



Lufttemperatur: in der Arktis plus 1,6° C seit 1950, in Alaska und Kanada plus 3 bis 4° C

Die Pole schmelzen

*Text: Olaf Kanter
Fotos: Nick Cobbing*

*Es ist paradox.
Ausgerechnet in den kältesten
Regionen der Erde macht sich die globale
Erwärmung am stärksten bemerkbar. Die mächtigen
Eispanzer der Antarktis und Grönlands schmelzen noch
schneller, als die Forscher bisher prophezeit haben*



Eisfläche: in den letzten 30 Jahren Rückgang um 15 bis 20 Prozent – und der Schwund beschleunigt sich.

Einige Forscher sehen den vollständigen Verlust des arktischen Sommereises schon 2040

Schmelzpotenzial: Wenn Grönlands Eis (2,85 Millionen Kubikkilometer) auftaut, steigt der Meeresspiegel um

sechs Meter. Schwindet der Eisanzer der Antarktis (30 Millionen Kubikkilometer), sind es weitere 60 Meter



ELLESMERE ISLAND, KANADA. 800 Kilometer südlich des Nordpols bricht eine Schelfeisplatte von der Größe Manhattans weg, und niemand merkt es. Erst anderthalb Jahre später schaut Laurie Weir vom Eiswarndienst in Ottawa auf ein aktuelles Satellitenbild und stellt fest, dass an der Nordküste von Ellesmere Island ein riesiges Stück fehlt. Sie benachrichtigt die Eisforscher der Universität vor Ort, die sofort weitere Satellitenfotos anfordern und seismologische Aufzeichnungen aus der Region. Tatsächlich, die Erdbebensensoren zeigen für den Nachmittag des 13. August 2005 einen deutlichen Ausschlag, da trennte sich das Ayles-Eisschelf krachend vom kalten Panzer der Insel.

2005 war ein extrem warmes Jahr in dieser Region, die Lufttemperaturen lagen 3,5 Grad Celsius über dem Schnitt, und ein ungewöhnlicher Wind aus Süd schob das Sommerpackeis nach Norden. Normalerweise weht der Wind aus der entgegengesetzten Richtung, er drückt das Packeis auf die Küste und schützt das Schelfeis so vor dem offenen Wasser und seiner Wärme. So aber nagten die höheren Temperaturen auch von unten kräftig an dem rund 4000 Jahre alten Schelfeis. „Wir sind immer davon ausgegangen“, erklärt der Geograf Luke Copeland von der University of Ottawa in ersten Interviews, „dass die Folgen des Klimawandels sich graduell zeigen würden, dass diese Eisformationen langsam abschmelzen würden.“

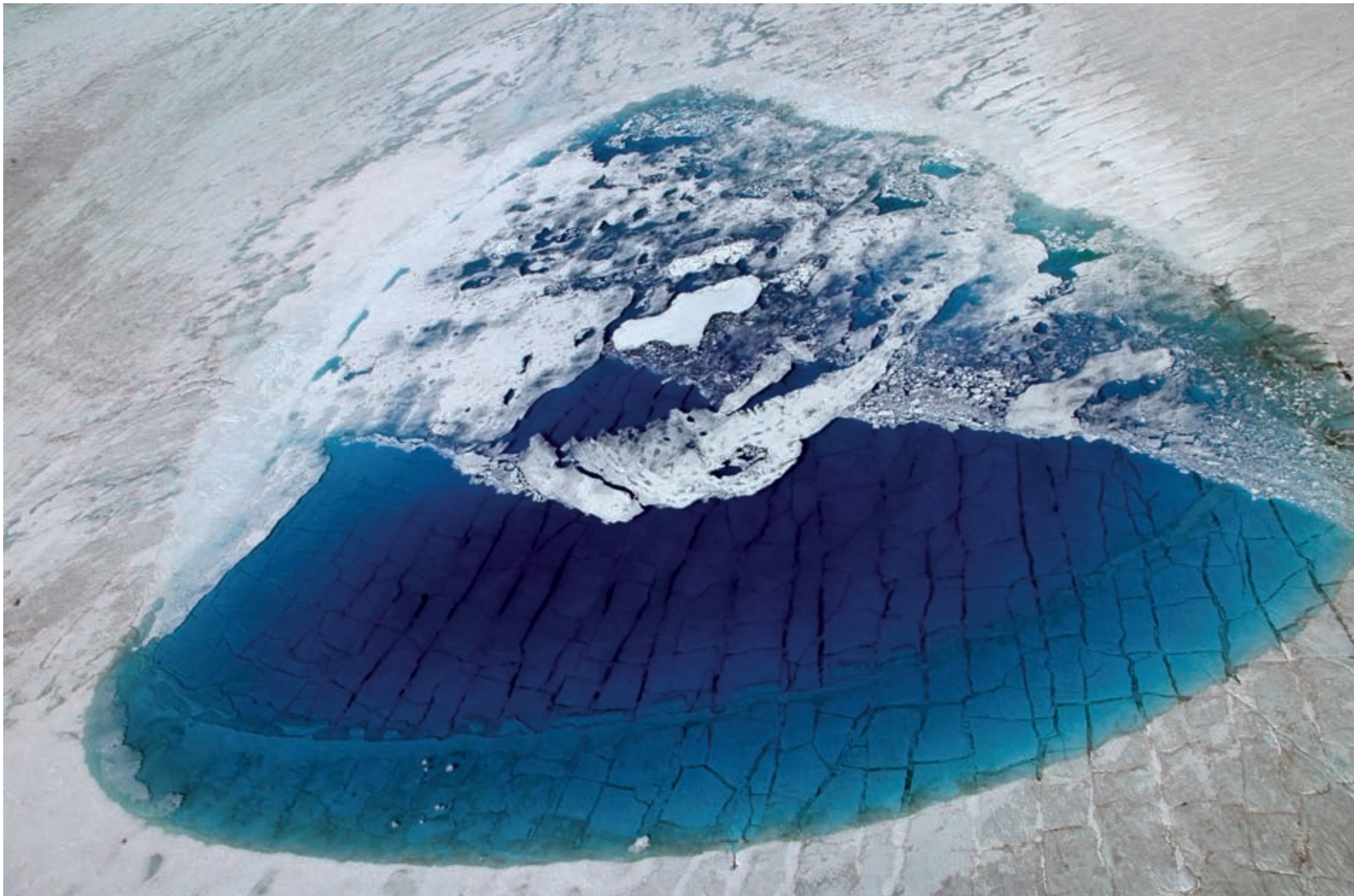
Der Polarbiologe Warwick Vincent von der Laval University in Quebec flog sofort mit dem Helikopter zur driftenden Riesenscholle und kommentierte das Ereignis geradezu entsetzt: „Das Schelfeis ist eine Besonderheit des kanadischen Nordens, die Jahrtausende Bestand hatte. Die Leute reden immerzu von bedrohten Tierarten, hier geht es um bedrohte Landschaften, und wir verlieren sie.“

Die Bestürzung der Forscher spiegelte vor allem ihre Ohnmacht wider, sie haben es nicht kommen sehen, niemand hat es kommen sehen. Denn wie die Antarktis erweist sich auch der hohe Norden, und das ist die eigentliche Lehre aus diesem Fall, immer wieder als System, das nur in den Umrissen verstanden ist. Die Polarforschung ist wenig mehr als 100 Jahre alt, es liegen kaum Daten vor, aus denen man ein Gesamtbild zusammensetzen könnte. Die



Wassertemperatur: plus 1,5°C in der Framstraße während der letzten

zehn Jahre – allein 2005 und 2006 stieg die Temperatur um 0,8°C



Grönlands Eispanzer: Die Schmelzzone hat sich von 1979 bis 2002 um 16 Prozent vergrößert. Zurzeit gehen

jedes Jahr schätzungsweise 200 Kubikkilometer Eis verloren

Vorstöße des Menschen in diese abgeschiedenen Regionen waren stets nur sporadische, es gab Entdecker, die nach neuen Seewegen suchten, und Polfahrer, die es allein auf den Punkt abgesehen hatten, wo sich die Längengrade kreuzen. Die Pioniere stießen auf Skiern in die Eiswüsten vor, sie flogen im Zeppelin zum Pol oder ließen sich mit ihren Schiffen im Packeis einfrieren. Doch nie nahmen sie mehr als eine Momentaufnahme mit. Bis heute liegen auf vielen Diagrammen und Karten, die das arktische Meer abbilden, große weiße Sektoren des Unwissens, „keine Daten verfügbar“, heißt es in der Legende.

Die Wissenslücken klaffen ausgerechnet in einem Bereich, der für die Einschätzung des Klimawandels und seiner Folgen besonders wichtig ist. Denn paradoxerweise macht sich die globale Erwärmung ausgerechnet in den kältesten Regionen der Erde am stärksten bemerkbar. Während die Oberflächentemperaturen seit den fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts im weltweiten Mittel um 0,5 Grad Celsius gestiegen sind, legten sie in der Arktis um 1,1 Grad zu, in einigen Regionen, etwa in Alaska und Westkanada, kletterte das Quecksilber gar um 3 bis 4 Grad. Ursache ist ein Aufschaukeln verschiedener Phänomene, die sich in hohen Breiten besonders stark auswirken: Schnee und Eis haben die Eigenschaft, dass sie 85 bis 90 Prozent der Sonnenstrahlen reflektieren, sie haben eine hohe Albedo, sagen die Klimaforscher dazu, ein hohes Rückstrahlvermögen. Wo die weiße Pracht schmilzt, kommen dunklere Land- und Wasserflächen zum Vorschein, die nur 20 beziehungsweise zehn Prozent der Wärmestrahlen zurück ins All lenken – und ergo mehr Sonnenenergie absorbieren. Ein Fall von positiver, also sich selbst verstärkender Rückkopplung: Weil es wärmer wird, schwinden Schnee und Eis, was es noch wärmer werden lässt. Der Effekt wird durch den Einfluss des Ozeans verschärft. Wo das Meer eis schwindet, wird mehr Wärmeenergie vom Wasser aufgenommen – und umgekehrt strahlt ein Ozean, der nicht unter einem isolierenden Eisdeckel liegt, später mehr Wärme an die Atmosphäre ab.

Grob geschätzt, ist das arktische Meer eis im Sommer seit den siebziger Jahren um 20 Prozent geschrumpft, weshalb sich die Schifffahrt schon als Gewinner der glo-

Lesen Sie bitte weiter auf Seite 25



Eisberg: Brocken, der von einem Gletscher oder Schelfeis „kalbt“. Der größte, der je beobachtet wurde,

hatte die Größe von Jamaika. Er war im März 2000 vom Ross-Schelfeis abgebrochen

**Niederschlag: Zunahme um acht Prozent im 20. Jahrhundert – die zusätzliche Menge fällt vor allem als Regen**

balen Erwärmung wähnt. Laut Berechnungen des Germanischen Lloyd ließe sich die Fahrtzeit von Rotterdam nach Yokohama auf dem Nördlichen Seeweg entlang der sibirischen Küste um ein Drittel reduzieren. Auf der gegenüberliegenden Nordwestpassage im Norden Kanadas sind bereits Kreuzfahrtschiffe unterwegs, und im vergangenen Jahr schaffte der kanadische Eisbrecher „Amundsen“ die Reise von West nach Ost noch Ende Oktober.

Auch für die Wissenschaft ist es nur eine Frage der Zeit, wann die Arktis komplett eisfrei sein wird: 2100, 2080 oder sogar bereits 2040? Die Propheten unserer Zeit interpretieren Modellrechnungen aus dem Computer, und wer nicht weiß, welche Parameter sie gerade verändert haben, kann die oft widersprüchlichen Vorhersagen nicht vergleichen oder gar bewerten. Allen Modellen gemein ist, dass sie durch einen Abgleich mit Daten aus der Wirklichkeit geeicht werden müssen. Doch wie zuverlässig sind diese Vorgaben?

Schon die beiden vordergründigsten Parameter, die Ausdehnung der Eisflächen sowie ihre Dicke, sind zurzeit nur sehr ungefähr zu bestimmen. Die Satelliten, die heute zur Verfügung stehen, können zwar akkurat die Eiskante erkennen, also die Grenze zwischen Eisdecke und offenem Wasser, aber damit haben die Forscher eine Größe gewonnen, die starken Variationen unterworfen ist. Im Mittel der letzten Jahrzehnte erstreckt sich die arktische Meereisdecke im Winter über rund 15 000 000 Quadratkilometer; im Sommer schmilzt sie auf etwa die Hälfte zusammen. In der Antarktis schwankt der Wert noch stärker, dort sind maximal 18 000 000 Quadratkilometer mit Eis bedeckt, bis zum Ende des Sommers schrumpft die Eisfläche auf 3 000 000 Quadratkilometer. An welchem Stichtag soll man messen? Wie die Jahre vergleichen? Wind und Wetter lassen das Eis in einem Jahr schneller tauen und im nächsten später gefrieren, dazu kommen Strömungen, die das Eis in Bewegung halten, hier offenes Wasser schaffen, dort Packeiswälle auftürmen.

Die Wissenschaftler behelfen sich, indem sie Spitzenwerte vergleichen, die Eisausdehnungsanomalien, wie sie es nennen. Anhand der Entwicklung von minimaler und maximaler Eisbedeckung lässt

sich dann ein Trend ablesen: Die Meereisdecke schrumpft gegenwärtig um acht Prozent im Jahrzehnt. Seit Beginn der Aufzeichnungen hat es nie so wenig Eis gegeben wie 2005.

Die Lage im Eis hat direkte Folgen für den Wärmehaushalt des Planeten insgesamt, deshalb wollten die Klimatologen eigens zur Erkundung der Polgebiete einen Satelliten in den Orbit schicken. „Cryosat“, 70 Millionen Euro teuer, sollte mit seinem Radar aus 720 Kilometer Höhe Fläche und Volumen der Eismassen erfassen. Leider stürzte der Orbiter am 8. Oktober 2005 gleich nach dem Start vom russischen Weltraumbahnhof Plesetsk ab. Für den März 2009 ist ein neuer Anlauf geplant, aber bis dahin bleibt die Bestimmung der Eisdicke auf Stichproben und Schätzungen angewiesen.

Am genauesten sind Bohrungen, aber die können nicht flächendeckend eingesetzt werden. Alternativ kann man die Dicke des Meereises von unten messen, etwa mit dem Echolot eines U-Boots. Es klingt abwegig, aber tatsächlich haben die Amerikaner während des Kalten Krieges auf Polfahrten regelmäßig geprüft, ob sie im Ernstfall auch durch das Eis auftauchen könnten. Ein Abgleich der alten Logbücher mit aktuellen Daten hat ergeben, dass die Eisdecke in der zentralen Arktis tatsächlich dünner geworden ist – wo früher 3,10 Meter gemessen wurden, stehen heute nur noch 1,80 Meter zu Buche.

Doch wer daraus gleich auf den Klimawandel schließt, bewegt sich, wie Christian Haas vom Alfred-Wegener-Institut (AWI) in Bremerhaven sagt, „auf dünnem Eis“. Der Geophysiker hat mithilfe elektromagnetischer Induktionsmessung Profile von Eisschollen angefertigt und nachgewiesen, dass Eis keineswegs gleichförmig ist, dass gerade in rauem Packeis die Dicke auf kleinstem Raum extrem variieren kann. Und was für die einzelne Scholle gilt, trifft auch für das gesamte Arktische Meer zu. „Das System ist in Bewegung, das Eis driftet mit den Strömungen“, erklärt Haas. „Deshalb ist es auch nicht dort am dicksten, wo die tiefsten Temperaturen herrschen, sondern dort, wo es vom Wind zusammengeschoben wird.“ Tatsächlich stellt er bei

Messungen nahe Ellesmere Island fest, dass die mittlere Stärke des Eises dort gegen den Trend zugenommen hat.

Was ist damit bewiesen? Vor allem, dass die Forscher dringend mehr Daten brauchen. 45 europäische Institute haben sich jetzt in einem Großprojekt zusammengetan, um die Erkundung der Arktis und der Folgen des Klimawandels im hohen Norden zu beschleunigen. Ausgeschrieben, ist der Titel des Projekts schwer verständlich: „Developing Arctic Modelling and Observing Capabilities for Long-term Environmental Studies“. Das Akronym hingegen versteht jeder sofort – Damocles. Das Bild vom Menschen, der unbedingt auf dem Thron sitzen will, obwohl über seinem Haupt ein Schwert hängt, das nur von einem Rosshaar gehalten wird, verweist auf die katastrophalen Folgen, die der Klimawandel für die Menschheit bringen kann. Nur kennt sie, um im Bild zu bleiben, weder Größe und Lage des Schwertes noch die Dicke des Rosshaars.

Das AWI hat im Verbund der Institute die Erkundung der Framstraße zwischen Grönland und Spitzbergen übernommen, die für den Austausch der Wassermassen zwischen Nordmeer und Atlantik von großer Bedeutung ist, und dort 16 Messplattformen verankert. Die Framstraße ist zwischen 400 und 2600 Meter tief, zur Auswertung der Messwerte müssen die Geräte einmal im Jahr geborgen werden, was in diesen Gewässern mit beträchtlichem Aufwand verbunden ist. Eberhard Fahrbach, beim AWI zuständig für „Messende Ozeanografie“, möchte es deshalb in diesem Jahr erstmals mit einem „Profiler“ versuchen. „Das ist eine Messboje, die an einem Draht auf- und absteigt und dabei kontinuierlich Temperatur, Salzgehalt und Dichte bestimmt. An der Oberfläche angekommen, funkt sie die Messwerte an einen Satelliten weiter.“ Und wenn Eis den Weg versperrt? „Unsere Techniker haben ihr beigebracht, knapp unterhalb der Eisdecke zu stoppen und sich die gesammelten Daten zu merken, bis das Eis so weit getaut ist, dass sie gefahrlos auftauchen und senden kann.“

Der Salzgehalt ist wie die Temperatur eine wichtige Größe im Gefüge der Arktis. Wenn sich Meereis bildet, wird der größte Teil des Salzes freigesetzt, das Wasser wird

Eisdicke: keine exakten Daten, Rückgang wird auf zehn bis 15 Prozent geschätzt, in einigen Regionen 40 Prozent

salziger und damit schwerer, es sinkt in die Tiefe. Dieser Prozess treibt zusammen mit dem Wind die weltumspannenden Meeresströme – im Jargon der Ozeanografen die „thermohaline Zirkulation“. Wenn aber das Meereis schmilzt, wird das Wasser an der Oberfläche „süßer“ und leichter. Der Effekt wird noch verstärkt durch Schmelzwasserströme vom grönländischen Eisschild – mit der möglichen Folge, dass die thermohaline Umwälzpumpe an Schwung verliert. Wenn aber der Golfstrom langsamer fließt und weniger warmes Wasser in den Norden transportiert – wirkt das nicht der Erwärmung der Arktis entgegen? Besteht da möglicherweise eine natürliche Schwingung, die den Wärmehaushalt reguliert? Wir wissen es noch nicht.

Der Klimawandel bringt Unheil allerorten, doch kein einzelner Sturm lässt sich direkt auf die Zunahme der Treibhausgase in der Atmosphäre zurückführen, die Wissenschaftler beten es wie ein Mantra immer wieder vor. Wetter ist, wenn es weht, regnet, blitzt. Klima ist der Zustand der Erdatmosphäre, und zwar im Mittel der Jahrzehnte, Statistik. Nur an einer Messgröße lässt sich die Veränderung direkt feststellen: am Pegel der Ozeane. Derzeit kommen jedes Jahr 3,1 Millimeter dazu. Steigende Fluten, versinkende Inseln, schwindende Küsten, nirgendwo sonst spüren wir die Folgen des Wandels so unmittelbar.

Als der Klimarat IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) der Vereinten Nationen Ende Januar seine neueste Fieberkurve des Planeten veröffentlichte, stand neben der Temperatur vor allem der Meeresspiegel im Blickpunkt. Bei ihrer aktuellen Prognose für das Jahr 2100 gehen die Experten von einem Temperaturanstieg zwischen bestenfalls 1,1 und schlimmstenfalls 6,2 Grad aus, wobei dem Gremium ein Anstieg um 3,0 Grad am plausibelsten erscheint. Diese höheren Temperaturen wirken dreifach auf den Meeresspiegel: Wird Wasser wärmer, dehnt es sich aus, dieser Effekt allein kann das Wasser bis Ende des Jahrhunderts um 43 Zentimeter steigen lassen. Wie viel wir zusätzlich für die Schmelze von Gletschern in den Bergen und an den Polen addieren müssen, ist

unter den Experten umstritten; der Klimarat erwartet maximal weitere 13 Zentimeter, was manchem Ozeanografen zu optimistisch erscheint. Stefan Rahmstorf vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) hat erst vor Kurzem in einem Artikel für das amerikanische Wissenschaftsmagazin „Science“ vorgerechnet, „dass der Meeresspiegel im Jahr 2100 um 50 bis 140 Zentimeter über dem Pegel von 1990 liegen wird“. Im Unterschied zu den meisten Prognosen sind seine Werte nicht das Ergebnis einer Modellrechnung am Computer; er nennt seine Methode selbst ein „halbempirisches“ Verfahren – abgeleitet aus der Beobachtung, dass in den zurückliegenden Jahren die Pegelstände proportional zur Temperatur gestiegen sind.

Eigentlich müsste jede Prognose über den Anstieg des Meeresspiegels mit dem Zusatz „ohne Gewähr“ versehen werden, denn zurzeit sieht sich keiner der Klimaforscher in der Lage, das Ausmaß beim Abschmelzen der Eisschilde einzuschätzen. Im Januar 2002 zersplitterte in der Antarktis das 3250 Quadratkilometer große Schelfeis Larsen B, und wie beim arktischen Ayles-Schelf hatte niemand auf der Rechnung, dass sich ein solcher Gigant derart rasant auflösen könnte. Larsen B und Ayles schwammen schon auf der Meeresoberfläche, ihr Verlust hat also keinen Millimeter zum Anstieg des Meeresspiegels beigetragen, aber es bleibt die Frage, warum das Eis so plötzlich schwindet.

Bis vor Kurzem haben wir uns den Schmelzprozess vorgestellt wie bei einem Eiswürfel, den man aus dem Gefrierfach holt und auf die Tischplatte setzt; gleichmäßig tropft er dahin. Aber inzwischen haben Glaziologen den Vorgang genauer untersucht. Wenn Gletschereis schmilzt, bilden sich an der Oberfläche erst kleinere Pfützen und im Lauf des Sommers ausgedehnte Schmelzwasserseen. Das Wasser sickert durch Risse ins Eis, die Spalten werden ausgehöhlt, es entstehen bis zu zehn Meter breite „moulins“. Diese Abflussröhren im Eis transportieren das Wasser – und damit auch Wärme – bis zum Felsgrund, wo es eine Schicht bildet, auf der das Eis ins Rutschen gerät. Jay Zwally vom Goddard Space Flight Center der Nasa hat auf dem grönländischen Eisschild die Zusammenhänge untersucht. Im Winter bewegt

sich der Gletscher mit 30 Zentimeter am Tag, im Sommer sind es 40 Zentimeter. „Unsere Studie konnte zeigen“, berichtet Zwally, „wie schnell das Wasser selbst durch einen 1200 Meter dicken Eispanzer sickert und das Eis schneller rutschen lässt.“ Die größte Beschleunigung stellten die Glaziologen Gordon Hamilton und Leigh Stearns von der University of Maine an Grönlands Kangerdlugssuaq-Gletscher fest, der sein Tempo seit 1996 verdreifacht hat. Er schiebt jetzt mit 14 Kilometern per annum in Richtung Meer. Und das heißt: mehr Eisberge, mehr Süßwasser im Meer.

Zum Ende des Sommers entfalten dann die Spalten, randvoll mit Schmelzwasser, ihr zerstörerisches Werk. Das Wasser gefriert, die Spalten nehmen an Volumen zu und sprengen das Eis wie Keile, die in einen Baumstamm getrieben werden. Ted Scambos vom National Snow and Ice Data Center in Boulder, Colorado, ist überzeugt, dass solche Zersetzungsprozesse selbst Giganten wie Ayles oder Larsen B zerstören können. Eisblöcke müssen gar nicht erst durch und durch erwärmt werden, bis sie kollabieren. „Auch Schelfeis, das wir bis vor Kurzem für stabil gehalten haben, kann anfällig für diese Prozesse sein.“

Was halten wir als Fazit fest? Die Erwärmung durch den Treibhauseffekt lässt das Eis an den Polen schmelzen – und zwar schneller, als wir bisher befürchtet haben. Keine der Prognosen, die momentan am Markt der Sensationen gehandelt werden, kann die Prozesse im Eis so berücksichtigen, dass wir daraus den künftigen Anstieg des Meeresspiegels zuverlässig ablesen können. „Unser Wissen über die physischen Zusammenhänge ist unvollständig“, sagt Ozeanograf Stefan Rahmstorf, „die Ungenauigkeit unserer Vorhersagen ist größer, als wir annehmen.“

Gerade meldet der britische Wetterdienst: 2007 bringt den nächsten Wärmerekord. ☼

Olaf Kanter, Jahrgang 1962, ist mare-Redakteur für Wissenschaft. Nick Cobbing, geboren 1967, begleitete Glaziologen auf einer Greenpeace-Expedition nach Grönland und lernte, wie wenig wir tatsächlich wissen. „Meine Bilder sollen genau dieses Rätselhafte der Natur zeigen. Sie sollen beim Betrachter Ehrfurcht auslösen, Respekt.“