpinguine (Foto: H. Oerter, Bremerhaven)

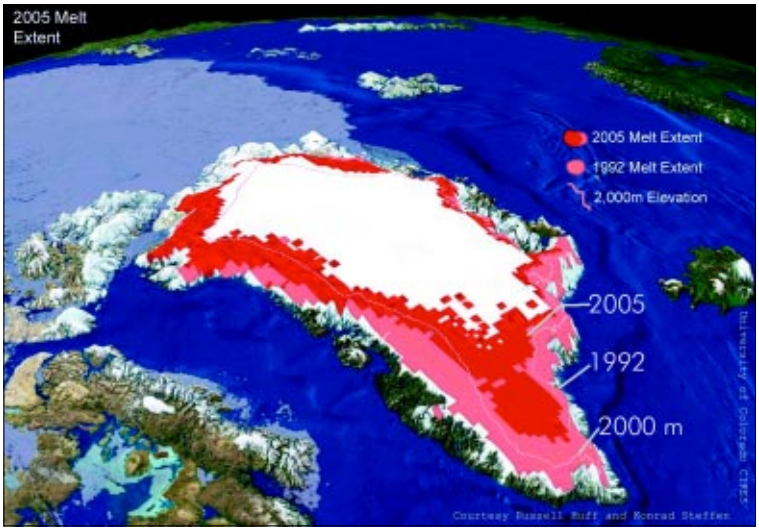
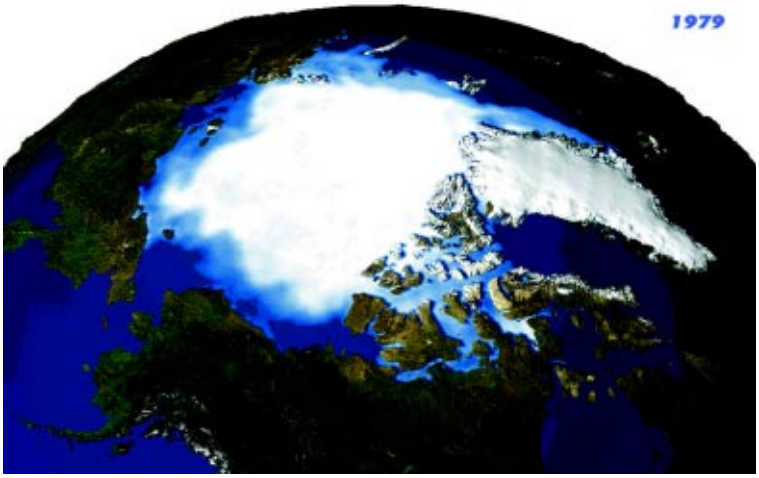


Abb. 3: *Zunahme der Fläche mit Ablation für grönländisches Inlandeis zwischen 1992 und 2005. Die rot gefärbte Fläche stellt das Gebiet dar, wo Ablation auftrat (STEFFEN & HUFF 2005 - http://http://cires. colorado.edu/ science/groups/steffen/greenland/ melt2005/).*
hellrot: *1992*
dunkelrot: *2005*

Das Jahr 1992 zeigte ein Minimum seit 1979 wegen des Ausbruchs des Vulkans Pinatubo im Jahre 1991 (s.Buch Klappentext).



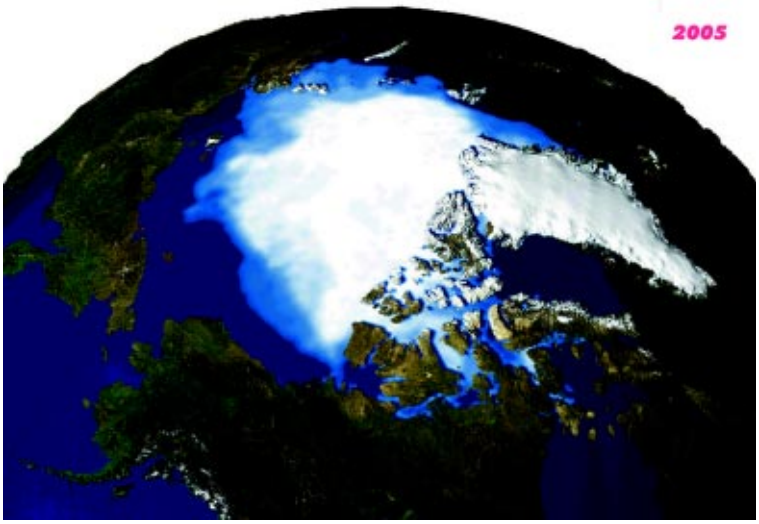


Abb. 4: Die Ausdehnung des mehrjärigen Meereises im Nordpolarmeer (Arktischen Ozean) schrumpfte von 1979 bis 2005 um 25% (siehe Seite 9) (http:// www.nasa.gov/centers/goddard/ news/topstory/2005/arcticice_ decline.html).

DAS POLAREIS

Es ist zwischen den großen Eisschilden über Grönland und Antarktika, dem Meereis und dem Schelfeis sowie Fluss- und Seeeis zu unterscheiden. Während die Meereisdecke nur wenige Meter dick ist und einer starken Schwankung zwischen Sommer und Winter unterliegt, beträgt die Mächtigkeit der Eisschilde bis über 4.000 m.

EISSCHILDE

Von den riesigen Eisschilden hoher Breiten zum Höhepunkt der Vereisung vor ca. 20.000 Jahren sind nur das Eisschild über Grönland mit einer Fläche von 1,71 Mio. km² sowie einem Volumen von 2,95 Mio. km³ und das noch mächtigere Eisschild über dem antarktischen Kontinent mit einer Fläche von 12,1 Mio. km² sowie einem Volumen von 25 Mio. km³ übrig geblieben. Während das Eis auf Grönland bis 3.500 m mächtig ist, liegt die größte Eisdicke auf dem Festland der Antarktis bei 4.500 m. Im Mittel ist das Eis des antarktischen Kontinents ca. 2.500 m dick, und eisfrei sind nur etwa 2% seiner Fläche wie die steilen Flanken von Bergen und vereinzelte am Rande liegende flache Regionen wie die Schirmacher-Oase.

Während sich der antarktische Eisschild in einem sehr kalten Klima befindet und sich die Eisverluste durch Kalbung von Tafeleisbergen und Akkumulation (Eisbildung) etwa in Gleichgewicht befinden, ist das Bild auf Grönland anders. Dort waren die Ablation vom Inlandeis und Eisberge von Gletschern und die zugenommene Akkumulation in Gleichgewicht. In der jüngsten Zeit gibt es deutliche Hinweise, dass die Eisverluste überwiegen.

Abb.5: *Eisberg, Disko-Bucht, Grönland (Foto: P. Prokosch, WWF Frankfurt).*

SCHELFEIS UND EISBERGE

Das Schelfeis, die schwimmende Verlängerung großer Inlandeisströme, entsteht aufgrund natürlicher dynamischer Bewegungsprozesse der kontinentalen Eisschilde. Tafeleisberge bilden sich durch Abbrüche vom Schelfeis; sie können in der Antarktis eine enorme Mächtigkeit von mehreren hundert Metern und eine Fläche von Hunderten bis Tausenden von Quadratkilometern aufweisen.

MEEREIS

Im Gegensatz zu den kontinentalen Eisschilden und dem Schelfeis ist das Meereis nicht Folge von Schneeniederschlag, sondern des Gefrierens von Meerwasser. Die Meereisdecke weist eine maximale Dicke von nur wenigen Metern auf und ihre räumliche Ausdehnung schwankt stark innerhalb eines Jahres. In beiden Polarregionen kühlt sich das aus den anderen Ozeanen einströmende Meerwasser an der Oberfläche stark ab. Durch Zunahme der Wasserdichte werden nicht nur eine intensive Konvektion zum Teil mit Tiefenwasserbildung eingeleitet, sondern am Gefrierpunkt von -1,8° C auch Eiskristalle gebildet, die spezifisch leichter als Wasser sind, aus denen schließlich eine Eisdecke entsteht.

Das polare Meereis spielt im globalen Klimasystem eine wesentliche Rolle. Die langfristigen und saisonalen Veränderungen im Meereis haben maßgeblichen Einfluss auf die Tiefenzirkulation der Weltmeere und damit auf den Wärmeaustausch mit der Atmosphäre und den globalen

Wärmetransport. Auch im globalen Strahlungshaushalt hat das polare Eis eine herausragende Bedeutung. Die Albedo des Eises, d.h. das Reflexionsvermögen gegenüber der Sonneneinstrahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich (0,4–0,7 µm), liegt zwischen 0,5 (schneefreies bzw. schmelzendes Eis) und 0,85 (mit Neuschnee bedecktes Eis), während die Albedo des eisfreien Ozeans unter 0,1 liegt. Das bedeutet, dass die Eisdecke den Eintrag an kurzwelliger Strahlungsenergie um mehr als den Faktor 5 bzw. 8,5 senkt. Die Eis-Albedo-Temperatur-Rückkopplung ist von ausschlaggebender Bedeutung für die beobachtete schnellere Erwärmung in der Arktis.

FLUSS- UND SEEEIS

Im Süßwasserbereich wird in den letzten Jahrzehnten eine Abkürzung der Eisbedeckung von Flüssen und Seen beobachtet. Diese Gewässer frieren später zu und das Eis schmilzt nach dem Winter früher ab. Die Reduktion der Eisbedeckung hat bereits je nach arktischer Region 1-3 Wochen erreicht.

PERMAFROST

Sowohl in Gebieten ohne Eisbedeckung auf dem Festland als auch in küstennahen Bereichen im Meer sind Böden in Polargebieten oft permanent gefroren (Permafrost). Man unterscheidet zwischen kontinuierlichem, diskontinuierlichem und submarinem Permafrost. In Sibirien und Zentralasien kommen besonders ausgedehnte Permafrostgebiete vor, die sich bis in mittlere Breiten erstrecken. Man schätzt, dass derzeit insgesamt ein Viertel der Kontinentalfläche Permafrostböden sind. In besonders kalten Gebieten mit geringen Winterniederschlägen kann ein tiefgreifendes Gefrieren des Erdbodens bis in Tiefen von mehreren hundert Metern beobachtet werden.

Abb.6: *Schwindender Permafrost (Foto: P. Prokosch, WWF Frankfurt).*

Folgen beim Abtauen des Permafrosts

Wegen der Erwärmung der Polarregionen wird nicht nur ein Abschmelzen der Eisschilde und des Meereises, sondern auch ein Auftrauen des Permafrostes beobachtet. Die Folgen sind vielfältig. Beispielsweise werden alle Typen von Infrastrukturen wie Straßen, Gebäude, Bauwerke, Gas- und Ölförderanlagen beeinträchtigt. In gebirgigen Regionen nimmt die Stabilität der Hänge ab und die Gefahr von Erdrutschen nimmt zu.

Abb.7: *Durch Thermokarst verbogene Treibhausruine in Tiksi (sibirische Arktis). Foto: H. Lantuit (AWI-Potsdam).*

GLOBALE ERWÄRMUNG

Auf der Basis von direkten Messungen kann die globale Klimaentwicklung seit der Mitte des 19. Jahrhunderts recht gut zurückverfolgt werden. Die Erwärmung erreichte in den 1940er Jahren einen ersten Höhepunkt. Nach einer Phase der Stagnation und teilweise eines Rückgangs der Lufttemperatur steigt die Kurve seit den 1970er Jahren weiter an. Seit den 1980er Jahren liegen die Werte immer öfter und immer höher über dem langjährigen Mittel 1961-1990. Die beiden wärmsten Jahre seit Beginn der direkten Messungen mit Thermometern waren 1998 und 2005, und die zehn bisher wärmsten Jahre sind in abnehmender Reihenfolge: 1998, 2005, 2002, 2003, 2004, 2001, 1997, 1995, 2000 und 1999. Alle genannten Jahre kamen nach 1994. Nur 1996 war nicht so warm, weil 1995/96 die mit La Niña bezeichnete kalte Wasserzunge im tropischen Ostpazifik besonders ausgeprägt war und die Lufttemperatur auch im globalen Mittel merklich absenkte.

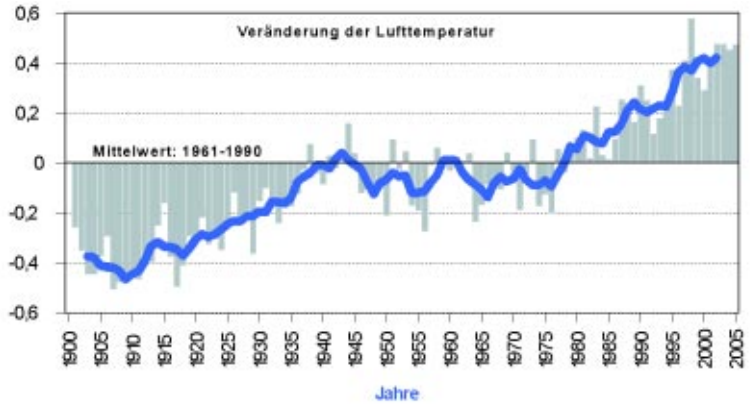


Abb. 8: *Globale Temperaturänderung im Vergleich mit dem Mittelwert 1961-1990 (Referenzwert).*

Einige Fakten

Einige Erkenntnisse wurden in den letzten Jahren so weit erhärtet, dass sie unter den Klimaforschern allgemein als gesichert gelten und nicht umstritten sind. Zu diesen Fakten gehören:

- Die Konzentration von CO_2 in der Atmosphäre ist seit ca. 1850 stark angestiegen, von dem seit mindestens 700.000 Jahren typischen Wert von 280 ppm in Zwischeneiszeiten auf inzwischen 380 ppm.
- Für den Anstieg ist der Mensch verantwortlich, in erster Linie wegen der Verbrennung fossiler Brennstoffe, in zweiter Linie durch Abholzung von Wäldern.
- CO_2 ist ein klimawirksames Gas, das den Strahlungshaushalt der Erde verändert: Ein Anstieg der Konzentration führt zu einer Erhöhung der Temperatur in der Troposhäre.
- Das Klima hat sich deutlich erwärmt. Die mittlere globale Temperatur seit 1990 liegt immer höher als der Referenzmittelwert 1961–1990.
- Der überwiegende Teil der Erwärmung ist auf die gestiegene Konzentration von CO_2 und anderen anthropogenen Gasen zurückzuführen, ein kleinerer Teil hat natürliche Ursachen, u.a. die Schwankungen der Sonnenaktivität.

Als Grundlage für diese Aussage dienten unzählige Daten und wissenschaftliche Erkenntnisse. In den letzten Jahren sind keine Forschungsergebnisse publiziert worden, die den Einfluss der Menschheit auf das Klima in Frage stellen. Im Gegenteil, die o.g. Fakten werden weiter erhärtet. Gelegentlich werden in der Presse gegenteilige Aussagen verbreitet, die jedoch nicht in begutachteten wissenschaftlichen Fachzeitschriften veröffentlicht worden sind. Außerdem finden oft auch »Gespensterdiskussionen« in den Medien statt, die losgelöst von den wissenschaftlichen Fakten sind und zur Verwirrung und Desinformation der Öffentlichkeit führen.

DIE POLARREGIONEN ERWÄRMEN SICH SCHNELLER

Seit Vorliegen relativ zuverlässiger Messungen mit Satelliten im Jahre 1978 wird eine Abnahme der sommerlichen Eisbedeckung in der Arktis von etwa 8% pro Jahrzehnt beobachtet, wobei sich dieser Trend in den letzten Jahren verstärkte. So lag die mittlere Eisbedeckung in den letzten 4 Jahren im September um 20% unterhalb des September-Mittels der Jahre 1978–2000, im September 2005 sogar um 25% (*Abb.4*). Dieser Rückgang entspricht etwa der 5-fachen Fläche Deutschlands. Im Jahr 2005 war die Nordostpassage, d.h. der Seeweg entlang der sibirischen Küste, vom 15. August bis zum 28. September total eisfrei. Die ungewöhnlich große Schmelzrate im Sommer 2005 wurde durch eine großflächige Erwärmung der Arktis verursacht, die 2–3° C über dem langjährigen Mittelwert lag.

Modellrechnungen mit einer neuen Version des Klimamodells des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg haben ergeben, dass die Arktis im Sommer gegen Ende des 21. Jahrhunderts völlig eisfrei sein wird, wenn der Ausstoß von CO_2 und anderen Treibhausgasen unvermindert anhalten sollte. In diesem Szenario erwärmt sich die Erde bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um etwa 4° C, wobei sich die Landgebiete stärker aufheizen als die Ozeane. Besonders ausgeprägt ist die Erwärmung in hohen nördlichen Breiten. Als Folge der Erwärmung schmilzt ein Teil der Schnee- und Meereisflächen. Damit werden helle Oberflächen (Schnee, Eis) durch dunklere ersetzt (schneefreies Land, Wasser), womit ein größerer Anteil der Sonnenstrahlung die Oberfläche erwärmt. Dieser sich selbstverstärkende Effekt (die sogenannte Eis-Albedo-Temperatur-Rückkopplung) ist der Hauptgrund für die besonders großen Temperaturänderungen in hohen nördlichen Breiten sowie für den Eisverlust, der offenbar schon verstärkt in den letzten Jahren eingesetzt hat.

In einem moderateren Szenario, in dem die CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2050 gegenüber heute zwar um weitere 50% ansteigen, aber danach bis zum Jahr 2100 auf die Hälfte der heutigen Emissionen zurückgehen, wird eine globale Erwärmung von 2,5° C prognostiziert. In diesem Szenario ist die Meereisschmelze geringer, so dass gegen Ende des 21. Jahrhunderts noch etwa ein Drittel der heutigen sommerlichen Eisbedeckung vorhanden sein dürfte.

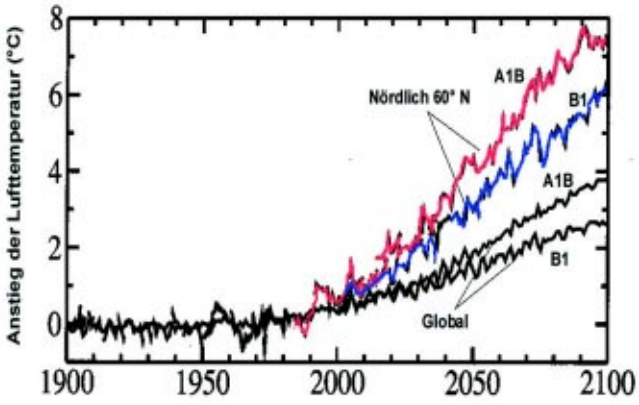


Abb. 9: *Globale Erwärmung versus Erwärmung nördlich 60° N nach einem moderaten Szenario (B1) und nach dem Szenario »Weiter wie bisher« (A1B).*

Erderwärmung: Natürliche Faktoren?

Als weitere Ursache lang- und kurzfristiger Schwankungen des Klimas kommen auch Änderungen der Strahlungsintensität der Sonne selbst in Betracht. Die veränderliche Solaraktivität führt zu den weithin bekannten Änderungen in der Anzahl der Sonnenflecken, die schon seit Jahrhunderten beobachtet werden, sowie zu Änderungen in der Konzentration von ^{14}C- und ^{10}Be-Isotopen in der Luft. Aufzeichnungen der Sonnenfleckenzahl sowie Isotopenanalysen von Eisbohrkernen und Baumringen können daher zur Rekonstruktion der Solaraktivität verwendet werden. Starke Vulkanausbrüche wie der des Pinatubo 1991 beeinflussen heute wie früher das regionale und globale Klima, allerdings nur vorübergehend für einige Jahre. Die Ursache dafür ist eine im wesentlichen aus Schwefelsäuretröpfchen bestehende Aerosolschicht in der Stratosphäre, die sich aus dem Schwefeldioxid in der Gasfahne des Vulkans bildet. Diese Schicht ändert den Strahlungshaushalt der Atmosphäre in der Weise, dass im Mittel an der Erdoberfläche eine Abkühlung erfolgt.
Man erkennt in *Abb. 10* deutlich die Schwankungen des Strahlungsflusses auf die Erde durch Änderungen der Sonnenintensität sowie durch Vulkanismus (kurzfristige Minima). Eine mit diesen Schwankungen angetriebene Klimasimulation zeigt (ebenfalls *Abb. 10*), dass die in vielen Klimarekonstruktionen zwischen dem 11. und 13. Jahrhundert erkennbare »mittelalterliche Warmzeit« und die dann folgende »Kleine Eiszeit« vom 16. bis zum 19. Jahrhundert durch dieses Zusammenspiel von Sonnenaktivität und Vulkanismus hervorgerufen wird. Die im 20. Jh. beobachtete Erwärmung kann nur zu einem Teil auf diese Weise erklärt werden und ist hauptsächlich auf die erhöhten Konzentrationen von anthropogenen Treibhausgasen zurückzuführen. Diese beeinflussen gegen Ende des 20. Jh. den Strahlungshaushalt der Erde deutlich stärker als die natürlichen Änderungen des Strahlungsflusses.

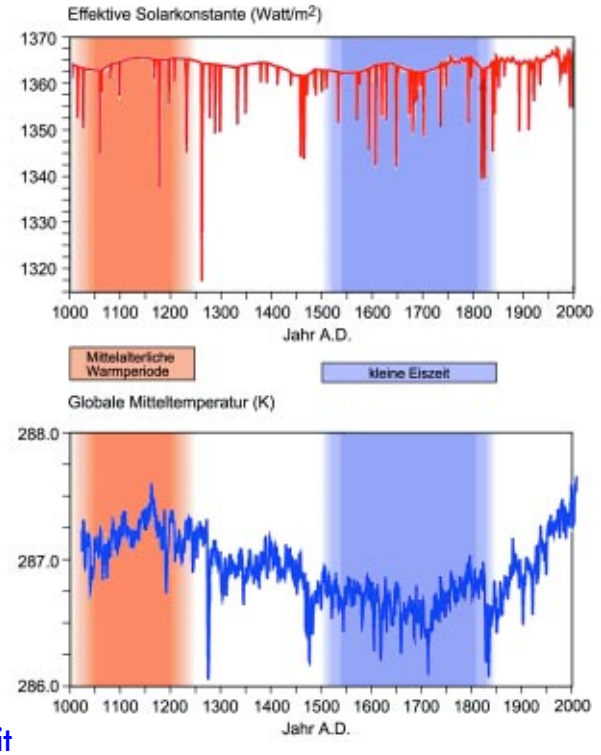


Abb. 10: *Die Veränderung des Strahlungsflusses durch Sonnenintensitätsschwankungen (Sonnenflekken) sowie Vulkanismus (kurzfristige Minima) (oben) sowie die mit einem Klimamodell (Modell ECHO-G) berechnete Auswirkung auf die globale Mitteltemperatur (Quelle: M. WIDMANN, GKSS).*

DIE POLARREGIONEN: Gebiete höchster Empfindlichkeit mit weltweiter Wirkung

Die Ausdehnung der Kontinente Asien, Europa und Nordamerika bis in die südlichen Bereiche der Arktis ermöglicht nicht nur die Existenz vieler Pflanzen- und Tierarten sondern damit auch eine menschliche Besiedlung. Zur Zeit leben dort rund 4 Mio. Menschen, wovon ca. 50% im russischen Teil ansässig sind.

DIE INDIGENEN VÖLKER IM NORDEN

Gegenüber Umweltkatastrophen und Veränderungen ihrer Wirtschaftsbasis hat sich die Urbevölkerung der polaren Regionen in der Vergangenheit meist als belastbar und flexibel erwiesen. Dennoch sind immer wieder Bevölkerungsgruppen, die z.B. aus Asien nach Grönland eingewandert waren, Klimaveränderungen und ihren Auswirkungen zum Opfer gefallen und ausgestorben. Der gegenwärtige Klimawandel, vor allem der weltweite Temperaturanstieg, wird die beiden wichtigsten Wirtschaftszweige der polaren Urbevölkerung, die Rentierhaltung und den Fang von Meeressäugern, nachhaltig beeinflussen. Insbesondere wird das schnelle und tiefe Auftauen des Dauerfrostbodens im Binnenland eine große Rolle spielen und die Mobilität der Bevölkerung und Weidemöglichkeiten der Rentierherden einschränken. An den Küsten wird die Verringerung der Eisdecke und Verkürzung der Vereisungsdauer die traditionellen saisonalen Fangmöglichkeiten stark einschränken und das Leben der Jäger gefährden. Hinzu kommen Veränderungen in der Tierwelt durch allmähliche, nicht vorhersehbare Abwanderungen bestimmter Tierarten oder Veränderungen ihrer Wanderwege als Reaktion auf einen geringen Anstieg der Meerestemperatur. Nicht immer kann, wie in Grönland zu Beginn des 20. Jahrhunderts, eine Einschränkung der Jägerkultur durch staatlich geförderte Fischereiaktivitäten ersetzt werden. Weiterhin ist noch nicht abzusehen, welche Auswirkungen der Ozonabbau in der Stratosphäre auf die Tundrenvegetation und die marinen Nahrungsketten haben wird. Wenn der Mensch so weiter macht wie bis jetzt, wird bis 2100 das Nordpolarmeer eisfrei sein (s.o.). Das bedeutet, dass der Lebensraum von Ringelrobben und Eisbären zerstört sein wird und damit auch der traditionelle Robbenfang der Inuit. Während in der westlichen Welt, z.B. in Alaska oder Grönland, die Urbevölkerung im Notfall mit staatlichen Hilfsmaßnahmen rechnen kann, dürfte das im Bereich des russischen Fernen Ostens, z.B. in Chukotka, kaum der Fall sein. In den letzten Jahrhunderten sind die einzigartigen Kulturen der Polarvölker durch Missionierung, Alkoholmissbrauch und eingeschleppte Krankheiten nicht nur nachhaltig verändert, sondern z.T. auch vernichtet worden. Es wäre bedauerlich, wenn dieses Zerstörungswerk indirekt durch den von den Industriestaaten initiierten Klimawandel fortgesetzt würde.

... doch mehr als alle Zahlen bewegt mich, was zwei Vertreter der Inuit in kleiner Runde über die Vorgänge in ihrer Heimat erzählen. Seen verschwinden, weil der Permafrostboden taut und das Wasser versickert. Stürme erodieren ihre Küste, weil der Schutz durch die Eisdecke fehlt - die Ortschaft Shihmaref muss deshalb bereits umgesiedelt werden. Sie berichten von Freunden, die ihre Beine oder auch ihr Leben verloren haben, weil sie auf seit Generationen benutzten Jagdrouten durch das Eis gebrochen sind. Auch ihre Jagdbeute hat ich verändert - Karibus machen einen kranken Eindruck und ihre Felle sind zu dünn geworden, um sie für Kleidung zu verwenden. Eisbären sind immer seltener anzutreffen und weniger gesund. (RAHMSTORF 2005)

Abb. 11: *Angehörige einer Inuit-Familie beim Messerschärfen nach erfolgreicher Jagd, Barrow, Alaska (Foto: Craig George, North Slope Borough Department of Wildlife Management)*

DAS MEEREIS ALS LEBENSRAUM

Große Flächen in beiden Polarmeeren sind von Meereis bedeckt (s. Kap. Haas im Buch). Auf, im und unter dem Meereis finden sich erstaunlich viele Organismen, die diesen extremen Lebensraum besiedeln. Zu den prominentesten Oberflächen-Bewohnern gehört in der Antarktis der Kaiserpinguin. Er brütet ausschließlich auf dem Festeis, zieht dort seine Jungen auf und ist deshalb auf stabile Eisverhältnisse über einen Zeitraum von etwa sieben Monaten angewiesen (s. Kap. Peter im Buch). Mehrere antarktische Robbenarten (vor allem Weddellrobbe, Krabbenfresserrobbe und Seeleopard) suchen ebenfalls das Meereis als Platz für die Geburt und Aufzucht ihrer Jungen auf (s. Kap. Plötz et al. im Buch). In der Arktis sind es vor allem Eisbär und Ringelrobbe (s. Kap. Born im Buch), die für Nahrungserwerb und Fortpflanzung auf das Meereis angewiesen sind. Zusätzlich gibt es in der Arktis in den Sommermonaten einen weiteren Lebensraum auf dem Eis, die Schmelztümpel. Sie entstehen durch oberflächliches Tauen der Schnee- und Eisdecken und können im Sommer bis zu 40% der gesamten arktischen Meereisfläche einnehmen. In den Tümpeln leben vor allem Protisten, deren Rolle im Gesamtnahrungsgefüge erst wenig erforscht ist. Auch das Innere des Meereises, das von einem ausgedehnten System von kleinen Kanälen und Taschen durchzogen ist, wird von einer Vielzahl von Organismen als Lebensraum genutzt. So sind von den wichtigsten Primärproduzenten in diesem Habitat, den Kieselalgen (Diatomeen), aus der Arktis etwa 300 und aus der Antarktis etwa 200 Arten beschrieben worden (s. Kap. Spindler & Werner im Buch).

Da die meisten Organismen in den unteren Zentimetern des Eises konzentriert sind, herrschen an der Eisunterseite fast das ganze Jahr hindurch gute Nahrungsbedingungen vor. In der Arktis gibt es sogar fädige Kolonien von Kieselalgen, die mehrere Meter lang werden können. Die auffälligsten tierischen Bewohner des Lebensraums unter dem Eis sind Amphipoden (Flohkrebse) (s. Kap. Spindler & Werner im Buch). Verschiedene Umweltgefährdungen bedrohen die Existenz der polaren Meereis-Lebensgemeinschaften. So würde nach einem möglichen Ölunfall in der marinen Arktis (s. Kap. Lange im Buch) ausgetretenes Öl an der Unterseite des Eises akkumulieren und zu einer lokalen Zerstörung der Meereishabitate führen. Die wahrscheinlich größte und weitreichendste Bedrohung für alle Organismen, die auf, im oder direkt unter dem Eis leben, ist aber die klimabedingte Abnahme der Fläche und Dicke des arktischen Packeises. Wegen der großen Bedeutung des Meereises für das gesamte Ökosytem der marinen Arktis wird sein Rückgang außerdem zu weitreichenden ökologischen Veränderungen führen, die auch die Lebensräume des Freiwassers (Pelagial) und des Meeresbodens (Benthal) erfassen.

Abb. 12: Ein Flohkrebs. Die häufigste Tiergruppe, die den Lebensraum unterhalb des Eises besiedelt (Foto: Iris Werner, Institut für Polarökologie, Kiel).

Die Klimarelevanz der Vegetation

Wie oben gezeigt wurde, ist aufgrund von Modellstudien über zukünftige Klimaänderungen mit einer starken Erwärmung insbesondere in hohen Breiten zu rechnen. In den meisten dieser Studien wird bislang eine unveränderte globale Verteilung der Vegetation angenommen. Es ist jedoch anzunehmen, dass zukünftige Veränderungen in der Vegetationsverteilung eine Klimaerwärmung noch verstärken werden, wie dies in ersten Analysen bereits deutlich wird. Erhärtet wird diese Annahme durch eine Untersuchung vergangener Klimate. So zeigen beispielsweise Klimarekonstruktionen für das mittlere Holozän vergleichsweise warme Winter im nördlichen Eurasien, obwohl die Sonneneinstrahlung, ein wesentlicher Klimaantrieb, zu jener Zeit im Winter dort niedriger war als heute. Eine ebenfalls vielerorts rekonstruierte nordwärtige Ausdehnung borealer Wälder, hervorgerufen durch wärmere Sommer und längere Wachstumsperioden, wie sie auch für die Zukunft abgeschätzt werden, könnte dieses vermeintliche Paradoxon erklären. Wesentliches Element ist hierbei wiederum die Schnee-Albedo-Rückkopplung (also das Rückstrahlungsvermögen für solare Strahlung), deren Wirkung insbesondere dann abnimmt, wenn Schnee durch die sich ausbreitenden Wälder maskiert wird.

Abb. 13: *Der Krabbenfresser, die häufigste antarktische Robbe, lebt im Packeis (Foto: Joachim Plötz, AWI, Bremerhaven).*

In den polaren Regionen kommen viele endemische Tierarten vor; d.h. sie sind nur dort anzutreffen, daher stark der polaren Kälte angepasst und vom Eis abhängig. Der Vergleich zwischen der Arktis und Antarktis ergibt auch in der Biodiversität erhebliche Unterschiede. Pinguine, die wir im Süden massenhaft finden, fehlen in der Arktis. Stattdessen findet man dort z.B. Eisbären, Walrosse und eine sehr artenreiche Vogelwelt.

Die marine Fauna

Im Süden ernähren sich Pinguine, Robben und teilweise auch die anderen Vogelarten vorwiegend vom Krill. Der Krill hat daher eine Schüsselstellung im antarktischen Nahrungsnetz. Von Interesse ist daher, welche Folge die Erderwärmung für diese Krebsart haben kann. Im Bereich der Antarktischen Halbinsel, welche das Gebiet mit dem größten Krillvorkommen ist, wird tatsächlich ein Bestandsrückgang beobachtet. Diese negative Entwicklung wird im Zusammenhang mit dem Rückgang des dortigen Meereises diskutiert (s. Kap. Siegel im Buch).

Im Norden sind durch den Klimawandel vor allem die Endkonsumenten wie die Eisbären, Robben und Seevögel betroffen. Nach dem Winter hängt der Jagderfolg bei der Eisbären vom Eisverhältnis ab. Nimmt das Eis ab, so verringern sich die Anzahl der Beutetiere rapide. In südlichen arktischen Gebieten wird bereits heute ein schlechter Ernährungszustand bei den Eisbären beobachtet. Dies wird durch den Rückgang und die späte Bildung des Meereises erklärt. Das gleiche gilt für die Ringelrobben, Bartrobben und Bandrobben. Sie verbringen die meiste Zeit ihres Lebens auf dem Eis, z.B. ruhend und für die Aufzucht ihrer Nachkommen. Sie gehen auf Nahrungssuche am Eisrand. Es ist unwahrscheinlich, dass sich der Eisbär und die arktischen Robben an eine Umwelt ohne Eis anpassen werden können (s. Kap. Born im Buch).

Abb. 14: *Der Krill (Foto: Volker Siegel, Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg).*

RÜCKGANG DES STRATOSPHÄRISCHEN OZONS IN DEN POLARREGIONEN

Die Ozonschicht in der Stratosphäre (in 10–50 km Höhe über dem Meeresspiegel) ist für das Leben auf der Erde unverzichtbar. Der sehr kleine Anteil von Ozon an der Gesamtatmosphäre reicht aus, um die Biosphäre vom Großteil der schädlichen ultravioletten Sonnenstrahlung abzuschirmen. So schützt das stratosphärische Ozon beispielsweise den Menschen vor Hautkrebs, Schwächungen des Immunsystems und Mutationen des Erbguts. Es erhält außerdem das Phytoplankton als Grundlage der Nahrungsketten in den Ozeanen. Mögliche Effekte einer erhöhten UV-Strahlung auf die Biosphäre werden in Kap. Bischof & Wiencke ausführlich behandelt.

Die ersten dramatischen Rückgänge der stratosphärischen Ozonkonzentration wurden bereits in den frühen 1980er Jahren bei bodengebundenen Routinemessungen auf dem antarktischen Kontinent beobachtet. Durch genauere Analysen der Satellitendaten wurde kurz danach das sogenannte »Ozonloch« deutlich sichtbar. In den folgenden Jahren zeigten die Satellitendaten zudem eine Verstärkung und räumliche Ausdehnung des Phänomens »Ozonloch«. Seit Anfang der 1990er Jahre weiß man, dass auch die Arktis in kalten Wintern von erheblichen Ozonverlusten in der Stratosphäre betroffen sein kann. Bei einem ausgebildeten Ozonloch dringt die UV-Strahlung der Sonne verstärkt bis zur Erdoberfläche durch und schädigt beispielsweise das Plankton im Polarmeer. Nach einigen Wochen verschwindet das Ozonloch dann aufgrund sich ändernder meteorologischer Bedingungen wieder (s. Kap. Riese im Buch).

Mitte der 1980er Jahre wurden im antarktischen Frühjahr große Mengen ozonzerstörender Chlorsubstanzen (Cl und ClO) in der Stratosphäre entdeckt, die nach chemischer Umwandlung anthropogener FCKWs entstehen und sich als Ursache des Ozonlochs erwiesen. Heute weiß man auch, dass die bei sehr niedrigen Temperaturen entstehenden polaren Stratosphärenwolken (PSC) dabei eine wichtige Rolle spielen. Da die Temperaturen in der antarktischen Region viel niedriger als in der Arktis sind, ist die PSC-Bildung dort intensiver. Diese und andere dynamische Prozesse (Polarwirbel) sind die Ursache, dass das »Ozonloch« in der Antarktis häufiger und stärker auftritt.

Die Reduktion und Kontrolle ozonzerstörender Substanzen durch das Montrealer Protokoll (1987) und seine Folgeprotokolle von London (1990), Kopenhagen (1992) und Peking (1999) sind zwar eine Erfolgsgeschichte der Umweltpolitik, dennoch wurde im Winter 2004/05 eine der ausgeprägtesten Ozonzerstörungen über der Arktis beobachtet. Aufgrund der großen Verweilzeit anthropogener FCKW in der Stratosphäre wird die anthropogene Chlorbelastung erst Mitte dieses Jahrhunderts wieder auf das Niveau vor 1980 absinken (s. Kap. Riese im Buch).

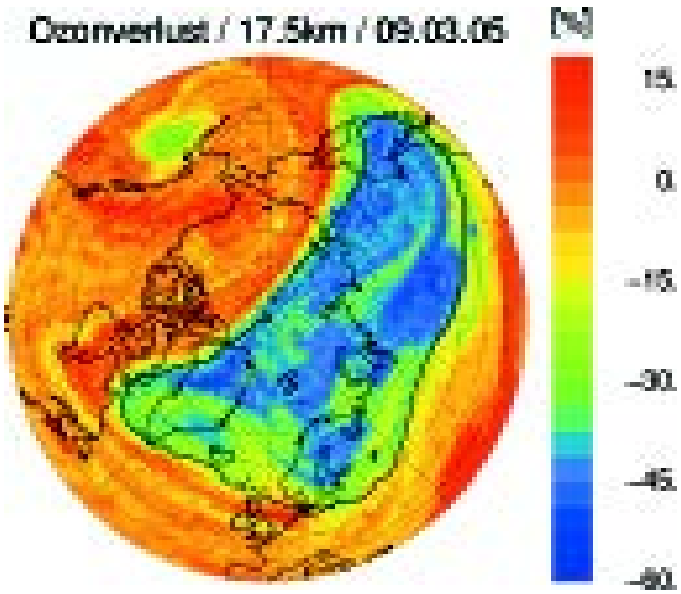


Abb. 15: *Chemischer Ozonverlust in ca.18 km Höhe über den gesamten Winter für die Nordhemisphäre bis zum 10. März 2005 (s. Kap. Riese im Buch).*

MEERESSTRÖMUNGEN UND TIEFENWASSERBILDUNG

Bezüglich des großräumigen Musters der Meeresströmungen gibt es zwischen den Polarregionen ebenfalls erhebliche Unterschiede. Bei der Tiefenwasserbildung spielen beide Regionen eine Rolle von globaler Bedeutung.

Meeres-strömungen

Das Nordpolarmeer (der arktische Ozean) steht mit den großen Ozeanen nur über mehrere Nebenmeere (u.a. Beringstraße, Baffinbai, Barentssee) in Verbindung. Da diese Verbindungen relativ flache Meeresgebiete sind, ist der Wasseraustausch entsprechend gering. Nur die zwischen Nordgrönland und Svalbard (Spitzbergen) liegende, ca. 2,5 km tiefe Framstrasse erlaubt einen bedeutenden Wasseraustausch mit dem Nordatlantik.

Der antarktische Kontinent ist dagegen von einer Ringströmung umgeben. Dieser antarktische Wasserring (das Südpolarmeer) ist von großer Bedeutung, da er die drei größten Ozeane Pazifik, Atlantik und Indischen Ozean verbindet und ein globales Zirkulationssystem – ein Weltmeer – ermöglicht. Der stattfindende Austausch von Wassermassen mit ihren gelösten Stoffen ist von herausragender Bedeutung. Eine weitere Funktion des antarktischen Wasserrings ist die Unterstützung des großen marinen Förderbandes. Sie erfolgt durch Abkühlung von Wassermassen, die zur Bildung von Tiefenwasser durch Konvektion führt.

Tiefenwasser-bildung

Maximale Konvektion findet man besonders im Nordatlantik und in der Antarktis. Die Bildung neuen Tiefenwassers treibt die globale Tiefenzirkulation an. Dabei entsteht ein riesiger ozeanischer Kreislauf in der Art eines »Förderbandes« (»oceanic conveyor belt«, s. *Abb.16*), dessen Umlaufperiode in der Größenordnung von 1.000 Jahren liegt. Gespeist wird dieser ozeanische Kreislauf vor Norwegen aus dem System Golfstrom-Nordatlantikstrom. Er ist dafür verantwortlich, dass vor allem im Winter die Temperaturen in Europa um einige Grad höher sind als auf vergleichbaren Breiten etwa an der Westküste Kanadas. Modellrechnungen für das 21. Jahrhundert zeigen generell eine Abschwächung des marinen Förderbandes im Atlantik, je nach Modell bis zu 50%. Ein völliges Abreißen des Nordatlantikstroms ist zum Glück unwahrscheinlich, ganz ausschließen lässt sich diese Gefahr jedoch nicht. Entscheidend für die Zukunft der Strömung ist die Frage, wie schnell der grönländische Eisschild abschmelzen wird und welche Süßwassermengen dadurch in den Nordatlantik gelangen – ein Faktor, der in heutigen Modellrechnungen noch nicht berücksichtigt wird.

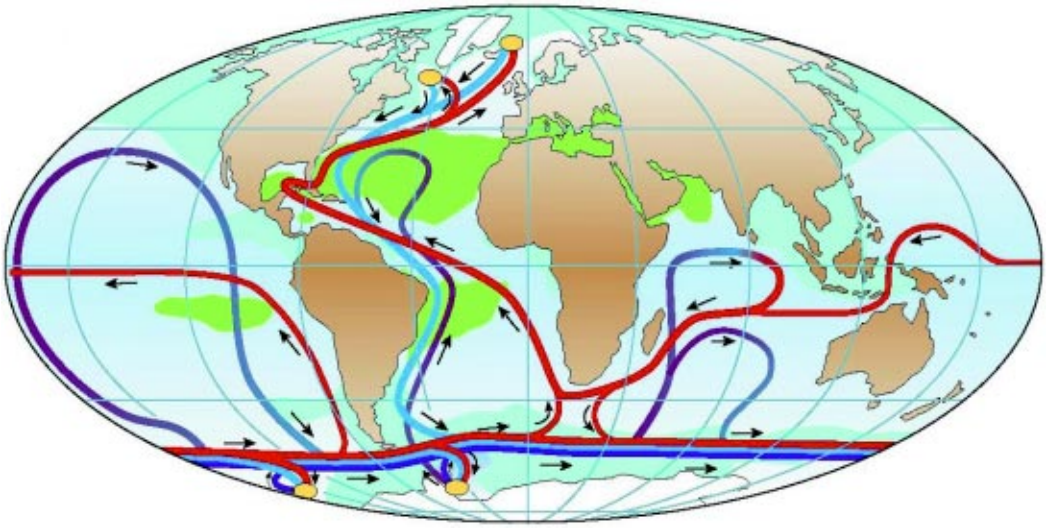


Abb. 16: *Das globale ozeanische »Förderband« (globale thermohaline Zirkulation): eine der Klimamaschinen unserer Erde. Bedeutende Tiefenwasserbildung findet im Nordatlanktik und der Antarktis (Ross-See und Weddell-See) statt. Nach neuen Studien steigt der größte Anteil vom Tiefenwasser in der Antarktis auf (nach* RAHMSTORF *2002).*

WIRTSCHAFTLICHE NUTZUNG UND IHRE RISIKEN

Sowohl die Arktis, aber auch die Antarktis gelten als Regionen mit großem Rohstoffpotenzial für die Zukunft. Es geht dabei nicht nur um Gas und Öl, sondern auch um andere mineralische Rohstoffe. So entwickelte sich Kanada seit den 1950er Jahren zu einem bedeutenden Produzenten von Uran, Kupfer, Nickel, Blei, Zink, Asbest, Eisenerz sowie Gold auf dem Weltmarkt.

Die politischen Situation der Polarregionen ist jedoch recht unterschiedlich. Während die Staatsgrenzen in der Arktis gut definiert sind, ist die völkerrechtliche Lage in der Antarktis komplizierter. Zum Antarktisvertrag gehören Anspruchsstaaten, die geographisch nahe liegen und weit entfernte Nichtanspruchsstaaten wie USA, Russland, Deutschland, die die territorialen Ansprüche der anderen Staaten nicht anerkennen (s. Kap. Roland im Buch).

Öl- und Gasvorkommen in der Arktis

Der Abbau der arktischen Kohlenwasserstofflagerstätten erschließt auf der einen Seite ein bedeutendes, noch weitgehend ungenutztes Energiereservoir, bildet auf der anderen Seite aber ein erhebliches Gefährdungspotenzial für die dortige Umwelt. Dabei spielen Ölunfälle in eisbedeckten Meeresgebieten eine besonders wichtige Rolle. Meereis behindert und verlangsamt einerseits den natürlichen Abbau eingetragenen Öls, andererseits führt die großräumige Bewegung des Eises im arktischen Ozean dazu, dass einmal eingetragenes Öl über eine Fläche verteilt wird, die weit über die vom Ölunfall direkt betroffene Fläche hinausgeht. Außerdem laufen die natürlichen Selbstreinigungsprozesse, die in mittleren Breiten zu einem relativ raschen Abbau des Öls führen, in der Arktis erheblich langsamer ab (s. Kap. Lange im Buch).

Gashydrate in den Polarregionen: sollen sie genutzt werden?

Gashydrate sind feste, eisähnliche Verbindungen aus Gasmolekülen und Wasser, welche in Abhängigkeit von Temperatur und Druck im Ozean an den Kontinentalrändern in Wassertiefen von 300–700 m - hauptsächlich in Form von Methanhydraten vorkommen. Auch andere Gase, wie Kohlenstoffdioxid, Stickstoff und weitere Kohlenwasserstoffe können bei höheren Drükken und niedrigen Temperaturen ebenfalls enthalten sein.

Obwohl Gashydrate schon seit fast 200 Jahren bekannt sind, tritt ihre große Bedeutung auf unserem Planeten erst langsam in unser Bewusstsein. Im Vordergrund stehen dabei Fragen nach einer möglichen wirtschaftlichen Nutzung der riesigen Lagerstätten und nach ihrer Rolle im Klimawandel.

Die Menge an in Gashydraten gebundenem Kohlenstoff ist groß. Man schätzt die Vorräte auf etwa 10.000 Gt. Dieser Wert übersteigt die Kohlenstoffmenge der zurzeit bekannten Vorkommen fossiler Brennstoffe bei weitem und stellt somit ein Potenzial für die Zukunft dar, wenn die konventionellen Energieträger erschöpft sein sollten.

Hinsichtlich der Klimarelevanz der Gashydrate steht die Vermeidung von unkontrollierten Methan-Emissionen in die Atmosphäre im Vordergrund. Methan wirkt ähnlich wie Kohlenstoffdioxid als Treibhausgas – allerdings pro Molekül weit stärker – und ist deshalb an der globalen Erwärmung der Atmosphäre beteiligt. Der Kohlenstoff-Speicher der Atmosphäre ist mit 760 Gt zwar von beträchtlicher Größe, könnte aber durch die Freisetzung selbst von relativ geringen Mengen Methan aus dem gewaltigen globalen Gashydratvorkommen rasch und drastisch zunehmen.

Tourismus in die Polarregion

Die Zahl der Menschen, die sich innerhalb eines Jahres als Touristen in den Polarregionen aufhalten, ist in den letzten Jahrzehnten rapide angewachsen. In Spitzbergen stieg die Zahl der Übernachtungsgäste von 17.482 (1991) auf 45.100 (1997), in Grönland von 3.300 (1987) auf 31.351 (2000). Seit einigen Jahrzehnten nimmt auch der Tourismus in die Antarktis stark zu. Die meisten Besucher kommen im Sommer. Das ist eine empfindliche Zeit, da sich Robben und Vögel dann fortpflanzen und ihre Jungen säugen oder füttern. Der Sommer ist auch die Entwicklungszeit der kärglichen Landvegetation. Nutzungskonflikte sind daher vorprogrammiert, wenn nicht strenge Regeln angewandt und so die Art und Intensität des Tourismus begrenzt wird. Ein nachhaltiges Tourismuskonzept bietet auch die Möglichkeit, das Bewusstsein für die Erhaltung von Arktis und Antarktis zu stärken und generell für den Umweltschutz zu werben. Tourismus und Naturschutz müssen sich nicht gegenseitig ausschließen.

Wieviel Fischerei vertragen die Fischbestände in den Polarregionen

Mit dem Verschwinden der traditionell genutzten Fischbestände breitet sich die kommerzielle Fischerei heute in immer entlegenere Gebiete und in immer größere Tiefen aus. Von dieser Tendenz bleiben auch die polaren Gebiete nicht verschont. Ihre Ressourcen haben sich trotz des mit der Ausbeutung verbundenen hohen Aufwands als lukrativ erwiesen. Die Fischerei in der Subarktis, am Rande der Packeiszone, zielt u.a. auf die dort vorkommenden Bestände von mit dem Dorsch verwandten Fischarten wie dem Alaska-Seelachs. Die Fischerei am nördlichen Rand der Antarktis konzentriert sich auf Schwarzen Seehecht, Marmorfisch, Bändereisfisch und Krill. Verschiedene biologische Eigenschaften polarer Arten erschweren allerdings eine nachhaltige Fischerei. Aufgrund der niedrigen Wassertemperaturen wachsen die Organismen sehr langsam und werden erst sehr spät geschlechtsreif. Beispielsweise laicht der Schwarze Seehecht erst im Alter von 8-10 Jahren. Für den Fang werden auf den Hochseetrawlern zudem unselektive Methoden angewendet, die zu hohen Beifangraten von Bodentieren und Kaltwasserkorallen in der Netzfischerei oder zum Tod von Seevögeln, Haien und Rochen in der Langleinenfischerei führen.

Die genutzen Bestände der Polarregionen unterliegen deshalb mittlerweile einem enormen Fischereidruck und gelten, wie für manche Arten in der Beringsee, schon als überfischt. Problematisch erweist sich auch der zunehmende Einfluss des Klimawandels auf die Bestandsentwicklung polarer Fischarten. Die internationalen Abkommen, die für ein ausbalanciertes Ressourcenmanagement sorgen sollen, können nur wirksam werden, wenn sie auf alle polarnahen Gebiete ausgeweitet werden. Außerdem ist es wichtig, dass schärfer überwacht und das Vorsorgeprinzip konsequenter angewandt wird (s. Kap. Kock & von Dorrien).

Gefahr der Übernutzung der borealen Wälder

Mit über 110 Mrd. m^3 macht der Holzvorrat borealer Wälder etwa ein Drittel dieser Ressource weltweit und 80% des gesamten Nadelholzvorkommens aus. Neben der Schnittholzproduktion ist vor allem die Zellstoff- und Papierfabrikation die wichtigste Nutzungsform; z.B. stammt über die Hälfte des Zeitungspapiers weltweit aus borealen Regionen. Wegen dieser scheinbar unermesslichen Ressourcen an Wald und Holz existiert – mit einer gewissen Ausnahme in Skandinavien – oft keine nachhaltige Forst- und Holzwirtschaft. Eine bis heute häufig angewandte Wirtschaftsweise in Nordamerika und Russland ist die des großflächigen Einschlags ohne nachfolgende Wiederaufforstung. Trotz der in den letzten Jahren beobachteten Verminderung des Einschlagvolumens in Russland ist die Gefahr der Übernutzung der borealen Wälder weiterhin gegeben.

Die Gebiete mit den gegenwärtig größten Gefahren für boreale Wälder durch Holzgewinnung liegen im Ostsibirien, wo ausländische Konzerne die Nutzungsrechte ohne bedeutende Umweltschutzauflagen erhalten haben. Hier stocken etwa 20,4 Mrd. m^3 Holz. Etwa 70% des eingeschlagenen Holzes wird in die benachbarten ostasiatischen Staaten exportiert (vgl. Kap. Venzke im Buch).

GEFÄHRDUNG UND SCHUTZ DER POLARREGIONEN

Die Polargebiete galten lange als nahezu schadstofffrei und wurden als »reinste« Gebiete der Erde betrachtet. Dass diese Auffassung der Revision bedarf, ist bereits seit einigen Jahrzehnten bekannt und besonders eindrucksvoll in den Berichten des »*Arctic Monitoring and Assessment Programme*« (AMAP) der arktischen Anrainerstaaten dargestellt. Für viele der in der Arktis beobachteten hohen Konzentrationen von Spurenstoffen ist der atmosphärische und hydrologische Transport von Schadstoffen aus den industriellen Zentren der Nordhalbkugel verantwortlich.

Transport und Anreicherung von Schadstoffen und Effekte für Menschen und Tiere

Als lokale Quellen für persistente organische Schadstoffe (*persistent organic pollutants*, POPs) wurden in der Arktis vor allem militärische Einrichtungen (Frühwarnsysteme, Übungsgebiete) (s. nächste Seite) und in der Antarktis die Forschungsstationen identifiziert. Diese Schadstoffe gelangen aber vornehmlich durch Ferntransport über die Atmosphäre, die arktischen Flüsse oder Meeresströmungen in die arktische Umwelt und werden hier durch die transpolaren Eisbewegungen über die ganze Arktis verteilt. Der Eintrag wie auch das Schicksal von persistenten organischen Schadstoffen wird eingehend im Kapitel Ebinghaus & Temme im Buch behandelt.

Im Rahmen von AMAP sind seit Beginn der 1990er Jahres umfangreiche Messungen zur zeitlichen und räumlichen Verteilung von ausgewählten persistenten organischen Schadstoffen, z.B. polychlorierten Biphenylen (PCB), Hexachlorcyclohexan-Isomeren (HCH), Hexachlorbenzol (HCB) und polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH), durchgeführt worden. Sie zeigen vergleichsweise geringe Konzentrationen in der Luft als auch im Meer- und Süßwasser.

Dennoch werden regelmäßig hohe Konzentrationen der oben genannten Stoffe in Lebewesen gefunden, die an der Spitze der Nahrungsnetze stehen. Zu den hochbelasteten Arten gehören Eismöwen, Eissturmvögel, Eisbären, Ringelrobben und die arktischen Zahn- und Bartenwale. Einen Spitzenplatz nimmt hier verständlicherweise der auch als Killerwal bekannte Schwertwal ein. Auch in der Urbevölkerung der Arktis, den Inuits in Grönland und West-Kanada, die immer noch weitgehend im Einklang mit der Natur leben und sich vor allem von Fisch, Robben und Walen ernähren, sind alarmierend hohe Konzentrationen von POPs nachgewiesen worden. Die Muttermilch der Inuits gehört zur höchstbelasteten der Welt. Bei den Eisbären ist der Hormonhaushalt wegen der hohen Schadstoffbelastung schon so beeinträchtigt, dass es zu Veränderungen der äußerlichen Geschlechtsmerkmale kommt.

Man sollte deshalb so bald wie möglich globale Maßnahmen zur Kontrolle und Begrenzung der Nutzung und Ausbreitung dieser Substanzen in Verbindung mit dem UNECE-Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverschmutzung von 1979 und dem internationalen Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe von 2001 mit höchster Priorität vorantreiben.

Walfang

Die Jagd auf den Grönlandwal dauert nun schon über tausend Jahre. Seit mehr als hundert Jahren ist der »Bowhead«, der Wal mit dem stark gebogenen Kiefer, vom Aussterben bedroht. In grönländischen Gewässern sieht man ihn gar nicht mehr, obwohl der bis 19 m lange und klobige Meeressäuger danach seinen Namen trägt. Der Bestand in Grönland- und Barentssee ist verschwindend klein oder sogar ausgerottet. Besorgniserregend klein sind auch die Bestände im Ochotskischen Meer sowie in der Hudson Bay und im Foxe Basin (Kanada).

***Abb. 17**: Der Finnwal (Foto: GSM, Hamburg)*

Die Gefahr der radioaktiven Abfälle

Das Nordpolarmeer war im Kalten Krieg stets eine Region mit starken militärischen Aktivitäten. Im Namen der Abschreckung belauerten sich hier sowjetische und US-amerikanische Atom-U-Boote. Die sowjetische Nordmeerflotte hatte in der Region von Murmansk ihre eisfreien Heimathäfen und Operationsbasen. Auf der Insel Nowaja Semlja fanden Nukleartests statt, und die Flüsse Sibiriens trugen radioaktive Produkte des Nuklearkomplexes in die arktischen Meere. Immer wieder kam es seit Ende des Ost-West-Konfliktes zu spektakulären U-Boot-Havarien, die die Befürchtung umfassender radioaktiver Kontaminationen nährten. Abgelagerter Atommüll und die »Abrüstung« der großen russischen Nordmeerflotte stellen immer wieder die Frage nach der radioaktive Verseuchung in der Barentssee, der Karasee und dem Weißen Meer. Nach dem Ende der Konkurrenz der Supermächte stellt sich die Frage, wie der Abbau der nuklearen Kapazitäten in der arktischen Region voranschreitet und ob die radioaktive Verseuchung eine direkte Gefahr für Mensch und Umwelt darstellt. Im Buch wird versucht, eine Bestandsaufnahme radioaktiver Quellen, Probleme und Kontaminationen in der Polarregion vorzunehmen.

Die Arktis: Region des Umweltschutzes

Die Erforschung sowie der Schutz der Arktis war durch die Periode des Kalten Krieges behindert. Beide Supermächte, USA und UdSSR, standen sich in dieser Region mit ihrer seegestütztem Nuklearsenal gegenüber, was eine internationale Zusammenarbeit unmöglich machte. Sie wurde erst in den 1980er Jahren mit den vorangegangenen politischen Veränderungen in der Sowjetunion ermöglicht. 1989 wurde das *International Arctic Science Committee* (IASC) und 1990 die *Arctic Environmental Protection Strategy* (AEPS) mit Beteiligung der Umweltminister der acht Anrainerstaaten sowie Vertretern der Urbevölkerung (Inuit, Samen u.a.) gegründet. Seitdem ist die Arktis die größte Region in der Welt mit einer zwischenstaatlichen Zusammenarbeit, in der das wichtigste Thema der Umweltschutz ist. Diese hat den Weg für die Einführung neuer Umwelt- und Naturschutzkonzepte geebnet. Beispielsweise erweiterte Russland in den 1990er Jahren die Fläche seiner Naturschutzgebiete in der Arktis auf etwa die Größe von Deutschland.

SCHLUSSBETRACHTUNG

Immer mehr wissenschaftliche Studien zeigen, dass der Klimawandel eine wachsende Herausforderung für die ganze Welt ist. Die ausgesuchten Fallbeispiele mögen genügen, um darauf aufmerksam zu machen, wie fortgeschritten der Klimawandel in den Polarregionen bereits ist.

Tiere und Pflanzen, die auf Eis angewiesen sind, stellen die Gruppe der größten Verlierer beim Klimawandel dar, weil sie ihre Lebensräume ohne Ausweichmöglichkeit höchstwahrscheinlich verlieren werden. Die indigenen Völker im Norden müssen gewaltige Umstellungen durchmachen. Ansiedlungen an der Küste sind gefährdet, da das Meer aufgrund des Meeresspiegelanstieges und der sich durch zunehmende Stürme verstärkenden Küstenerosion auf dem Vormarsch ist. Der Schutz der Küste durch das Meereis und den Permafrost nimmt immer mehr ab.

Der Rückgang des Meereises im Nordpolarmeer wird neue Schiffsrouten und Erschließungen anderer Gebiete möglich machen. Gleichzeitig werden jedoch die Risiken von Schiffsunfällen und Ölverschmutzung in der sensiblen arktischen Region zunehmen. In diesem Zusammenhang soll das Öltankerunglück der Exxon Valdez in Alaska erwähnt werden. Infolge dieses Unfalls starben mindestens 250.000 Vögel, Robben, Wale u.a., viele Fischfanggründe mussten aufgegeben werden und das Leben im Meer leidet heute immer noch. Möglicher Gewinner der Erwärmung der Arktis kann die Landwirtschaft werden, die nach Norden ausgedehnt werden könnte.

Klimaveränderungen früherer Zeiten erfolgten, als die Erde kaum oder gar nicht besiedelt war. Für kleine Gruppen von Menschen – damals nicht sesshaft – war es relativ leicht, klimatisch ungünstigen Regionen auszuweichen. Tiere konnten lebensfeindliche Gebiete ungehindert verlassen. Dies ist heutzutage aufgrund der Präsenz des Menschen und der zugehörigen Infrastruktur (Siedlungen, Straßen, etc.) nicht ohne weiteres möglich.

Wir plädieren für mehr Klimaschutz durch Verringerung der Treibhausgasemissionen, um die Folgen des Klimawandels möglichst abzuschwächen, da die Wahrscheinlichkeit für gefährliche Veränderungen bei beschleunigter Erwärmung stark zunimmt. Ferner sind Maßnahmen zur Anpassung an den rasanten Klimawandel dringend notwendig, da er sich auch bei Klimaschutz noch lange fortsetzen wird.

José L. Lozán • Hartmut Graßl • Peter Hupfer
Hans-W. Hubberten • Ludwig Karbe • Dieter Piepenburg (Hrsg.)

Warnsignale aus den Polarregionen

Wissenschaftliche Fakten

ISBN 3-9809668-1-X
(2006) 352 Seiten mit 218 Abbildungen • 21 Tabellen • 8 Tafeln • Broschiert • EUR 35,-*

José L. Lozán • Hartmut Graßl • Peter Hupfer
Lucas Menzel • Christian-D. Schönwiese (Hrsg.)

Warnsignal Klima: *Genug Wasser für alle?*

Wissenschaftliche Fakten

ISBN 3-9809668-0-1
(2005) 400 Seiten mit 160 Abbildungen • 71 Tabellen • 15 Tafeln • Broschiert • EUR 35,-*

Das Wasser hat eine zentrale Bedeutung nicht nur für den Menschen, sondern insgesamt für die ganze Umwelt. Das Wasser prägt die Landschaft und bestimmt entscheidend den Charakter der Flora und Fauna. Durch zu viel, zu wenig oder schlechtes Wasser ist der Mensch bedroht.

Die Wasserversorgung entwickelt sich in vielen Regionen der Welt zu einem gravierenden Problem. Krankheiten aufgrund von hygienischen Problemen und Missernten wegen Wassermangel nehmen zu. Bereits heute hat ein Fünftel der Weltbevölkerung keinen sicheren Zugang zu Trinkwasser. Das Problem der Wasserversorgung wird sich in der nächsten Zukunft weltweit stark verschärfen und droht bald das Problem Nr. 1 der Menschheit zu werden. Es ist Aufgabe der Politik, das Menschenrecht auf genügend Wasser zu sichern. Mit dem Klimawandel werden extreme Wettersituationen – Hochwasser und Überschwemmungen sowie trockene Perioden – häufiger. Viele dieser Probleme werden schwerwiegende Folgen auch in Europa haben.

Von rund 120 Wissenschaftlern aus führenden Institutionen in Deutschland, Österreich, Russland, Schweiz und Schweden werden Vorgänge rund um das Wasser und die Wasserversorgung aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet. Wissenschaftler informieren die Öffentlichkeit fundiert, allgemeinverständlich und kritisch über das Thema Wasser. Das Buch wendet sich an einen großen Interessentenkreis, nämlich an alle, die daran interessiert sind, das Wasser für kommende Generationen zu sichern.

Buchreihe Warnsignale (http://www.rrz.uni-hamburg.de/Warnsignale)

☐ **Warnsignale aus den Polarregionen** (2006) • 352 Seiten • EUR35,-*
Hrsg.: José L. Lozán / Hartmut Graßl / Hans-W. Hubberten / Peter Hupfer / Dieter Piepenburg

☐ **Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle?** (2005) • 400 Seiten • EUR35,-*
Hrsg.: José L. Lozán / Hartmut Graßl / Peter Hupfer

☐ **Warnsignale aus Nordsee & Wattenmeer** (2003) • 448 Seiten • EUR25,-*
Hrsg.: José L. Lozán / Eike Rachor / Karsten Reise / Jürgen Sündermann / Hein v. Westernhagen

☐ **Warnsignal Klima (Climate of the 21st.Century: Risks and Changes)** (2001) • 448 Seiten • EUR 30,-*
Hrsg.: José L. Lozán / Hartmut Graßl / Peter Hupfer

Warnsignal Klima (1998) • 464 Seiten (vergriffen)
Hrsg.: José L. Lozán / Hartmut Graßl / Peter Hupfer
Warnsignale aus der Ostsee (1996) • 385 Seiten (vergriffen)
Hrsg.: José L. Lozán / Reinhard Lampe / Wolfgang Matthäus / Eike Rachor / Heye Rumohr
Warnsignale aus Flüssen und Ästuaren (1996) • 390 Seiten (vergriffen)
Hrsg.: José L. Lozán / Hartmut Kausch
Warnsignale aus dem Wattenmeer (1994) • 387 Seiten (vergriffen)
Hrsg.: José L. Lozán / Eike Rachor / Karsten Reise /Hein v. Westernhagen / Walter Lenz
Warnsignale aus der Nordsee (1990) • 432 Seiten (vergriffen)
Hrsg: José L. Lozán / Eike Rachor / Burkard Watermann / Hein v. Westernhagen / Walter Lenz

Direkte Bestellung: Büro: Wissenschaftliche Auswertungen
Imbekstieg 12 • D-22527 Hamburg
Tel. 040-4304038 E-Mail: jLLozan@t-online.de
Fax 040-428386696 Fax 040-54765097

*manchmal beschädigte Exemplare vorhanden

WISSENSCHAFTLER INFORMIEREN DIREKT

Mit freundlicher Unterstützung von:

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

Forschungszentrum Jülich
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Alfred-Wegener-Institut für
Polar- und Meeresforschung

P I K
Potsdam-Institut für
Klimafolgenforschung

Norddeutsche Stiftung
für Umwelt und Entwicklung

Deutsche Gesellschaft
für Meeresforschung

Gesellschaft zum Schutz der Meeressäugetiere e.V.

Westfälische
Wilhelms-Universität
Münster

Freie Universität Berlin
Institut für Meteorologie

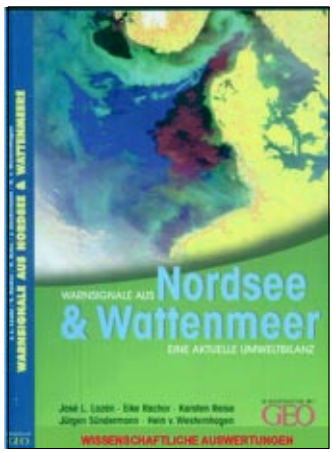
DEEPWAVE

Institut für Polarökologie Kiel

BINGO! Die Umwelt Lotterie

ZMAW
Zentrum für Marine
und Atmosphärische
Wissenschaften, Hamburg

Max-Planck-Institut
für Meteorologie,
Hamburg

UHH
Universität Hamburg

Weitere Bücher (siehe Seite 19)