



KLIMA



Im Süden nichts Neues

Klaus Jacob

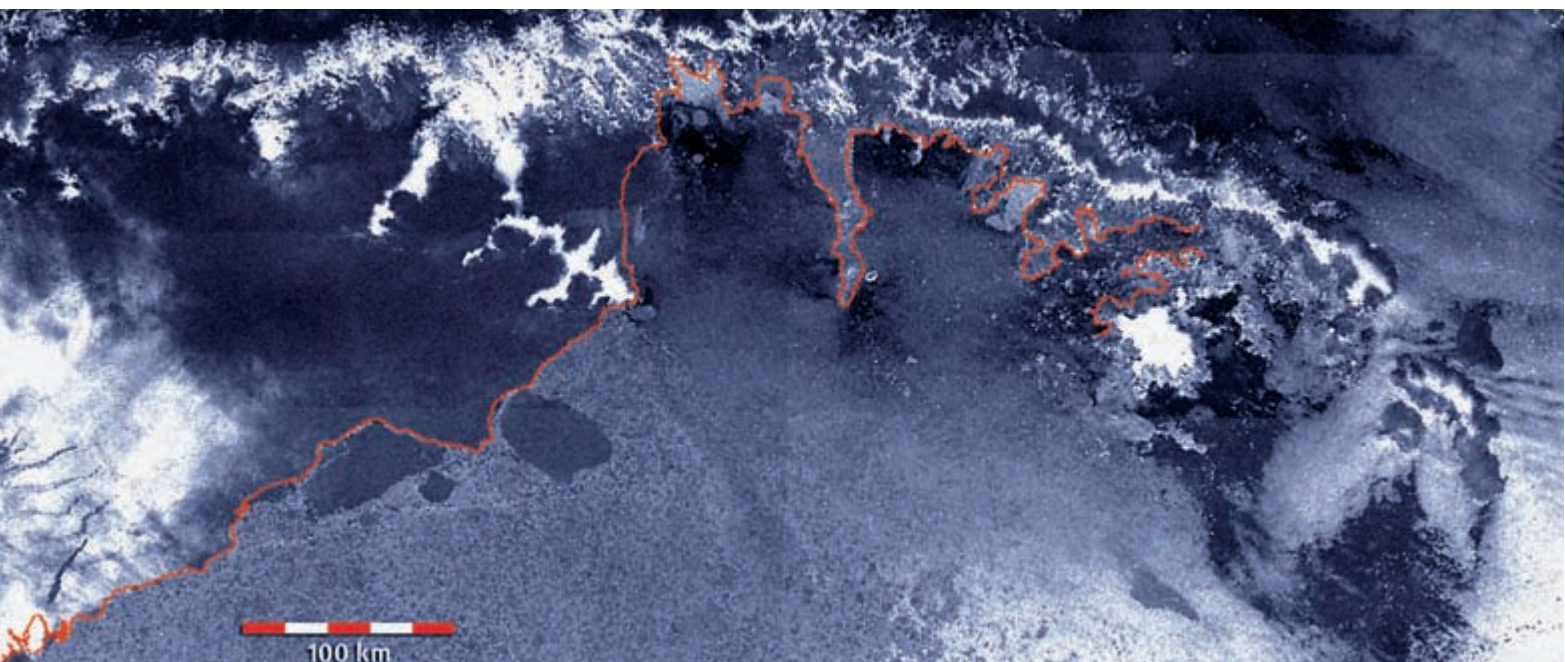
■ Forscher rätseln, was in der Antarktis los ist: Die Messungen widersprechen sich zum Teil. Das Gespenst geht wieder um: Jüngste Beobachtungen lassen befürchten, dass der Meeresspiegel viel schneller steigt, als es Klimaforscher bisher für möglich gehalten haben. Während das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in seinem letzten Report von 2001 noch von einer Hebung zwischen 9 und 88 Zentimetern in diesem Jahrhundert ausging, warnen heute einige Experten bereits vor einer Katastrophe. Und die Medien setzen noch eins drauf: «Holland geht bald baden», titelte die Schweizer «Sonntags-Zeitung» im April.

Das Abschmelzen der Eiskappen auf Grönland und in der Antarktis könnte nicht Jahrtausende dauern, wie bisherige Simulationen ergaben, sondern nur Jahrhunderte, befürchtet Geowissenschaftler *Michael Oppenheimer* von der Princeton University. Und Forscher um *Bette Otto-Bliesner* vom National Center for Atmospheric Research in Boulder, Colorado, sind einem beängstigenden Schaukel-Effekt auf der Spur: Während der letzten Warmzeit vor rund 130 000 Jahren, so ihre Analyse, habe das schmelzende Grönland-Eis den Meeresspiegel rasch steigen lassen, wodurch der antarktische Eisschild ins Rutschen geraten sei. Heute herrschen vergleichbare Bedingungen wie damals – und ein ähnliches Szenario scheint sich abzuzeichnen.

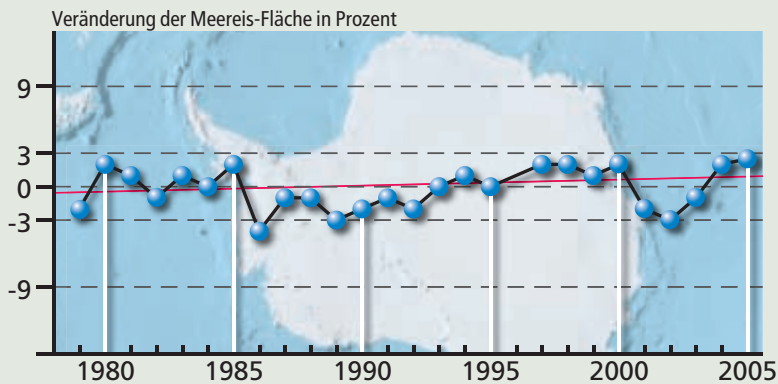
Bisher gingen Glaziologen davon aus, dass die riesigen Eisschilde im hohen Norden und tiefen Süden nur behäbig auf den Klimawandel reagieren und im Lauf von Jahrtausenden mehr

Immer mehr Eisberge brechen vom Schelfeis der Antarktischen Halbinsel ab. Damit schwindet die natürliche Barriere, und die Gletscher können leichter ins Meer abfließen. Unten ein Radar-

Satellitenbild vom 3. Januar 2005. Rot eingezeichnet ist die antarktische Eiskante vom 19. April 2006, ermittelt von AWI-Forscher Wolfgang Rack. Sie hat sich im letzten Jahr kaum verschoben.



Standhafte Antarktis



Die Fläche des Meereises um den Südpol schwankt im Lauf der Jahre. Im Mittel (rote Linie) bedeckte sie zwischen 1979 und 2000, gemessen jeweils im September, 18,7 Millionen Quadratkilometer. Der Trend liegt bei einer Eiszunahme von 0,5 Prozent pro Jahrzehnt.

Die Unsicherheit beträgt allerdings 0,9 Prozent, so dass dieser Wert nicht besonders aussagekräftig ist. Anders beim Trend in der Arktis: Dort wurde eine Eisabnahme von 8,4 Prozent pro Dekade mit einer Unsicherheit von 3,2 Prozent gemessen.

oder weniger kontinuierlich abschmelzen. Jetzt sieht es so aus, als ob sie ausgesprochen hektisch antworten. Falls sich die Gletscher tatsächlich schubweise voranschleichen – und das ist noch unklar –, hiesse das, dass die Eisschilde in Etappen ausbluten. Die Beobachtungen sind umso bedrohlicher, als niemand genau weiss, warum die Eisflüsse plötzlich wie entfesselt lospreschen. Wahrscheinlich spielen verschiedene Faktoren eine Rolle: Auf der Antarktischen Halbinsel scheint das Schelfeis schuld zu sein, von dem seit einigen Jahren grosse Teile wie das Glas einer splitternden Windschutzscheibe zerbröseln. Ohne diese Barrieren, hinter der sich das Eis gestaut hatte, können die Gletscher leichter ins Meer abfliessen – bis sich ein neues Gleichgewicht eingestellt hat. In der Westantarktis, wo Dauerfrost herrscht, könnte dagegen Meerwasser, das sich um wenige Zehntelgrade erwärmt hat, unter die Gletscher gedrungen sein und deren Reibung verringert haben. Denn das meiste Eis gründet hier unterhalb des Meeresspiegels.

Obwohl sich die beängstigenden Meldungen häufen, fehlt die letzte Gewissheit, was eigentlich an den Polen los ist. Die Forscher sind sich nicht einmal einig, ob die Eisschilde tatsächlich an Substanz verlieren. Denn verstärkter Schneefall könnte einen erheblichen Teil der Verluste ausgleichen. Die wenigen Messungen der Meteorologen liefern kein umfassendes Bild vom Zustand der lebensfeindlichen Regionen. Wissenschaftler des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven wollten die Eisschilde deshalb mit einem Satelliten vermessen, genauer als jemals zuvor. Doch Anfang Oktober 2005 ging CryoSat beim Start im russischen Raumbahnhof Plesetsk verloren. Das ist äusserst ärgerlich, denn

das neuartige Radar-Altimeter an Bord sollte nicht nur das Relief des Festlandeises an beiden Polen zentimetergenau ermitteln, sondern auch die Dicke des Meereises. Aus der Höhe der einzelnen Schollen über dem Wasserspiegel hätte sich deren Mächtigkeit genau berechnen lassen. Die AWI-Forscher müssen voraussichtlich drei Jahre warten, bis CryoSat II abhebt. Ameri-

Kompakt

- Einige Gletscher der Antarktis schieben sich mit rasantem Tempo ins Meer.
- Doch die Messdaten belegen nicht eindeutig, ob der südliche Eisschild insgesamt geschrumpft ist.



kanische Forscher haben einen anderen Weg gewählt, um die Eis-Verluste abzuschätzen. Sie suchen nach Änderungen im Schwerfeld der Erde, das der Satellit Grace seit 2002 vermisst. *Isabella Velicogna* und *John Wahr* von der University of Colorado in Boulder berechneten daraus, dass die Antarktis zwischen 2002 und 2005 jedes Jahr 152 Kubikkilometer Eis verloren hat und damit 0,4 Millimeter zum jährlichen Meeresspiegelanstieg beitrug. Das ist doppelt so viel wie bislang gedacht und ein beträchtlicher Anteil am gesamten Anstieg von schätzungsweise zwei bis drei Millimetern jährlich. Vor allem die Westantarktis soll an Substanz eingebüsst haben. Allerdings stecken in diesen Berechnungen erhebliche Unsicherheiten. Andere Daten sprechen dafür, dass die Situation in der Antarktis nicht ganz so brisant ist wie in der Arktis. Während im Norden die zugefrorene Meeresfläche rapide abnimmt, hat sich an ihr im Süden kaum etwas verändert. Die Ausdehnung des Meereises lag im letzten Jahr sogar über dem langjährigen Mittel – wie schon im

Jahr davor. Nur auf der Antarktischen Halbinsel macht sich der Klimawandel immer deutlicher bemerkbar. Radaraufnahmen vom März, also aus dem antarktischen Spätsommer, belegen, dass sich die Schmelzzonen innerhalb eines Jahres um 300 bis 400 Kilometer nach Süden vorgeschoben haben. Bis zum 70. Breitengrad waren Schnee und Eis oberflächlich aufgetaut – was sich auf Radarbildern als dunkle Färbung bemerkbar macht.

Auch das Schelfeis längs der Halbinsel hat im letzten Jahr weiter an Substanz verloren. Im Februar brach ein kleines Stück von gut 1000 Quadratkilometern – einem Drittel des Saarlandes – von Larsen B ab. Diese Region vor der Antarktischen Halbinsel ist bereits 2002 auseinandergebrochen. Nur ein kleiner Teil, weniger als ein Viertel, ist übrig geblieben. Und Larsen C, weiter im Süden, büsste noch mehr Eis ein – rund 5000 Quadratkilometer. Ob es sich dabei um übliche Abbrüche handelt oder ob der Klimawandel dahintersteckt, können die Experten nicht sagen. ■

Ein Gletscher kalbt: Mit donnerndem Getöse stürzen die Eismassen in die antarktische Paradise Bay. Amerikanische Forscher vermuten, dass die schmelzenden Gletscher am Südpol erheblich zum Meeresspiegelanstieg weltweit beitragen.





KLIMA



Im Norden kommt alles ins Rutschen

Klaus Jacob

■ Den Eisbären schmilzt der Boden unter den Füßen weg. Ihr bedrohter Lebensraum ist zum Sinnbild für die drastischen Veränderungen in der Arktis geworden.

Christian Haas hoffte bis zuletzt. Der Glaziologe vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) wollte im März ins arktische Spitzbergen aufbrechen, um auf einem zugefrorenen Fjord die Wechselwirkungen zwischen Schnee und Eis zu studieren. Doch aus der Fahrt wurde nichts – sein Forschungsgegenstand war verschwunden. Obwohl der Winter noch nicht ganz vorbei war, schwamm kein Eis auf dem Meer. Die Strömung hatte ungewöhnlich warmes Wasser in den Fjord gespült, ausserdem war der Winter viel zu warm gewesen. Im Januar hatten die Temperaturen in Spitzbergen fast zehn Grad über dem langjährigen Mittel gelegen. Statt knackigem Frost, wie für diese Jahreszeit üblich, herrschte Tauwetter. Am 16. Januar kletterte die Quecksilbersäule auf 6,5 Grad plus, und tückische Schmelzwasserflüsse machten die Gegend unpassierbar. «Wir konnten die Koldewey-Station praktisch nicht verlassen», bedauert AWI-Ingenieur *Kai Marholdt*.

Die Arktis taumelt in eine ungewisse Zukunft. Schon seit Jahrzehnten bahnt sich im hohen Norden ein Wandel an, der sich nun beschleunigt, wie immer neue Rekorde belegen. Ein Gebiet so gross wie Afrika gerät aus den Fugen. Mit einer umfassenden Studie, «Arctic Climate Impact Assessment», schlagen Forscher aus aller Welt Alarm und fordern mehr Anstrengungen für den Klimaschutz. Denn der Klimawandel

macht sich in der Arktis stärker bemerkbar als irgendwo sonst auf der Welt. Die Temperaturen steigen hier mindestens doppelt so schnell wie im globalen Mittel. Vor allem die kalten Monate verlieren an Schärfe. In Alaska und Westkanada sind die Winter inzwischen bereits drei bis vier Grad wärmer als noch vor 50 Jahren.

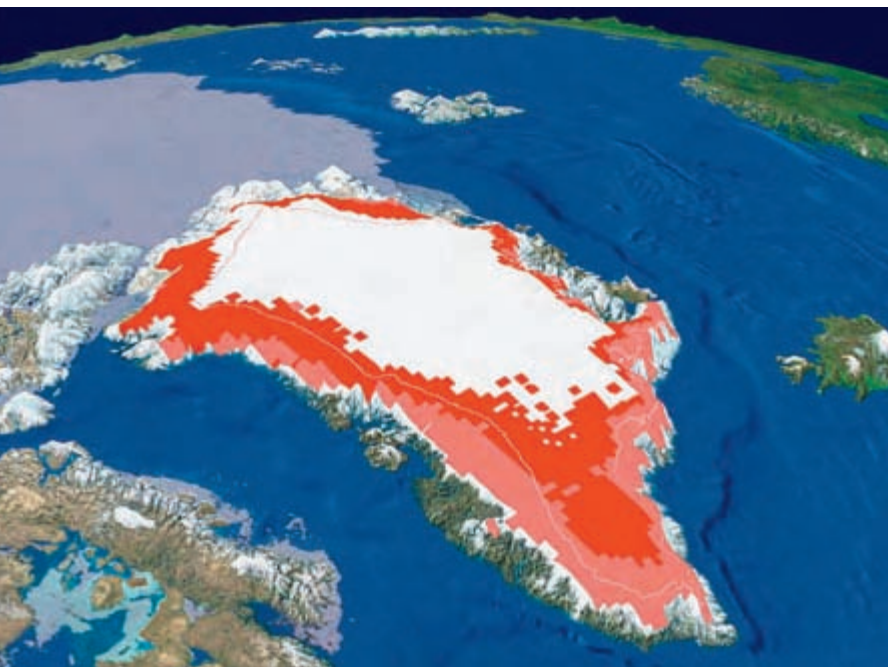
Tiere und Pflanzen bekommen die Klimarevolution unmittelbar zu spüren. Eisbären und bestimmte Robben – besonders die Ringel-, Band- und Bartrobber – büßen mehr und mehr von ihrem Lebensraum ein. Mit dramatischen Folgen: Den Eisbären brechen die Jagdreviere weg, den Robben fehlt das Eis für die Geburt ihres Nachwuchses. Auch Rentiere und Karibus geraten in Stress, weil sie neue Wanderungswege finden müssen. Und die Vegetations-

zonen verschieben sich nach Norden: Wälder ersetzen die Tundra, und Tundravegetation rückt in die polaren Wüsten vor. Auch die rund vier Millionen Menschen, die in der Arktis leben, müssen sich anpassen. Die Ureinwohner («Eskimos»), die mit der Jagd ihren Lebensunterhalt bestreiten, müssen ihre traditionelle Lebensweise aufgeben. Viele Häuser verlieren im tauenden Boden ihren Halt – im sibirischen Jakutsk sind schon mehr als 300 Gebäude weggesackt. An den Küsten frisst sich das Meer ins tauende Land und gefährdet Hafenstädte und Strassen.

Doch der Wandel stoppt nicht am Polarkreis, sondern erfasst die ganze Welt. Die Arktis spielt – wie die Antarktis – eine wichtige Rolle im globalen Klimageschehen. Im kalten Norden treiben

Arktische Splitter: In Alaska und Westkanada sind die Winter um drei bis vier Grad wärmer als vor 50 Jahren – das Meereis schmilzt. Unten eine aufgebrochene Eisfläche im Norden Kanadas.





Schmelzgrenze:
■ 2005
■ 1992
 --- 2000-Meter-Grenze

gewaltige Pumpen das globale System der Meeresströmungen an, das auch das deutsche Wetter mitbestimmt. Zudem lagert hier genug Eis, um beim Schmelzen den Meeresspiegel rund sieben Meter weit anzuheben. Würde der grönländische Eisschild abschmelzen, stünden Hamburg und Bremen unter Wasser, und Holland würde im Meer versinken. Dazu kommen tückische Rückkopplungsmechanismen: Je mehr arktische Meeresfläche eisfrei bleibt, je mehr dunkle Vegetation die einst hellen Schneeflächen ersetzt, desto weniger Sonnenenergie strahlt in den Weltraum zurück – und desto schneller steigen die globalen Temperaturen. Obendrein gelangen grosse Mengen des hochwirksamen Treibhausgases Methan in die Atmosphäre, wenn der Permafrostboden auftaut. Alle Warnleuchten blinken. Aber darf man den Trend einfach in die Zukunft fortschreiben? Noch stehen die Forscher vor vielen offenen Fragen. Mit immer neuen Mess- und Berechnungsmethoden versuchen sie, ihren Blick zu schärfen. Als Schlüsselindikator für einen drohenden Klimaschwenk gilt das Meereis, das sich im Winter auf einem grossen Teil des Nordmeeres bildet und im Sommer zum Teil wieder verschwindet. Wissenschaftler vergleichen es mit den Kanarienvögeln, die Bergleute früher als

Kompakt

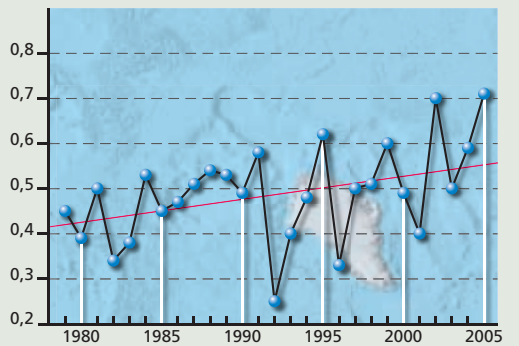
- Beobachtungen lassen befürchten, dass die Eiskappen am Nordpol schneller abschmelzen als gedacht – und damit der Meeresspiegel gefährlich rasch ansteigt.
- Die Folgen könnten bald weltweit zu spüren sein: Durch Rückkopplungseffekte heizt sich die Erde zusätzlich auf, und der Nordatlantikstrom, die Warmwasserheizung Europas, droht an Kraft zu verlieren.

Tauwetter auf Grönland

In den letzten 25 Jahren schmolz das grönländische Eis immer weiträumiger ab. In der Grafik unten ist die Fläche erfasst, auf der mindestens an einem Tag im Jahr Schmelzprozesse beobachtet wurden (rot: Trend).

Die Illustration links vergleicht die Schmelzzone von 1992 mit der von 2005: Früher taute das Eis nur längs der Küsten auf, also in tiefliegenden Regionen. Inzwischen ist die Schmelzzone weit ins Land vorgedrungen und erfasst somit auch grössere Höhen.

Aufgeschmolzene Fläche in Millionen km²



lebende Alarmanlage untertage schleppten: Fielen die Tiere von der Stange, war klar, dass giftiges Gas durch die Flöze waberte. Das Frühwarnsignal im hohen Norden hat bereits angeschlagen: Das Meereis schmilzt im Rekordtempo.

Seit Beginn der regelmässigen Satellitenmessungen 1978 ist die Fläche, die im September eisbedeckt ist, um rund 20 Prozent zurückgegangen. Der Verlust entspricht etwa der vierfachen Fläche Deutschlands. Im vergangenen Sommer zog sich das Eis sogar weit genug zurück, dass Schiffe fast ungehindert durch die legendäre Nordwest-Passage fahren konnten und die russische «Akademik Fjodorow» sogar ohne Eisbrecherhilfe den Pol überquerte – ein Novum in der Geschichte der Schifffahrt. Das Eis ist immer schneller auf dem Rückzug: Nach den Rekordjahren 2002 und 2005 hat sich der Verlust von 6,5 Prozent auf 8 Prozent pro Dekade beschleunigt.

Wie dieser Trend zu erklären ist, darüber gehen die Meinungen auseinander. AWI-Meteorologe *Jan Lieser* rät zur Vorsicht: «Vielleicht steckt dahinter nur ein normaler Zyklus. Möglicherweise», meint er, «schieben veränderte Meeresströmungen und Winde das Eis an den Küsten zusammen, so dass sich trotz der geringeren Fläche das Volumen kaum verändert hat.» Doch dagegen sprechen Messungen der Eisdicke – auch wenn die Daten bislang nur punktuell erhoben wurden und deshalb kein Gesamtbild ergeben. Echolot-Aufzeichnungen von U-Booten in den Jahren 1958 bis 1976 und 1993 bis 1997 ergaben eine Abnahme um 43 Prozent. AWI-Forscher haben zwischen 1991 und 2001,

Das grönländische Städtchen Ilulissat: In der Nähe hat der grösste Gletscher der Nordhalbkugel, der Jakobshavn Isbræ, Fahrt aufgenommen – und schiebt sich tosend ins Meer.



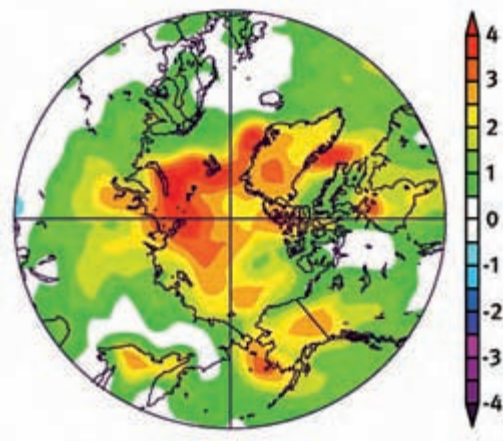
also innerhalb von nur einem Jahrzehnt, zwischen Spitzbergen und Nordpol eine Ausdünnung um 22 Prozent registriert. Nachmessungen 2004 ergaben zwar keine weitere Abnahme, doch Computersimulationen legen nahe, dass die höheren Lufttemperaturen die Eishaut tatsächlich ausdünnen. Auch wärmeres Wasser, das aus dem Süden ins Polarmeer strömt, nagt am Eis. Im Winter hat sich das Meereis bisher stets wieder halbwegs erholt – zumindest was seine Fläche angeht. Doch auch hier zeigen sich erste Auflösungserscheinungen. Die Ausdehnung ist in den vergangenen 50 Jahren um rund 5 Prozent zurückgegangen, mit zunehmender Tendenz. Noch nie hatte das Meer weniger Eis als im Winter 2004/05. Ausserdem kommt der Winter immer später und der Frühling immer zeitiger. Im vergangenen Jahr begann die Schmelze rund 17 Tage früher als im langjährigen Mittel. Folge: Im verkürzten Winter wird das Eis an vielen Stellen nicht dick genug, um den Sommer zu überstehen. Das Zufrieren des Nordmeeres hat weltweite Auswirkungen, denn das beeinflusst die globalen Meeresströmungen. Wenn Meerwasser bei minus 1,8 Grad gefriert, reichert sich Salz unter der Eisdecke an. Das salzreiche, kalte – und damit relativ schwere – Wasser sinkt ab und macht warmem Wasser Platz, das aus dem Süden über den Golf- und den Nordatlantik-Strom nachströmt. Schauplätze dieser verborgenen Wasserfälle sind die Grönland- und die Labradorsee. Sie sind Teil der sogenannten thermohalinen Zirkulation, die das weltweite Band der Meeresströmungen in Schwung hält. Für den Menschen noch wichtiger als das Meereis ist das Landeis. Schmilzt es, steigt der Meeresspiegel – mit unmittelbaren Folgen für Millionen Küstenbewohner. Einige Indizien sprechen dafür, dass Grönlands Eisschild, der bis zu drei Kilometer aufragt, tatsächlich an Stabilität verliert und zu schmelzen beginnt.

Geodät *Mirco Scheinert* von der TU Dresden fährt regelmässig zu Messkampagnen ins Land der Wikinger und untersucht dort die Westküste mit dem Jakobshavn Isbræ. Das ist der grösste Gletscher der Nordhalbkugel mit einem Ein-

zugsgebiet, das 6,5 Prozent des grönländischen Eises umfasst. Der Eisriese schiebt sich in einen Fjord, wo er mit Getöse kalbt.

In Ilulissat, einem verträumten Küstenort, beobachtet *Scheinert* seit Jahren fasziniert, wie die heruntergebrochenen Eisberge durch das Wasser driften, wie sie an einer Unterwasser-Schwelle hängenbleiben und sich schliesslich bei Springflut lösen und ins offene Meer treiben – «ein einmaliges Naturschauspiel». Der Anblick hat in den vergangenen Jahren noch an Faszination gewonnen. Denn der Gletscher schleudert immer mehr Eis in den Fjord. Seine Eisfront ist zwischen 2002 und 2005 um 10 Kilometer zurückgewichen, gleichzeitig hat der Eisstrom an Tempo zugelegt: Schob er sich 1985 noch mit 5,7 Kilometern pro Jahr voran, so waren es 2003 bereits 12,6 Kilometer. Der Jakobshavn Isbræ ist keine Ausnahme. In der Südhälfte Grönlands haben alle Gletscher Fahrt aufgenommen. Den Rekord hält der Kangerdlugssuaq, der sich im vergangenen Jahr 14 Kilometer vorschob, mehr als doppelt so weit wie noch fünf Jahre zuvor.

Die NASA-Wissenschaftler *Eric Rignot* und *Panir Kanagaratnam* haben aus den veränderten Fliessgeschwindigkeiten und aus Satelliten-Höhenmessungen berechnet, dass sich die gesamte Eismenge, die von Grönland in den Atlantik bricht, zwischen 1996 und 2005 fast verdreifacht hat. Sie vermuten, dass hinter der Entwicklung steigende Temperaturen stecken,



Am Nordpol wird es wärmer: Im Jahr 2005 lag die Temperatur der Arktis – gemessen zwischen Januar und August – beträchtlich über dem Mittelwert aus den Jahren 1955 bis 2004. Die Farbskala zeigt den Temperaturunterschied in Grad Celsius. Es war teilweise über drei Grad wärmer als im langjährigen Durchschnitt.



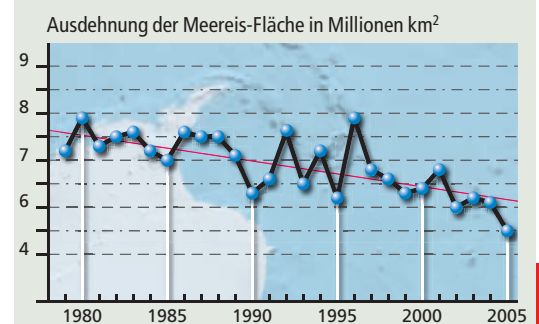
Gefährdeter Riese: Eisbären bekommen die arktische Klima-revolution lebensbedrohlich zu spüren. Mit der Eisschmelze brechen ihnen die Jagdreviere weg.

durch die immer mehr Eis und Schnee abtauen. Das Schmelzwasser gelangt durch Spalten unter das Eis und lässt die Gletscher leichter über den Untergrund rutschen. Andere Beobachtungen bestätigen das: Seit 1979 wird mit Satelliten ermittelt, in welchen Regionen der Eisschild oberflächlich antaut, so dass sich Eisschlamm und Schmelzwassertümpel bilden. Noch vor 15 Jahren beschränkten sich diese sommerlichen Schmelzzonen auf tiefgelegene Küstenabschnitte. Inzwischen frisst sich die Schmelze immer weiter ins Land hinein – und immer höher die Hänge hinauf. Im vergangenen Jahr erreichte ihre Ausdehnung einen neuen Rekord. Während einer Woche wurden Schmelzprozesse im gesamten Süden Grönlands beobachtet, sogar auf dem 2900 Meter hohen South Dome, wo bislang stets Dauerfrost herrschte. Dem zunehmenden Eisverlust steht zwar vermehrter Schneefall gegenüber – ob das aber für ein Gleichgewicht reicht, ist fraglich. Untersuchungen liefern widersprüchliche Ergebnisse: Während frühere Berechnungen eine nahezu ausgeglichene, allenfalls leicht negative Massenbilanz ergaben, ist *Rignot* überzeugt, dass Grönlands Eis schon heute rund 0,5 Millimeter pro Jahr zum Meeresspiegelanstieg beiträgt. Nach seinen Kalkulationen haben sich die Massenverluste zwischen 1996 und 2005 mehr als verdoppelt. Doch gesichert sind diese Werte nicht. Für eine verlässliche Massenbilanz fehlen Daten, wie sie etwa der abgestürzte Satellit *CryoSat* hätte liefern können. Modellrechnungen verheissen allerdings nichts Gutes: AWI-Glaziologe *Philippe Huybrecht* hat mit einer Computersimulation gezeigt, dass Grönlands Eis unweigerlich verschwindet, wenn die Temperaturen um mindestens drei Grad

gegenüber 2000 steigen. Schon in 50 Jahren könnte es so weit sein – falls die Menschen die Emission von Treibhausgasen nicht massiv herunterfahren. Hat der Schmelzprozess erst einmal begonnen, gibt es so schnell kein Zurück, selbst wenn die Temperaturen wieder fielen. Denn bei einem Temperaturanstieg von mindestens drei Grad taut oberflächlich mehr Eis ab, als durch Schneefall hinzukommt. Der Eisschild schrumpft. Und wenn die Eiskappe erst einmal vollständig abgeschmolzen ist, wächst sie so schnell nicht wieder, selbst wenn die Temperaturen auf vorindustrielle Werte sinken würden. Denn Grönland ist ohne Eis längst nicht mehr so hoch – und so kalt. Ausserdem wärmt die dunkle Land-

Eisschwund im hohen Norden

Die Ausdehnung des Meereises in der Arktis nahm in den letzten Jahren beträchtlich ab, wie die jeweils im September gemessenen Werte von 1978 bis 2005 zeigen (rot: Trend). Die sommerliche Eisfläche verringerte sich in diesem Zeitraum von rund 7,5 auf 5,5 Millionen Quadratkilometer. Bald wird sich die Nord-West-Passage jedes Jahr ohne Hilfe von Eisbrechern befahren lassen.



oberfläche. Das Tauen der mächtigen Eiskappe bis zum blanken Fels dauert zwar vermutlich Jahrtausende, trotzdem würde das Schmelzwasser den Meeresspiegel um bis zu fünf Millimeter pro Jahr anheben – mit fatalen Folgen für die Küstenstädte überall auf der Welt. Das Schmelzwasser greift ausserdem in die thermohaline Zirkulation ein. Zusammen mit den verstärkten Niederschlägen und dem vermehrten Zustrom aus den Flüssen reduziert es den Salzgehalt des Meerwassers und macht es spezifisch leichter, so dass weniger kaltes Wasser absinkt. Es gibt erste Hinweise, dass sich die Strömungsverhältnisse im Atlantik bereits zu verändern beginnen. Nicht nur, dass der Salzgehalt in den kritischen Regionen seit Jahren sinkt. Britische Wissenschaftler haben im vergangenen Jahr auch mit einer erschreckenden Meldung für Aufsehen gesorgt: Ozeanograph *Harry Bryden* von der University of Southampton hat nach eigenen Angaben gemessen, dass sich der Nordatlantikstrom, die Verlängerung des Golfstroms, in den letzten Jahrzehnten bereits um rund 30 Prozent abgeschwächt hat. Das hiesse, dass die Warmwasserheizung Europas an Kraft verliert. Die Messung widerspricht allen Modellrechnungen. Nach den Vorhersagen des Intergovernmental Panel on Climate Change schwächt sich die Strömung nur sehr langsam ab, am Ende des Jahrhunderts um etwa 25 Prozent. Viele Wissenschaftler zweifeln auch deshalb an *Brydens* Ergebnissen, weil sich Europa bisher nicht abgekühlt hat. Das müsste aber der Fall sein, wenn die Heizung tatsächlich schwächelt. Für Klarheit sollen nun 22 Sensoren sorgen, die das britische Wissenschaftlerteam im vergangenen Jahr im Atlantik verankert hat. Falls *Bryden* Recht behält, würde die Meeresströmung viel sensibler auf den Klimawandel reagieren, als die Klimaforscher bislang annahmen. Dann wäre sogar ein Abreißen der warmen Strömung noch in diesem Jahrhundert denkbar – wie es *Roland Emmerich* in seinem Kinofilm «The Day after Tomorrow» reisserisch in Szene gesetzt hat.

Unübersehbar ist, dass die Permafrostböden grossflächig auftauen. Sobald das Eis im Boden schmilzt, sackt das Gelände ab, so dass sich Senken und Seen bilden. Man spricht von einer «Thermokarst-Landschaft», weil sie den Karstgebieten ähnelt. Noch fehlen verlässliche Zahlen, wie schnell die Dauerfrostböden schwinden. Nach Klimamodellen werden sie in den nächsten 80 Jahren 20 bis 35 Prozent ihrer Fläche einbüßen. Die Folgen sind fürs Klima gravierend. «Das beeinflusst die gesamte Energiebilanz», befürchtet *Guido Grosse*, AWI-Spezialist für Frostböden. Derzeit ist rund ein Viertel der Landoberfläche auf der Nordhalbkugel gefroren, teilweise über 1000 Meter tief. Im Laufe der Jahrtausende haben sich darin riesige Mengen an Kohlenstoff aus der verrotteten Vegetation

angesammelt. Beim Auftauen könnte vor allem das hochwirksame Treibhausgas Methan entweichen. Allerdings rätseln Experten noch, wie viel davon in die Atmosphäre gelangen würde und wie viel die nachwachsende Vegetation und Bodenbakterien aufnehmen würden. Doch fest steht: Der aufgetaute Matschboden zerstört nicht nur Gebäude, sondern behindert auch den Verkehr. Bisher nutzen Lastwagenfahrer die kalte Jahreszeit, um auf gefrorenen Pisten Material zu den Ölcamps oder Holz zu den Sägemühlen zu transportieren. In Alaska hat sich die Zahl der Tage, an denen Brummis sicher durch die Tundra kommen, in den letzten 30 Jahren bereits halbiert: von rund 200 auf 100. Zudem erodieren die Küsten, weil das Eis schmilzt, das ihnen Halt gibt. *Grosse* und seine Kollegen haben an der sibirischen Lapteewsee Erosionsraten bis zu zwölf Metern pro Jahr gemessen. An der Petschorasee droht sogar ein russisches Öllager ins Meer zu kippen. Wie geht es weiter in der Arktis? Nach Berechnungen mit globalen Klimamodellen werden die Temperaturen dort bis 2100 um vier bis sieben Grad gegenüber 2000 steigen, die Wintertemperaturen über dem Meer sogar um sieben bis zehn Grad. Der Niederschlag wird um ein Fünftel zunehmen, das Meereis im Sommer fast völlig verschwinden. Eisbären und Robben werden dann wohl nur noch in Zoos herumtollen. Doch es gibt nicht nur Verlierer: Schiffe können die Nordwestpassage nutzen, Unternehmen die gewaltigen Rohstoffvorräte im hohen Norden – vor allem Öl und Gas – ausbeuten und Landwirte neues Terrain für sich erschliessen. Der Preis dafür wird allerdings hoch sein. ■

Blick in die Zukunft: Durch die Globale Klimaerwärmung wird das sommerliche arktische Meereis bis Ende des 21. Jahrhunderts voraussichtlich immer weniger Fläche einnehmen – und die Baumgrenze sowie die Permafrostgrenze verschoben sich nach Norden. Durchgezogene Linie: Gegenwart, punktierte: Prognose.

Auswirkungen des Treibhauseffektes auf die Arktis

