



Leeser/Bilderberg

Viele haben mitangepackt, als es galt, die Folgen der Hochwasserkatastrophe an der Elbe einzudämmen. Der Klimawandel lässt dagegen noch viele Menschen kalt – obwohl seine Folgen gravierend sein können.

Erderwärmung

# Klimawandel – Rote Karte für die Leugner

Der menschengemachte Treibhauseffekt ist nicht wegzu-  
diskutieren. Auch die Daten der jüngeren Klimageschichte  
belegen das, urteilt der Klimaforscher Stefan Rahmstorf.



STEFAN RAHMSTORF

forscht am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und ist Professor für Physik der Ozeane an der Universität Potsdam. 1999 erhielt er einen Forschungspreis der amerikanischen McDonnell-Stiftung in Höhe von einer Million US-Dollar für seine Arbeiten zur Rolle der Meeresströme bei Klimawechseln. Rahmstorf ist Mitglied im Beirat der US-amerikanischen National Oceanic and Atmospheric Administration zum Thema Abrupt Climate Change und im Nachhaltigkeitsbeirat des Landes Baden-Württemberg.

## KOMPAKT

- In der Diskussion um Klimaschutzmaßnahmen wird der menschliche Einfluss auf das Klima oft heruntergespielt.
- Prof. Rahmstorf argumentiert gegen diese Haltung: Nicht nur die Extrapolation der derzeitigen Entwicklung, sondern auch das gewachsene Verständnis vergangener Klimawechsel offenbaren, dass der Mensch kräftig an der Klimaschraube dreht.
- Menschen, die dies nicht akzeptieren wollen, sind für ihn Klimaleugner.

Das irdische Klima hat spektakuläre Wandlungen durchgemacht. Vor rund 100 Millionen Jahren stapften riesige Saurier selbst in arktischen Breiten durch subtropische Vegetation, und der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre betrug ein Vielfaches des heutigen. Dann kühlte sich die Erde langsam ab und pendelt nun seit drei Millionen Jahren zwischen Eiszeiten und Warmzeiten hin und her. In den Eisphasen drangen gigantische Gletscher bis weit nach Deutschland ein, und unsere Vorfahren machten in der eisigen Steppe Jagd auf das pelzige Mammut. Mitten in der jetzigen Warmzeit, dem seit 10 000 Jahren herrschenden Holozän, trocknete plötzlich die Sahara aus und wurde zur Wüste.

Auch in jüngster Zeit, nicht erst seit Prag und Dresden unter Wasser standen, macht das Klima Schlagzeilen. Temperaturrekorde brechen: 1998 war das wärmste Jahr seit Beginn der Messungen, 2002 ist auf dem besten Wege, es zu überbieten. Die neunziger Jahre gingen als Jahrzehnt der Überschwemmungen in die Geschichte ein: Am verheerendsten war die Sturmflut in Bangladesch im April 1991 mit 140 000 Toten.

Ist der derzeitige Klimawandel durch den Menschen wesentlich mitverursacht, oder ist er Teil natürlicher Klimazyklen? Nur ein Verständnis der Klimageschichte kann diese Frage beantworten. Doch in der Mediendiskussion werden die unterschiedlichsten Folgerungen aus der Klimavergangenheit gezogen – nicht alle sind gleichermaßen seriös und schlüssig, manche sind wohl mehr politisch motiviert als einer nüchternen wissenschaftlichen Analyse entspringend.

Etliche Zeugen vergangener Klimawechsel stehen unübersehbar in der Landschaft – zum Beispiel die Endmoränen längst abgeschmolzener Gletscher. Das meiste Wissen über die Geschichte des Erdklimas resultiert jedoch aus der jahrzehntelangen Detektivarbeit mit ständig verfeinerten Methoden: Wo immer sich etwas über längere Zeiträume ablagert oder aufbaut – seien es Sedimente am Meeresgrund, Schneeschichten auf Gletschern, Tropfsteine in Höhlen oder Wachstumsringe in Korallen und Bäumen –, finden Forscher Möglichkeiten und Methoden, daraus Klimadaten

zu gewinnen. Sie bohren jahrelang durch das massive Grönlandeis bis zum Felsgrund oder ziehen aus tausenden Metern Wassertiefe Sedimentkerne. Sie analysieren die Isotopenzusammensetzung von Schnee oder bestimmen und zählen in monatelanger Fleißarbeit unter dem Mikroskop winzige Kalkschalen und Pflanzenpollen.

Unser Klima ist das Ergebnis einer Energiebilanz: Die abgehende Wärmestrahlung gleicht die absorbierte Sonnenstrahlung aus. Ozean und Atmosphäre verteilen die Wärme innerhalb des Klimasystems. Klimaänderungen sind die Folge von Änderungen der Energiebilanz. Die ankommende Sonnenstrahlung kann durch Änderungen in der Umlaufbahn um die Sonne oder in der Sonne selbst beeinflusst werden. Der ins All zurückgespiegelte Anteil der Sonnenstrahlung – die Albedo – hängt von der Bewölkung und der Helligkeit der Erdoberfläche ab, also von Eisbedeckung, Landnutzung und Verteilung der Kontinente. Die abgehende Wärmestrahlung hängt von der Temperatur ab und wird durch den atmosphärischen Gehalt an absorbierenden Gasen und Aerosolen beeinflusst. All diese Möglichkeiten spielen beim Auf und Ab der Klimageschichte eine Rolle.

Zum Glück ist die Berechnung von Klimagrößen – also Mittelwerten – erheblich einfacher als die Wettervorhersage, denn Wetter ist chaotisch und wird stark durch Zufallsschwankungen bestimmt, das Klima dagegen kaum. Veranschaulichen können wir uns das anhand eines Topfes mit brodelnd kochendem Wasser: Wettervorhersage gleicht dem Versuch zu berechnen, wo die nächste Blase aufsteigen wird. Eine Klimaaussage wäre dagegen, dass die mittlere Temperatur kochenden Wassers bei Normaldruck 100 Grad Celsius beträgt, im Gebirge auf 2500 Meter Höhe durch den geringeren Luftdruck dagegen nur 90 Grad.

Kommen wir nun zu den Ursachen vergangener Klimaänderungen und beginnen mit den Bewegungen unseres Planeten. Er verhält sich wie ein Kreisel, der ein wenig taumelt. Seine Stellung zur Sonne ändert sich daher in den so genannten Milankovich-Zyklen, benannt nach dem Mathematiker und Astrono-

men Milutin Milankovich. Sie beeinflussen die Verteilung der Sonnenstrahlung in einer exakt berechenbaren Weise. Ihre charakteristischen Frequenzen (23 000, 41 000 und 100 000 Jahre) treten in den meisten langen Klimazeitreihen sehr deutlich hervor. Man findet sie in 20 Millionen Jahre alten Tiefsee-Sedimenten ebenso wie im 400 000 Jahre zurückreichenden Vostok-Eiskern aus der Antarktis. Seit drei Millionen Jahren ist die Erde so kalt, dass sich in höheren Breiten Eis halten kann. Die Eismenge wächst und schrumpft dabei im Rhythmus der Milankovich-Zyklen: Dies ist der Wechsel von Eiszeiten und (kürzeren) Warmzeiten.

In den siebziger Jahren, als die Klimaforschung noch in den Kinderschuhen steckte, sahen einige Wissenschaftler gar eine neue Eiszeit kommen. Sie argumentierten: Die vorherigen Warmzeiten haben etwa 10 000 Jahre gedauert, und wenn das für unser Holozän auch gälte, müsste es bald zu Ende sein. Heute sind die Milankovich-Zyklen besser verstanden, und man geht davon aus, dass unsere Warmzeit weit länger anhalten wird. Solch lange Warmzeiten gibt es meist dann, wenn die Erdbahn in einem Exzentrizitätsminimum ist – also fast kreisrund verläuft. Eine Eiszeit kommt wohl frühestens in 30 000 Jahren auf uns zu – das sagen Modellrechnungen, mit denen sich der Beginn der vergangenen zehn Ver-

eisungen korrekt aus den Milankovich-Zyklen berechnen lässt.

Eine Theorie der Eiszeiten muss auch quantitativ erklären, wie die durch die Milankovich-Zyklen verursachte Änderung der Strahlungsbilanz zu Vereisungen in der richtigen Größe, an den richtigen Orten und in der richtigen zeitlichen Abfolge geführt hat. Eine Schwierigkeit ist, dass die Milankovich-Zyklen die gesamte ankommende Strahlungsmenge kaum beeinflussen, sie ändern lediglich die Verteilung über die Jahreszeiten und Breitengrade. Um dadurch die Erde insgesamt um die beobachteten vier bis sechs Grad Celsius abzukühlen, muss es Rückkopplungsprozesse geben.

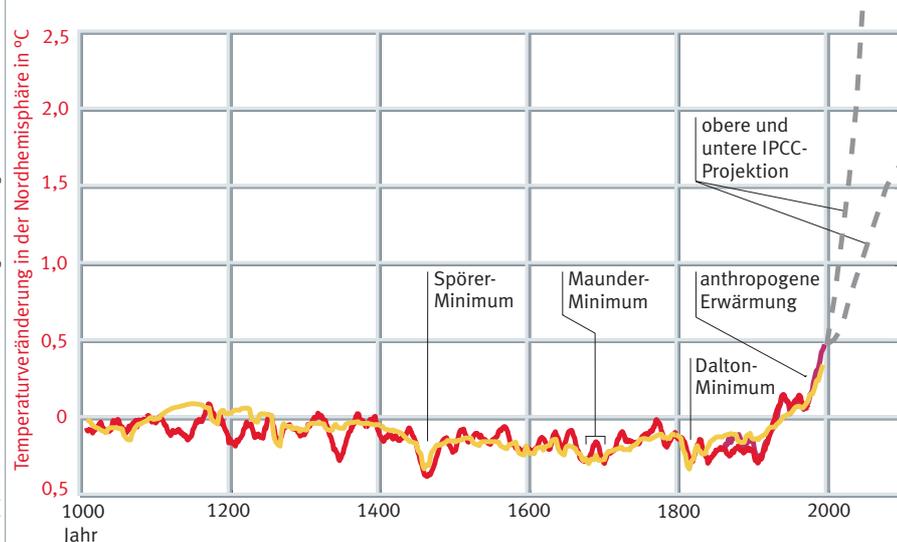
Es zeigt sich, dass Schnee eine Hauptrolle spielt. Das Eis beginnt immer dann zu wachsen, wenn die Sonneneinstrahlung im Sommer über den nördlichen Kontinenten zu schwach wird, um den Schnee des vorherigen Winters abzuschmelzen. Dann kommt eine Art Teufelskreis in Gang, denn Schnee reflektiert viel Sonne und kühlt damit das Klima weiter ab. Die Eismassen wachsen langsam auf mehrere tausend Meter Dicke an.

Wenn die Sommersonne im Norden schwach ist, scheint sie auf der Südhalbkugel umso stärker – wieso sollte sich also die Südhalbkugel zur gleichen Zeit abkühlen? Die Lösung steckt in den winzigen Luftbläschen, die im antarktischen Eis eingeschlossen sind: Kohlendioxid.

Die Luftbläschen verraten den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre der letzten 400 000 Jahre. Er pendelte zwischen 190 ppm (parts per million) auf dem Höhepunkt der Eiszeiten und 280 ppm in Warmzeiten (heutiger Wert: 370 ppm). Wie stark die Strahlungswirkung von CO<sub>2</sub> ist, weiß man seit den 1896 publizierten Berechnungen von Svante Arrhenius und wurde durch Labormessungen im Detail bestätigt. Berücksichtigt man diese Strahlungswirkung im Klimamodell, erhält man realistische Simulationen des Eiszeitklimas, einschließlich der sonst unerklärlichen Abkühlung in der Antarktis.

Das CO<sub>2</sub> funktioniert hier als Teil einer Rückkopplungsschleife: Fällt die Temperatur, so fällt der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft. Dies verstärkt und globalisiert wiederum die Abkühlung. Im Gegensatz zum zweiten Teil dieser Rückkopplung – also der Wirkung des CO<sub>2</sub> auf die Temperatur – ist der erste Teil derzeit in der Forschung noch umstritten: Wieso sinkt der CO<sub>2</sub>-Gehalt, wenn die Temperatur fällt? Offenbar verschwindet das CO<sub>2</sub> im Ozean, doch welche Mechanismen daran welchen Anteil haben, ist noch unklar. Klar ist aus den Eiskern Daten jedoch eines: Diese Rückkopplung funktioniert. Dreht man an der Temperatur – etwa durch die Milankovich-Zyklen –, so folgt mit etwas Verzögerung das CO<sub>2</sub>. Dreht man dagegen am CO<sub>2</sub> – wie derzeit der Mensch –, so folgt wenig später die Temperatur.

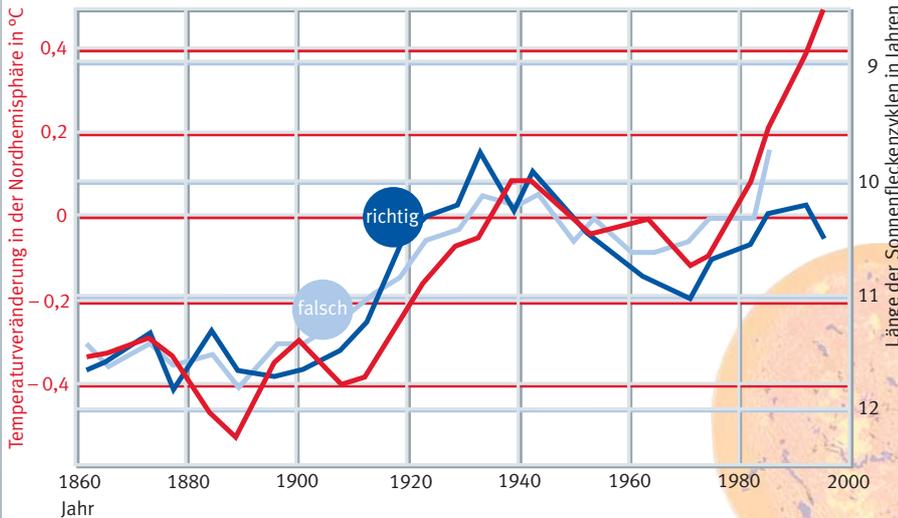
## DIE VERGANGENEN 1000 JAHRE



In Rot die Rekonstruktion aus Paläodaten des Teams um den Amerikaner Mike Mann, am Schluss ergänzt durch direkte Messungen (weinrot). Die orangefarbene Kurve zeigt eine Modellsimulation mit dem Potsdamer Klimamodell, in die auch die Sonnenaktivität eingeflossen ist. Die drei kältesten Perioden des abgelaufenen Jahrtausends stimmen mit den drei Minima der Sonnenaktivität (Spörer, Maunder, Dalton) überein. Die Erwärmung im 20. Jahrhundert geht überwiegend auf die menschlichen Treibhausgas-Emissionen zurück. Gestrichelt dargestellt sind die obere und untere Temperaturextrapolation des Weltklima-Sachverständigenrats IPCC für die nächsten Jahrzehnte.

## DIE SONNENFLECKEN-HYPOTHESE HAT AUSGEDIENT

bdw-grafik; Quelle: Dänisches Meteorologisches Institut, SPL/Agentur Focus



1991 veröffentlichten die dänischen Wissenschaftler Eigil Friis-Christensen und Knud Lassen eine Kurve über Sonnenfleckenzyklen (hellblau). Deren Verlauf wird bis in unsere Tage immer wieder als Beleg für die Abhängigkeit der Erderwärmung (rote Kurve) von den Sonnenflecken herangezogen. Doch die Kurve war falsch – 2000 zog Lassen sie zurück und publizierte eine Korrektur (dunkelblau). Danach können Sonnenfleckenzyklen die derzeitige Erwärmung nicht erklären.

Klimaskeptiker behaupten gelegentlich, eine leicht verzögerte Reaktion des CO<sub>2</sub> im Vostok-Kern spreche gegen die Klimawirkung dieses Gases. In Wahrheit bestätigt dies nur die ohnehin bekannte Tatsache, dass ein CO<sub>2</sub>-Abfall nicht die primäre Ursache der Eiszeiten ist. Die bisher schwer messbare Verzögerung beim Einsetzen der CO<sub>2</sub>-Rückkopplung würde uns verraten, wie groß die Trägheit im Kohlenstoffkreislauf ist.

Ein wichtiger Klimafaktor ist auch die Leuchtkraft der Sonne, deren Strahlungsleistung leichten Schwankungen unterliegt. Unmittelbar nach der Erfindung des Fernrohrs im Jahr 1609 wurden dunkle Flecken auf der Sonne entdeckt. Seit

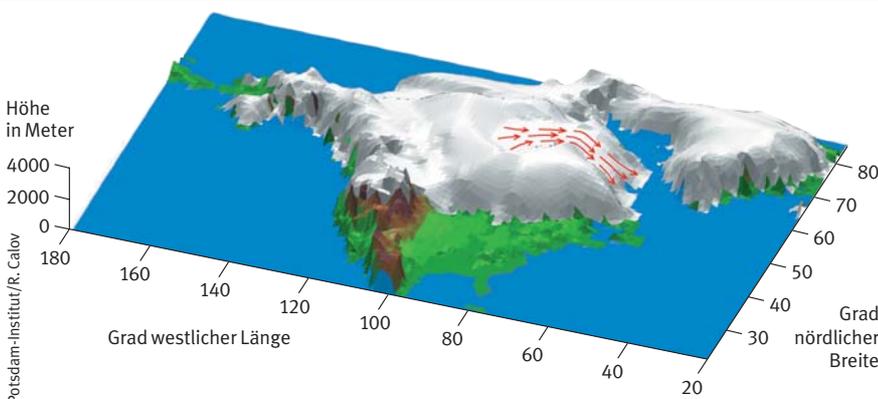
rund 20 Jahren wird die Leuchtkraft der Sonne durch Satelliten gemessen: Sie schwankt im Rhythmus des 11-jährigen Sonnenfleckenzyklus um 0,08 Prozent – das entspricht 0,2 Watt pro Quadratmeter Strahlung am Erdboden. Um frühere Sonnenschwankungen zu rekonstruieren, kombiniert man die Satellitendaten mit Aufzeichnungen von Sonnenflecken und mit Daten der durch kosmische Strahlung erzeugten Isotope Be-10 und C-14 in Baumringen und Eiskernen.

In den Jahren um 1700 verzeichnete man keine Sonnenflecken. Nach heutigen Schätzungen war die Sonnenstrahlung damals um 0,24 Prozent schwächer,

betrug also etwa 0,6 Watt pro Quadratmeter weniger als heute. Zum Vergleich: Die vom Menschen verursachte Zunahme der Treibhausgase hat seit 1700 die Strahlungsbilanz um 2,4 Watt pro Quadratmeter gestört. Daraus folgt: Sonnenschwankungen können zwar einen erheblichen Teil der beobachteten Klimaschwankungen der letzten 1000 Jahre erklären, nicht aber den außergewöhnlichen Temperaturanstieg im 20. Jahrhundert.

Im Jahr 1991 sorgten die beiden dänischen Forscher Eigil Friis-Christensen und Knud Lassen mit der gegenteiligen These für Wirbel. Sie publizierten eine Kurve, die Schwankungen in der Länge des Sonnenfleckenzyklus zeigte und die dem Temperaturverlauf im 20. Jahrhundert verblüffend ähnlich sah. Diese Kurve schien eine Erklärung zu bieten, weshalb die neunziger Jahre die wärmsten des Jahrhunderts waren, denn die Sonnenkurve zeigte gegen Ende steil nach oben. Doch andere dänische Kollegen entlarvten dies als einen statistischen Trick: Die Daten bis 1960 waren über 55 Jahre gemittelt worden, die danach nicht mehr. Nur wenn man so gefilterte und ungefilterte Daten zusammenfügte, stieg die Kurve gegen Ende an. Nach den ungefilterten Sonnendaten hätten die vierziger Jahre die wärmsten sein müssen. Knud Lassen zog daraufhin seine Kurve zurück und publizierte im Jahr 2000 mit seinem Kollegen Peter Thejll eine korrigierte und aktualisierte Kurve. Er folgert nun: Die Erwärmung der letzten Jahrzehnte lässt

## VERHÄNGNISVOLLE RUTSCHPARTIE



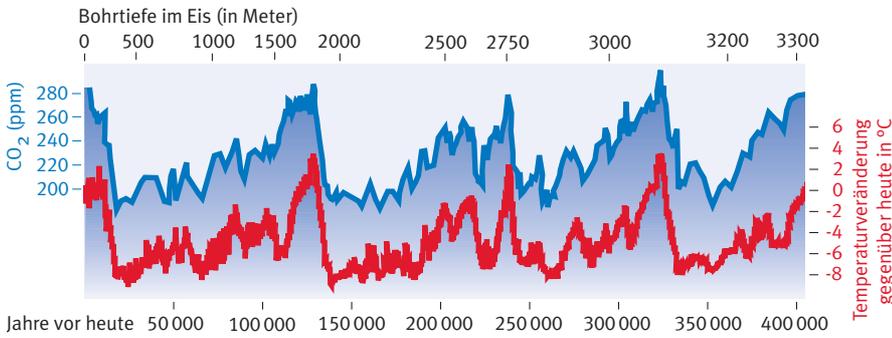
Im Potsdamer Klimamodell wurde simuliert, wie ein großer Teil der mächtigen Eiskappe über Nordamerika in die Labradorsee abgleitet. Solche Ereignisse – Fachleute nennen sie Heinrich-Ereignis-

se – gab es während der letzten Eiszeit häufiger. Durch die große Menge an Süßwasser veränderten sich Meeresströmungen, was oft zu gravierenden Temperaturveränderungen an Land führte.



Aus der Analyse von Eisbohrkernen (links von der Station Vostok) schließen Klimaforscher auf CO<sub>2</sub>-Gehalt und Temperatur zurückliegender Zeiten. Ein Dokument kälterer Tage ist der Mueller-Gletscher auf Neuseeland (oben). Er ist binnen 100 Jahren stark abgeschmolzen.

### 400 000 JAHRE KLIMAGESCHICHTE AUS DEM TIEFKÜHLFACH



Nirgendwo sonst ist das Erdklima so detailliert und lang dokumentiert: Aus dem antarktischen Vostok-Eisbohrkern lässt sich eine 400 000-jährige Klimageschichte mit teilweise gewaltigen Temperatursprüngen herauslesen. Frappierend ist die Parallelität, mit der sich Temperatur (rot) und CO<sub>2</sub>-Konzentration (blau) über den gesamten Zeitraum entwickelt haben.

## Erderwärmung

sich mit der Sonne nicht erklären. Zum Erstaunen der Fachwelt veröffentlichte „Der Spiegel“ im Juni 2001 einen Artikel, in dem die überholte Kurve von Friis-Christensen und Lassen als Beleg diente, dass die Erderwärmung durch die Sonne verursacht sei. Die revidierte Version der Kurve wurde nicht erwähnt. Als Kronzeugen für die alte Sonnentheorie wurde nicht etwa einer der renommierten deutschen Sonnenforscher präsentiert, sondern ein Experte für fossile Brennstoffe von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Ulrich Berner, der bislang keine eigene Forschungsarbeit zum Thema vorgelegt hat. Ein halbes Jahr später, kurz vor der entscheidenden Verhandlungsrunde der Klimaschutzkonvention in Marrakesch, stellte „Spiegel Online“ die falsche Sonnenkurve erneut heraus. Auch im bild der wissenschaft-Interview (Novemberausgabe 2001) präsentierte Berner nochmals diese Kurve. Erst kürzlich ist auch er davon abgerückt.

Im Gegensatz zur Mediendiskussion geht es in der aktuellen Forschung nicht darum, CO<sub>2</sub> und Sonne gegeneinander auszuspielen, sondern ihr Zusammenwirken während der letzten tausend Jahre quantitativ zu untersuchen. Dazu erstellt man aus Paläodaten Rekonstruktionen der wesentlichen Antriebsfaktoren des Klimas: Sonnenaktivität, Vulkanaktivität, CO<sub>2</sub>, Entwaldung und Erdbahnparameter. Klimamodelle werden mit diesen Antriebsdaten gefüttert und die daraus resultierende Klimaentwicklung des abgelaufenen Jahrtausends berechnet. Das Ergebnis wird dann mit Rekonstruktionen des tatsächlichen Klimaverlaufs verglichen. Modelle und Daten sind heute bereits so gut, dass die mittlere Temperatur der Nordhemisphäre bis auf etwa ein zehntel Grad genau nachvollzogen werden kann – für die Südhalbkugel gibt es noch nicht genug Vergleichsdaten. Eine solche Simulationsrechnung von Eva Bauer und ihren Kollegen am Potsdam-

Institut ergab, dass im 20. Jahrhundert die Zunahme der Sonnenstrahlung zur Erwärmung 0,13 Grad beigetragen hat, die anthropogenen Treibhausgase dagegen 0,59 Grad Celsius. Andere Modelle kommen zu ähnlichen Abschätzungen.

Die Klimageschichte hat handfeste Überraschungen zu bieten. Im Verlauf der letzten Eiszeit kam es über 20-mal zu plötzlichen drastischen Klimawechseln. Innerhalb von nur ein bis zwei Jahrzehnten stieg in Grönland die Temperatur um bis zu zehn Grad, und es blieb dann mehrere Jahrhunderte warm. Die Auswirkungen dieser so genannten Dansgaard-Oeschger-Ereignisse waren weltweit zu spüren – eine internationale Arbeitsgruppe um Antje Voelker und Michel Sarthein von der Universität Kiel hat kürzlich Daten von 183 Orten zusammengetragen, an denen sich synchron das Klima änderte. Im Zusammenspiel solcher Messdaten mit Modellsimulationen entstand in den

letzten Jahren eine Theorie der Dansgaard-Oeschger-Ereignisse, die die meisten Beobachtungsdaten gut zu erklären vermag. Demnach handelt es sich bei diesen abrupten Klimawechseln um sprunghafte Änderungen der Meeresströme im Nordatlantik. Wahrscheinlich benötigten diese Strömungsänderungen nur einen minimalen Auslöser – dies legen jedenfalls unsere Modellsimulationen nahe, und auch in den Klimadaten deutet nichts auf einen starken äußeren Auslöser hin. Das Eiszeitklima stand wohl regelrecht auf der Kippe zwischen zwei verschiedenen Strömungsmustern im Atlantik und sprang ab und zu zwischen diesen hin und her. Eine weitere drastische Instabilität des Eiszeitklimas sind die Heinrich-Ereignisse, bei denen mehrfach große Teile – man schätzt bis zu zehn Prozent – der riesigen Kontinentaleismassen in den Atlantik rutschten.

Auch im sonst eher ruhigen Holozän gab es einen großen Klimawechsel: Die Sahara verwandelte sich von einer besiedelten Savanne mit offenen Wasserflächen in eine Wüste. Ursache waren offenbar Veränderungen in der Monsunzirkulation, die vom 23 000-jährigen Erdbahnzyklus ausgelöst wurden. Weltweit schwankt die Monsunstärke in diesem Rhythmus, der den Jahreszeitenkontrast zwischen Land und Meer bestimmt und damit die Antriebskräfte des Monsuns. Nach Simulationen des Klimas der letzten 9000 Jahre durch Martin Claussen und seine Kollegen am Potsdam-Institut verdorrte vor 5500 Jahren die Sahara-Vegetation. Dies stellte sich als korrekte Aussage heraus: Kurz nach diesen Berechnungen wurden Daten aus einem neuen Sedimentbohrkern vor der nordafrikanischen Küste publiziert, wonach genau um diese Zeit der Anteil von Saharasand in den Sedimenten sprunghaft gestiegen war – ein sicheres Zeichen für die Austrocknung.

Die Beispiele zeigen: Die Erforschung der Klimageschichte ist von einer beschreibenden zu einer quantitativen, kausalen Wissenschaft herangereift, durch das fruchtbare Zusammenspiel von verfeinerter Datenanalyse und Fortschritten bei der Entwicklung physikalischer Klimamodelle. Nur durch das quantitative Verständnis von Ursachen und

Wirkungen vergangener Klimawechsel lassen sich robuste Schlüsse aus der Erdgeschichte ziehen, und nur so lässt sich die Rolle des Menschen im Vergleich zu der von Naturfaktoren einschätzen.

**Der wichtigste Schluss** ist: Das Klimasystem ist ein sensibles System, das schon auf kleine Änderungen in der Energiebilanz empfindlich reagiert. Das Klima ist kein träges Faultier, sondern eher „ein wildes Biest“, wie der amerikanische Klimatologe Wallace Broecker formulierte. Wir sollten es nicht reizen. Die Klimageschichte bestätigt eindrücklich die wichtige Rolle des CO<sub>2</sub> als Treibhausgas. Die Klimageschichte zeigt auch, dass über die vergangenen 400 000 Jahre – also den gesamten Zeitraum, über den es exakte Daten gibt – der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre niemals auch nur annähernd so hoch gewesen ist wie jetzt: Er liegt heute bereits 30 Prozent über dem für Warmzeiten normalen Wert, mit stark steigender Tendenz.

Die Klimaleugner betonen gerne, dass der Mensch nur zwei Prozent zum Treibhauseffekt beiträgt, und dies „noch deutlich im Bereich der Unsicherheiten liegt“ (so Ulrich Berner und Hansjörg Streif in ihrem Buch „Klimafakten“). Doch wird hier – wie an vielen anderen Stellen dieses Buches – ein allgemein akzeptiertes Faktum gezielt eingesetzt, um Laien Falsches zu suggerieren. Verschwiegen wird, dass der Gesamttreibhauseffekt etwa 33 Grad Celsius beträgt. Die vom Menschen verursachte Verstärkung von etwa zwei Prozent heißt im Klartext nichts anderes, als dass dieser relative Wert sehr gut zum absoluten Wert der beobachteten globalen Erwärmung von 0,7 Grad im 20. Jahrhundert passt.

Die Klimageschichte zeigt überdies, dass die Erwärmung um 0,7 Grad über das Ausmaß natürlicher Schwankungen während der letzten tausend Jahre hinausgeht. Dies gilt nicht für jede einzelne Region – der weit in den Norden reichende Weinanbau im mittelalterlichen Europa ist ein gern zitiertes Beispiel. Betrachtet man aber die Nordhalbkugel als Ganzes, sind die neunziger Jahre schon spürbar wärmer gewesen als das klimatische Optimum des Mittelalters: Dies zeigen die sorgfältigen, geographisch kor-

rekt gewichteten Zusammenstellungen aller verfügbaren Daten des abgelaufenen Jahrtausends durch Mike Mann und seine Kollegen.

Das in den letzten Jahren gewachsene Verständnis der Klimageschichte muss uns eine Warnung sein: Der menschliche Einfluss auf das Klima ist nicht mehr vernachlässigbar, sondern wahrscheinlich bereits stärker als die natürlichen Antriebsfaktoren des Klimawandels. Die ungewöhnliche Erderwärmung des 20. Jahrhunderts wurde überwiegend vom Menschen verursacht. Bei weiter ungebremsten Emissionen wird die mittlere Temperatur der Erde in diesem Jahrhundert um mehrere Grad steigen – auf Werte, die seit hunderttausenden von Jahren nicht erreicht wurden.

Die Erde ist eine wechselvolle Geschichte gewohnt. Eismassen, Wüsten und Wälder kommen und gehen, Tiergattungen breiten sich aus und verschwinden wieder, Kontinente driften umher. Wir Menschen werden allerdings an den Folgen des selbstverschuldeten Klimawandels schwer zu tragen haben. Es sei denn, wir wären intelligent genug, um rechtzeitig aus der Klimageschichte zu lernen. ■



#### INTERNET

Homepage von Stefan Rahmstorf mit weiteren Artikeln:

[www.pik-potsdam.de/~stefan](http://www.pik-potsdam.de/~stefan)

Der Bericht des IPCC online:

[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

Weitere Infos zum Klimawandel bei der Schweizer Akademie der Wissenschaften:

[www.proclim.ch](http://www.proclim.ch)

#### LESEN

IPCC

**CLIMATE CHANGE 2001**

Cambridge University Press

(im Buchhandel zur Zeit nicht lieferbar)

Die vier Bände des aktuellen Berichts, an dem 2000 Wissenschaftler mitarbeiteten.

Ross Gelbspan

**DER KLIMAGAU – ERDÖL, MACHT & POLITIK**

Gerling Akademie Verlag 1998

€ 28,60

Eine journalistische Recherche zu den Hintergründen der Klimadebatte und den Organisationen der „Skeptiker“.