

APuZ

Aus Politik und Zeitgeschichte

47/2007 · 19. November 2007



Klimawandel

Sven Plöger

Wetter und Klima

Stefan Rahmstorf

Klimawandel – einige Fakten

Claudia Kemfert

Ökonomische Folgen des Klimawandels

Steffen Bauer · Carmen Richerzhagen

Nachholende Entwicklung und Klimawandel

Dirk Notz

Arktis und Antarktis

Hans von Storch · Nico Stehr

Anpassung an den Klimawandel

Arktis und Antarktis im Klimawandel

September 1912, Nordküste Spitzbergens: „Wie in einer Mausefalle sitzen wir hier; in der Bucht ein Spielraum freien Wassers, die Ausfahrt aber durch Eis blockiert. (...) Während ich dieses schreibe, mahlen die Eisschollen an den Schiffswänden, und alle Augenblicke gibt es einen Stoß aus dieser oder jener Richtung.“¹

Dirk Notz 95 Jahre später, gleiche Jahreszeit, gleicher Ort: von Eis weit und breit keine Spur. Nur offenes Wasser, leise schwappende Wellen, leichter Regen. Am 16. September 2007 endete in der Arktis eine Schmelzsaison, in deren Verlauf die Ausdehnung des Meereises auf 4,3 Millionen Quadratkilometer zurückging – knapp halb so viel Eis wie noch in den 1950er Jahren und etwa 1,4 Millionen Quadratkilometer weniger als im Vorjahr. Eine solche Abnahme des Meereises um das Vierfache der Fläche Deutschlands innerhalb eines Jahres tritt selbst in den pessimistischsten Modellberechnungen für den Weltklimareport nicht auf.² Die „New York Times“ berichtete daraufhin, dass der Arktische Ozean möglicherweise schon im Sommer 2013 eisfrei sein könnte. In Deutschland rückte die Frage in den Mittelpunkt, ob Knuts Anverwandte in freier Wildbahn eine Überlebenschance hätten.³

Inwiefern sind solche Prognosen Panikmache, was ist wissenschaftlich abgesichert? Welchen Einfluss hat der Mensch auf die Verschiebungen im arktischen Klimasystem, welche geopolitischen, ökologischen und humanitären Auswirkungen könnten sie haben? Und warum sind die Veränderungen in hohen

Breiten auch für uns in Mitteleuropa von einschneidender Bedeutung?

Diese Fragen sollen hier näher diskutiert werden.⁴ Zunächst muss die Rolle der Polargebiete im Klimasystem der Erde näher beleuchtet werden. Diese sind für das Klimageschehen auf unserem Planeten von weitaus größerer Bedeutung, als es ihre abgeschiedene Lage vermuten lässt: Der Zyklus von Eiszeiten wird mit großer Wahrscheinlichkeit von Klimaprozessen in Polargebieten gravierend beeinflusst, die Höhe des Meeresspiegels ist direkt an die Menge des im polaren Landeis gebundenen Süßwassers gekoppelt, einige der wichtigsten Steuermechanismen der globalen Ozeanzirkulation liegen in hohen Breiten. Die Polargebiete bilden eine Art Frühwarnsystem des Erdklimas, ein Klimawandel führt hier deutlich früher und stärker zu Veränderungen als etwa in gemäßigten Breiten oder in den Tropen.

Hierfür sind in erster Linie eine Reihe von Mechanismen verantwortlich, durch die Veränderungen im polaren Klimasystem den Klimawandel verstärken (positive Rückkopplung) oder abschwächen (negative Rückkopplung). Einige dieser Rückkopplungsmechanismen sind nach wie vor kaum verstanden, was als Hauptursache dafür gilt, dass Klimaänderungen in Polargebieten äußerst schwer vorherzusagen sind und zurzeit teilweise weitaus schneller ablaufen als von Klimamodellen prognostiziert – mit möglicherweise globalen Auswirkungen.⁵

¹ Christopher Rave, Tagebuch von der verunglückten Expedition Schröder-Stranz, Köln am Rhein o. J. (um 1913).

² Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2007: The Physical Science Basis, hrsg. von Susan Solomon u. a., Cambridge–New York 2007.

³ Vgl. Andrew C. Revkin, Arctic Melt Unnerves the Experts, in: New York Times vom 2. 10. 2007; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Ohne Eis kein Eisbär, Berlin 2007.

⁴ Aus Platzgründen können hier viele wichtige Punkte nur angerissen werden; vgl. insbes. Arctic Climate Impact Assessment (ACIA), Impacts of a Warming Arctic, Cambridge 2004, www.acia.uaf.edu; dt.: Der Arktis-Klima-Report, Hamburg 2005; United Nations Environment Programme (UNEP), Global Outlook for Ice & Snow, Nairobi 2007, www.unep.org/geo/geo_ice.

⁵ Vgl. Julienne Stroeve/Marika M. Holland/Walt Meier/Ted Scambos/Mark Serreze, Arctic sea ice decline: Faster than forecast, in: Geophysical Research

Anstieg des Meeresspiegels

Wohl am augenscheinlichsten dürfte der Einfluss der Polargebiete auf die Höhe des Meeresspiegels sein. Während der letzten Eiszeit vor knapp 10 000 Jahren war weitaus mehr Wasser in Form von Gletschern an Land gebunden als heute, so dass der Meeresspiegel um etwa 120 Meter unter dem heutigen Niveau lag. Der Rückzug dieser Gletscher durch die rasche Erwärmung der hohen Breiten zum Ende der Eiszeit führte zu einem Anstieg des Meeresspiegels von ein bis vier Zentimetern pro Jahr, der vor knapp 2000 Jahren weitestgehend abgeschlossen war.¹⁶ Der Anstieg des Meeresspiegels von knapp 18 Zentimetern im 20. Jahrhundert, der etwa zehnmals so schnell verlief wie in den Jahrhunderten zuvor, ist dagegen vor allem durch die Erwärmung der Ozeane und die damit zusammenhängende Ausdehnung des Meerwassers verursacht worden; der Beitrag von schmelzendem Gletscher- und Inlandeis war bisher wahrscheinlich relativ gering.¹⁷

Ob dies auch in Zukunft so bleibt, hängt vor allem von der Entwicklung des grönländischen und des antarktischen Inlandeises ab: Ein vollständiges Abschmelzen Grönlands würde den Meeresspiegel um sieben Meter ansteigen lassen, ein Abschmelzen des antarktischen Inlandeises gar um 57 Meter. Für eine Abschätzung des zukünftigen Meeresspiegelanstiegs ist die Entwicklung dieser beiden größten Eismassen der Erde daher von zentraler Bedeutung. Diese lässt sich allerdings bisher aufgrund hoch komplexer Wechselwirkungen nur äußerst ungenau abschätzen: Auf Grönland fließt im Sommer Schmelzwasser durch Spalten und Risse unter das Eis und führt zu einer Aufweichung des Bodens, auf dem der Eisschild ruht. Dieses Aufweichen führt dazu, dass sich die grönländischen Gletscher in Zukunft möglicherweise schneller als bisher vom Landesinnern aus in Richtung Meer bewegen und dabei signifikant zu

Letters, 34 (2007), L09501, doi:10.1029/2007GL029703.

¹⁶ Vgl. IPCC (Anm. 2).

¹⁷ Der gemessene Meeresspiegelanstieg verläuft jedoch schneller, als es die gemessene globale Bilanz der thermischen Ausdehnung des Meerwassers und des Abschmelzens von Gletschern ergibt. Der tatsächliche Beitrag der verschiedenen Ursachen des Meeresspiegelanstiegs im 20. Jahrhundert ist zurzeit noch unklar. Vgl. ebd.

einem Anstieg des Meeresspiegels beitragen.¹⁸ Das Schmelzwasser, das an der Eisoberfläche bleibt, sammelt sich in Schmelztümpeln, die sich durch die einfallende Sonnenstrahlung aufheizen und dadurch das Abschmelzen des umliegenden Eises beschleunigen. Diese Prozesse sind Beispiele für eine positive Rückkopplung: Je schneller das Eis schmilzt, umso mehr Schmelzwasser entsteht, was wiederum das Abschmelzen des verbleibenden Eises beschleunigt.

Ozeanzirkulation

Ein möglicher Rückgang der polaren Eiskappen hat nicht nur einen Einfluss auf den Meeresspiegel, sondern könnte auch die globale Ozeanzirkulation nachhaltig beeinflussen. Zum Beispiel profitiert Europa heutzutage davon, dass im Ozean mit dem nördlichen Ausläufer des Golfstroms, dem sogenannten Nordatlantikstrom, große Mengen Wärme vom Äquator in Richtung Europa transportiert werden. Dieser Wärmetransport trägt dazu bei, dass es in Westeuropa deutlich wärmer ist als auf dem gleichen Breitengrad an der Westküste Nordamerikas.

Angetrieben wird der Nordatlantikstrom unter anderem durch das Absinken von Wassermassen vor der Ostküste Grönlands: Hier hat sich das Ozeanwasser durch seinen Kontakt mit der kalten Atmosphäre so stark abgekühlt, dass es schwerer wird als das darunterliegende Wasser und wie in einem gigantischen Fahrstuhl in die Tiefe fällt, um sich anschließend in der Nähe des Ozeanbodens zurück in Richtung Süden zu bewegen. Durch diese Absinkbewegung wird an der Oberfläche Wasser aus Richtung Süden „nachgesaugt“, was die heutige Stärke des Nordatlantikstroms erklärt.

Falls durch ein zunehmendes Schmelzen grönländischer Gletscher oder durch einen verstärkten Export von Meereis aus der Arktis erhebliche Mengen Süßwassers in die Absinkregion östlich Grönlands gelangen sollten, würde die Mischung aus diesem Süßwasser und dem Wasser des Nordatlantikstroms möglicherweise so leicht werden, dass sie weniger effektiv absinken kann als das heutige

¹⁸ Vgl. H. Jay Zwally u. a., Surface Melt-Induced Acceleration of Greenland Ice-Sheet Flow, in: Science, 297 (2002) 5579, S. 218–222.

Wasser des Nordatlantikstroms. Hierdurch würde die „Pumpe“, die heute den Nordatlantikstrom antreibt, geschwächt werden. Ob der Nordatlantikstrom in den vergangenen Jahrzehnten bereits schwächer geworden ist, lässt sich aufgrund seiner starken natürlichen Schwankungen bisher nicht eindeutig feststellen. Für das 21. Jahrhundert sagen Klimamodelle voraus, dass aufgrund der oben beschriebenen Prozesse die vom Nordatlantikstrom transportierte Wasser- und Wärmemenge abnehmen wird.⁹ Obwohl eine solche Abschwächung isoliert betrachtet zu einer Abkühlung Europas führen würde, ist die gleichzeitig stattfindende globale Erwärmung aller Voraussicht nach stärker, so dass auch im Einflussbereich des Nordatlantikstroms mit steigenden Temperaturen zu rechnen ist. Die Hoffnung, dass eine Abschwächung des Nordatlantikstroms zu sinkenden Temperaturen führen und damit ein Abschmelzen Grönlands verhindert würde, ist ein wenig wahrscheinliches Szenario.

Ausschließlich in Polargebieten kann Ozeanwasser durch Kontakt mit der kalten Atmosphäre so stark abgekühlt werden, dass es schwer genug wird, um bis auf den Ozeanboden abzusinken. Bei diesem großräumigen Absinken, das für die globale Ozeanzirkulation von zentraler Bedeutung ist, wird nicht nur Wasser in die Tiefsee hinabtransportiert, sondern auch im Wasser gelöstes Kohlendioxid: Etwa die Hälfte des vom Menschen emittierten CO₂ wird zurzeit noch von den Ozeanen aufgenommen. Die absinkenden Wassermassen transportieren einen Teil des gelösten Gases in die Tiefen der Ozeane, wo es einerseits keine unmittelbare Treibhauswirkung mehr entfalten kann, andererseits aber zur Versauerung der Ozeane beiträgt. Sollte sich die Absinkbewegung des Meerwassers in den Polargebieten abschwächen, würde künftig auch weniger Kohlendioxid aus der Atmosphäre in die Ozeane abgegeben werden können. Hierdurch würde sich der Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration beschleunigen.¹⁰

⁹ Ein kompletter Zusammenbruch des Nordatlantikstroms (ungenauerweise oft als „Zusammenbruch des Golfstroms“ bezeichnet) ist in absehbarer Zeit allerdings nicht zu erwarten. Vgl. Johann H. Jungclaus u. a., Will Greenland melting halt the thermohaline circulation?, in: *Geophysical Research Letters*, 33 (2006) L17708, doi: 10.1029/2006GL026815.

Diesem Effekt läuft zumindest teilweise die Tatsache entgegen, dass ein Rückgang von Meereis zu einer größeren Fläche offenen Wassers im Arktischen Ozean führen würde, welche Kohlendioxid aus der Atmosphäre aufnehmen könnte. Welcher dieser beiden Effekte in einem wärmeren Klima kurzfristig von größerer Bedeutung sein wird, ist strittig. Langfristig wird aufgrund einer einsetzenden Sättigung und Erwärmung des Wassers die Aufnahme von CO₂ durch die Ozeane in Polargebieten wahrscheinlich eher abnehmen – ein weiteres Beispiel für eine den Klimawandel verstärkende „positive Rückkopplung“.

Eis-Albedo-Rückkopplung

Ein weiterer positiver Rückkopplungseffekt im Klimasystem der Polargebiete ist die Eis-Albedo-Rückkopplung, wobei Albedo am einfachsten mit „Reflektionsvermögen“ übersetzt werden kann. Eis und Schnee reflektieren wie gigantische Spiegel teilweise über 90 Prozent der einfallenden Sonnenstrahlung – eine Tatsache, die jeder kennt, der schon einmal an einem sonnigen Tag ohne Sonnenbrille Skilaufen war. Ein Großteil der reflektierten Strahlung wird direkt ins Weltall abgegeben, führt also zu einer Abkühlung. Sobald sich die von Meereis bedeckte Fläche verringert, verringert sich auch die Fläche dieses „Sonnenlichtspiegels“: Offenes Wasser nimmt den weitaus größten Teil des einfallenden Sonnenlichtes auf, erwärmt sich dadurch und trägt seinerseits zu einer weiteren Verkleinerung der Meereisfläche bei. Hierdurch wird der „Spiegel“ noch kleiner – es kommt zu einer positiven Rückkopplung. Verlangsamt wird dieser Prozess dadurch, dass sich über dem offenen Wasser vermehrt Wolken bilden, die ihrerseits einen Großteil der einfallenden Sonnenstrahlung reflektieren können. Andererseits führt jedoch das Vorhandensein der Wolken dazu, dass die darunterliegende Ozean- oder Eisfläche weit weniger Wärme an die Atmosphäre abgeben kann, als dies bei klarem Himmel der Fall wäre. Diese komplexen Wechselwirkungsmechanismen realistisch nachzubilden, stellt derzeit eine der größten Herausforderungen bei der Prognose der Klimaentwicklung dar.

¹⁰ Für den globalen Transport von CO₂ in die Tiefen der Ozeane ist allerdings vor allem das Herabrieseln von gebundenem Kohlenstoff aus tierischen Ausscheidungen und totem organischen Material auf den Ozeanboden verantwortlich („biologische Pumpe“).

Auch an Land führt ein Rückgang der von Schnee oder Gletschereis bedeckten Flächen zu einer positiven Rückkopplung, da das freier werdende Land die Sonnenstrahlung effektiv aufnehmen und durch seine Erwärmung zum weiteren Rückgang der Schnee- oder Eisfläche beitragen kann. Daher rührt auch die Befürchtung, dass sich bei Überschreiten eines kritischen Limits eisfreier Landfläche in Grönland das weitere Abschmelzen des Inlandeises kaum noch stoppen lässt: Eine möglicherweise nur kurze Erwärmungsphase könnte daher ausreichen, um einen über Jahrhunderte ablaufenden Abschmelzprozess des Inlandeises unwiderruflich in Gang zu bringen.

Permafrost und Landvegetation

Die nicht unter Eis liegenden Landflächen der Polarregionen spielen ebenfalls eine wichtige Rolle im Klimasystem der Erde, und auch hier können Veränderungen zu Rückkopplungseffekten mit globalen Auswirkungen führen. In den Dauerfrostböden der arktischen Landflächen sind gewaltige Mengen an Kohlenstoff gebunden. Schon heute taut die oberste Schicht dieser Böden im Sommer auf, wobei der gebundene Kohlenstoff teilweise in Form von Methan und Kohlendioxid freigesetzt wird. Für die Zukunft wird durch die globale Erwärmung eine Zunahme der Schmelztiefe und damit ein Rückgang der Dauerfrostböden in der Arktis erwartet. Durch die Freisetzung des heute noch in diesen Böden gebundenen Kohlenstoffs wird die Treibhausgaskonzentration der Atmosphäre zusätzlich ansteigen, was wegen der hierdurch verursachten stärkeren Erwärmung zu einem weiteren Rückgang des Permafrostes führen könnte – wiederum eine positive Rückkopplung. In den vergangenen dreißig Jahren ist eine arktisweite Erwärmung der Permafrostböden von etwa ein bis zwei Grad Celsius in 20 Metern Tiefe gemessen worden.¹¹

Auch in der arktischen Landvegetation sind erhebliche Veränderungen beobachtet worden. So zeigen Satellitenmessungen, dass die Tundravegetation in Nordamerika in den vergangenen zwei Jahrzehnten „grüner“ geworden ist, was auf eine stärkere Ausbreitung

¹¹ Vgl. Jackie Richter-Menge u. a., State of the Arctic Report, NOAA OAR Special Report, NOAA/OAR/PMEL, Seattle 2006.

von Buschwerk hindeutet. Demgegenüber sind die nördlichen Wälder, die nach der großräumigen Zerstörung der tropischen Regenwälder als das größte natürliche Waldgebiet der Erde gelten, in Amerika vor allem in den vergangenen zehn Jahren weniger grün gewesen als zuvor. Dies deutet auf Stress der Bäume durch zunehmende Trockenheit und Waldbrände hin.¹²

In einem wärmeren Klima wird sich der boreale (nördliche) Wald vermutlich weiter nach Norden ausbreiten und dabei atmosphärischen Kohlenstoff binden. Dies stellt einen abschwächenden „negativen Rückkopplungseffekt“ dar, durch den die Klimaerwärmung möglicherweise verlangsamt werden könnte. Allerdings zeigen neuere Modellrechnungen, dass durch die Verdunklung der Landoberfläche, die die Ausbreitung der Wälder verursachen würde, so viel Sonnenlicht zusätzlich absorbiert würde, dass der Nettoeffekt zunehmender Waldflächen im hohen Norden eine stärkere Erwärmung des Erdklimas wäre. Darüber hinaus wird sich die Waldbrandgefahr in der Arktis in den nächsten Jahrzehnten in manchen Regionen möglicherweise mehr als verdoppeln, was die Freisetzung erheblicher Mengen von Kohlendioxid verursachen könnte.

Konsequenzen über den Klimawandel hinaus

Diese Beschreibungen lassen erahnen, wie komplex das polare Klimasystem aufgebaut ist und wie schwierig sich eine zuverlässige Prognose seiner Entwicklung gestaltet. Fest steht: Die zu erwartenden Verschiebungen im arktischen Klimasystem werden weit über den Klimawandel hinaus zu Konsequenzen führen. Der Rückgang des Meereises führt zu offenem Wasser in Ozeanregionen, in denen umfangreiche Bodenschätze vermutet werden. Wegen der oft recht geringen Wassertiefe ist deren Ausbeutung technisch machbar, so dass sich die Frage nach den jeweiligen Besitzrechten stellt. Mit dem unterseeischen Absetzen einer Nationalflagge am Nordpol hat Russland seine Ansprüche auf die Region zwischen dem Nordpol und Sibirien im Au-

¹² Die „Grünheit“ einer Landoberfläche wird durch den Normalisierten Differenzvegetationsindex (NDVI) beschrieben, der sich aus Satellitenmessungen ableiten lässt; vgl. J. Richter-Menge u. a. (ebd.).

gust 2007 bereits öffentlichkeitswirksam angemeldet. Auch die anderen Arktisanrainer versuchen, sich Gebiete des Arktischen Ozeans zu sichern, die bisher aufgrund der überwiegenden Eisbedeckung nur von geringem wirtschaftlichen oder geopolitischen Interesse waren. Hier ist in Zukunft reichlich diplomatischer Zündstoff zu erwarten. Dies gilt auch für die wahrscheinlich in Zukunft anstehende regelmäßige Nutzung der Nordost- und Nordwestpassage, die den Seeweg von Europa nach Asien jeweils um mehrere tausend Seemeilen verkürzt. Dabei wird zu klären sein, ob die Schifffahrtswege in internationalen Gewässern verlaufen oder ob die Anrainerstaaten aus der Durchfahrt Kapital schlagen können, falls die Fahrtstrecken ihren jeweiligen Hoheitsgewässern zugeschlagen würden.

Von Umweltschützern wird der bevorstehende Zuwachs an Schiffsverkehr in der Arktis mit Sorge beobachtet, da Ölunfälle in hohen Breiten sehr viel weitreichendere Folgen haben können als in wärmeren Gebieten. Selbst 14 Jahre nach dem Unfall des Öltankers „Exxon-Valdez“ vor Alaska fanden Wissenschaftler an den betroffenen Stränden noch erhebliche Mengen Öl, das nach wie vor eine Bedrohung für dort lebende Tiere darstellt.¹³ Bei einem Unfall in Packeisnähe werden erhebliche Mengen Öl in das Meereis eingelagert und mit der Eisdrift in weit entfernte Gebiete transportiert. Auch die Luftverschmutzung in der Arktis wird durch den Schiffsverkehr voraussichtlich stark zunehmen.¹⁴

Der Rückgang des Meereises beeinflusst nachhaltig viele der in der Arktis lebenden indigenen Völker. Diese sind auf das Vorhandensein von Meereis angewiesen, um ihren traditionellen Lebensstil und damit ihre kulturelle Identität erhalten zu können. Bei einem Rückgang der traditionellen Jagdgebiete auf dem Meereis könnten die Inuit in Zukunft verstärkt auf Fischfang setzen und sich damit auch in einem wärmeren Klima eine gewisse Unabhängigkeit erhalten. Der Grad

¹³ Vgl. Charles H. Peterson u. a., Long-Term Ecosystem Response to the Exxon Valdez Oil Spill, in: *Science*, 302 (2003) 5653, S. 2082–2086.

¹⁴ Vgl. Claire Granier u. a., Ozone pollution from future ship traffic in the Arctic northern passages, in: *Geophysical Research Letters*, 33 (2006) L13807, doi:10.1029/2006GL026180.

der Anpassungsfähigkeit hängt aber stark von der Geschwindigkeit ab, mit der mögliche Veränderungen eintreten werden. Dies gilt auch für die Überlebenschancen von Tierarten wie Ringelrobbe und Eisbär, deren Lebenszyklus an das Vorhandensein von Meereis angepasst ist. Bei der derzeitigen Geschwindigkeit des arktischen Klimawandels scheint es zweifelhaft, ob diese Tierarten ihr Verhalten schnell genug ändern können, um in einer im Sommer eisfreien Arktis überleben zu können.

Einordnung der jüngsten Veränderungen

Seit 1990 liegt die durchschnittliche Temperatur der Arktis, mit steigendem Trend, immer über dem Temperaturmittelwert des letzten Jahrhunderts. Im Jahre 2005 lag die mittlere Temperatur der Arktis um zwei Grad Celsius über dem langfristigen Mittelwert, die beobachtete Erwärmung der Arktis in den vergangenen Jahrzehnten lag etwa um den Faktor zwei höher als die gemessene globale Erwärmung. Im Zusammenhang mit solchen Trends stellt sich die Frage, inwiefern sie vom Menschen verursacht sind, da zum Beispiel auch um 1940 die Temperaturen in der Arktis um 1,5 Grad über der Mitteltemperatur des 20. Jahrhunderts lagen.

Eine genaue Analyse ergibt große qualitative Unterschiede zwischen dieser früheren und der heutigen Wärmeperiode. Die Erwärmung zur Mitte des vergangenen Jahrhunderts hatte einen sehr viel regionaleren Charakter als die heutige, die die gesamte Arktis betrifft. Klimasimulationen deuten stark darauf hin, dass die Erwärmungsperiode in den 1930er und 1940er Jahren in erster Linie durch natürliche Veränderungen der Solareinstrahlung hervorgerufen worden sind. Im Gegensatz dazu kann die heutige Erwärmung von Klimamodellen nur dann nachgebildet werden, wenn die vom Menschen verursachte Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen in den Berechnungen berücksichtigt wird. Für ein eher optimistisches Emissionsszenario („IPCC-B2-Szenario“) sagen Klimamodelle eine Erwärmung der Arktis um vier bis sechs Grad bis zum Ende dieses Jahrhunderts voraus, wobei für den Winter in manchen Regionen eine Erwärmung von über zehn Grad prognostiziert wird.¹⁵ Ein solcher Tempera-

¹⁵ Vgl. ACIA (Anm. 5).

turanstieg innerhalb eines Jahrhunderts liegt innerhalb der jüngeren Erdgeschichte weit jenseits von natürlichen Schwankungen.

Auch die Ausdehnung des Meereises unterliegt natürlichen Schwankungen. So beeinflussen die vorherrschenden Windsysteme stark die aus der Arktis exportierte Eismenge. Diese vorherrschenden Windsysteme werden durch den so genannten NAO-Index („North Atlantic Oscillation Index“) beschrieben. In der Vergangenheit führte ein positiverer NAO-Index zu stärkeren Stürmen in der Arktis, damit zu einem verstärkten Eisexport und abnehmender Eisausdehnung im Sommer. Seit Mitte der 1990er Jahre ist der NAO-Index weniger positiv, die Eisausdehnung ist trotzdem weiter zurückgegangen. In den vergangenen Jahren stoßen daher Versuche, den Eisrückgang mit natürlicher Variabilität zu erklären, häufig an ihre Grenzen.

Bei der Betrachtung der Überlebenschancen der Eisbären wird manchmal angemerkt, dass diese auch schon frühere Warmzeiten des Erdklimas problemlos überlebt hätten, sonst wären sie inzwischen ausgestorben. Dabei wird übersehen, dass Eisbären eine sehr junge Art sind, die sich erst vor etwa 200 000 Jahren vom Grizzly abgelöst hat. Seitdem ist die Arktis permanent von Meereis bedeckt gewesen, wie sich aus der Untersuchung von Sedimentkernen auf dem Ozeanboden feststellen lässt.¹⁶ Inwiefern der Eisbär in freier Wildbahn überleben wird, bleibt fraglich – schließlich sagen die Modellrechnungen des Weltklimareports voraus, dass sich der Rückgang des arktischen Meereises fortsetzen wird.¹⁷ Große Unsicherheit herrscht zurzeit noch bei der Abschätzung des Zeitpunktes, ab dem der Arktische Ozean im Sommer so gut wie eisfrei sein könnte. Je nach Entwicklung der zukünftigen Treibhausgasemissionen könnte dieser Zeitpunkt schon 2030 erreicht sein, bei einer Fortschreibung der diesjährigen Abnahme sogar noch deutlich früher. Konservative Modellrechnungen prognostizieren für ein „mittleres“

Emissionsszenario des Weltklimarats („IPCC-A1B-Szenario“) erst gegen Ende dieses Jahrhunderts einen im Sommer eisfreien Arktischen Ozean.

Schlussbemerkungen

Unser zunehmendes Wissen über die Funktionsweise des globalen Klimasystems deutet darauf hin, dass die Polarregionen gleichsam als Frühwarnsystem und als Klimaregler unseres Planeten angesehen werden können. Die in diesen Regionen aufgrund des Klimawandels zu erwartenden Veränderungen werden nicht nur lokale, sondern auch globale Konsequenzen haben, vor allem, weil Veränderungen in den Polarregionen erheblich zu einer Verstärkung der globalen Erwärmung und deren Folgen beitragen können.

Der Rückgang des arktischen Meereises, der schon in wenigen Jahrzehnten zu einem im Sommer praktisch eisfreien Arktischen Ozean führen könnte, wird neben gravierenden klimatischen Auswirkungen auch erhebliche Verschiebungen im arktischen Ökosystem nach sich ziehen und zahlreiche geopolitische Fragen aufwerfen. Veränderungen des grönländischen und antarktischen Inlandeises haben direkten Einfluss auf den Meeresspiegel und könnten in Zukunft signifikant zu dessen Anstieg beitragen. Auch die globale Ozeanzirkulation und damit die vom Nordatlantikstrom nach Europa transportierte Wärmemenge hängen direkt von Prozessen in hohen Breiten ab.

„Bange Zweifel lassen eine feste Zuversicht nicht aufkommen“, heißt es in dem eingangs zitierten Tagebuch. Aber vielleicht stellen sich die beobachteten erheblichen Veränderungen im arktischen Klimasystem doch noch als Glücksfall heraus: Vielleicht führen sie der Weltgemeinschaft mögliche Auswirkungen des Klimawandels so deutlich vor Augen, dass diese sich doch noch dazu durchringt, wirksame Maßnahmen zum Klimaschutz zu ergreifen. Somit bestünde auch die Chance, dass den hohen Breiten auch in Zukunft etwas von ihrer Mystik erhalten bleibt.

¹⁶ Der Arktische Ozean ist nach derartigen Analysen seit 13–14 Millionen Jahren permanent eisbedeckt. Vgl. Kathryn Moran u. a., The Cenozoic palaeoenvironment of the Arctic Ocean, in: Nature, 441 (2006), S. 601–605.

¹⁷ Vgl. IPCC (Anm. 2).