

Plötzliche Klimawechsel

In der Vergangenheit haben sich die Durchschnittstemperaturen auf der Erde wiederholt in wenigen Jahrzehnten um mehrere Grad verändert. Droht uns ein ähnlich jäher Klimasprung?

[Prof. Dr. Wallace S. Broecker](#)

Die letzten zehn Jahrtausende, in denen sich die menschliche Zivilisation entwickelte, sind eine Ausnahmereignung in der jüngeren Klimageschichte unseres Planeten: Nie zuvor in den vergangenen 100000 Jahren herrschten über so lange Zeit derart konstante und ausgeglichene Witterungsbedingungen, sondern es kam immer wieder zu Kälteeinbrüchen und Wärmeperioden, die jeweils mindestens 1000 Jahre andauerten. Wie Bohrkerne von verschiedenen Stellen auf dem grönländischen Eisschild zeigen, fielen oder stiegen die mittleren Wintertemperaturen in Nordeuropa innerhalb von nur einem Jahrzehnt um bis zu zehn Celsiusgrade. Zeugen dieser plötzlichen Änderungen sind der atmosphärische Staub, die Methanmenge und das Verhältnis der Sauerstoff-Isotope mit den Atommassen 18 und 16, die in den jährlichen Eisschichten konserviert sind.

Die letzte tausendjährige Kälteperiode wird nach dem lateinischen Namen der Tundrapflanze Silberwurz, deren Lebensraum sich damals stark ausweitete, als jüngere Dryaszeit bezeichnet. Sie endete vor etwa 11000 Jahren und hat ihre Spuren in den Sedimenten auf dem Meeresboden des Nordatlantik, in den skandinavischen und isländischen Gletschermoränen sowie in den nordeuropäischen und großen kanadischen Seen und Mooren hinterlassen. Auch Neuengland kühlte sich damals deutlich ab.

Wahrscheinlich war der Kälteeinbruch der jüngeren Dryaszeit sogar von globalem Ausmaß. Jedenfalls gibt es dafür immer mehr Hinweise. So wurde die nacheiszeitliche Erwärmung des antarktischen Festlandsockels für 1000 Jahre unterbrochen; die neuseeländischen Gletscher dehnten sich erheblich aus, und das Artenspektrum der Planktonpopulation im Südchinesischen Meer änderte sich markant. Der Methangehalt der Atmosphäre nahm um 30 Prozent ab. Nur die Pollenuntersuchungen in einigen Teilen der USA zeigen keine Spuren dieser Kaltzeit.

Das große marine Förderband

Was hat diese Klimasprünge verursacht? Besteht die Gefahr, daß sie sich wiederholen? Nach neueren Erkenntnissen hängen sie mit der Zirkulation von Wärme und Salzgehalt in den Ozeanen zusammen, die sich Computersimulationen zufolge rasch ändern kann – mit drastischen Folgen für das globale Klima.

In allen Weltmeeren existieren riesige, Förderbändern ähnliche Zirkulationszellen (Bild 1). So fließt im Atlantik warmes oberflächennahes Wasser nordwärts. In der Nähe von Grönland wird es von arktischen Winden gekühlt und sinkt deshalb ab. Am Meeresboden entlang strömt es dann um den halben Erdball bis weit in den Südatlantik, wo es wärmer und somit weniger

dicht ist als das sehr kalte oberflächennahe Wasser und deshalb aufsteigt.

Teils fließt es nun an der Oberfläche nach Norden zurück, teils aber strömt es weiter bis zur Antarktis. Dort wird es bis fast zum Gefrierpunkt abgekühlt und sinkt wieder zum Meeresgrund, wo es ein Reservoir an Kaltwasser bildet, das zum dichtesten der Welt gehört und in Zungen nordwärts in den Pazifischen und Indischen sowie zurück in den Atlantischen Ozean vordringt. In den beiden erstgenannten Meeren wird die bodennahe kalte Nordströmung durch eine Südwärtsbewegung von oberflächennahem warmem Wasser ausgeglichen. Im Atlantik stößt sie dagegen bald auf den Südstrom des Tiefenwassers und wird von ihm gestoppt.

Tiefenwasser bildet sich demnach nur im Nordatlantik und nicht im Pazifik. Der Grund dafür ist, daß im Atlantik das Oberflächenwasser etwas salzhaltiger ist. Durch die Anordnung der großen Gebirgsketten in Nord- und Südamerika, Europa und Afrika entstehen atmosphärische Zirkulationsmuster, die bewirken, daß sich die Luft beim Passieren dieses Ozeans mit Feuchtigkeit auflädt. Die Verdunstung macht die oberen Wasserschichten salzreicher und dichter. Werden sie dann im Nordatlantik zusätzlich abgekühlt, sinken sie ab und beginnen eine globale Zirkulation, die das Salz wieder effizient verteilt.

Mit dieser Zirkulationsströmung im Atlantik, die das hundertfache Fördervolumen des Amazonas erreicht, ist ein gewaltiger Wärmetransport verbunden. Das nach Norden fließende Wasser ist im Mittel acht Grad wärmer als das südwärts strömende und erwärmt die arktischen Luftmassen über dem Nordatlantik. Diesem Umstand verdankt Europa sein ungewöhnlich mildes Klima.

Die Zirkulation ist allerdings störungsanfällig. In hohen Breiten übertrifft die Zufuhr an Wasser durch Niederschläge und einmündende Flüsse die Verdunstung. Darum hängt der Salzgehalt der oberflächennahen Schichten davon ab, wie schnell das Förderband das überschüssige Süßwasser abführt. Ist es einmal zum Stillstand gekommen, neigt es dazu, abgeschaltet zu bleiben.

Dies hätte katastrophale Folgen: Die Wintertemperaturen über dem Nordatlantik und den angrenzenden Landflächen gingen um mindestens fünf Grad zurück, und Dublin bekäme zum Beispiel das Klima von Spitzbergen, das fast 1000 Kilometer nördlich des Polarkreises liegt (Bild 5). Dieser Umschwung vollzöge sich in weniger als einem Jahrzehnt. (Eisbohrkerne und andere Klimaarchive lassen auf Temperaturstürze von etwa sieben Grad im Bereich des Nordatlantik beim Einsetzen der letzten Kältephasen schließen.)

Numerische Modelle der Meeresströmungen zeigen zwar, daß das ozeanische Förderband auch wieder anliefe, jedoch erst nach Hunderten oder Tausenden von Jahren. Von der Wasseroberfläche nach unten gelangende Wärme und nach oben diffundierendes Salz würden die Dichte des stagnierenden Tiefenwassers allmählich so weit verringern, daß irgendwann in einem der beiden Polargebiete oberflächennahes Wasser bis zum Grund vordringen könnte. Damit käme die Zirkulation von Wärme und Salzgehalt wieder in Gang.

Das neue Strömungsmuster müßte allerdings nicht mit dem vor dem Stillstand übereinstimmen. Es hinge vielmehr von den Modalitäten der Frischwasserzufuhr in den beiden Polarregionen ab.

Kaltzeiten durch flache Meerwasserzirkulation

Kürzlich ergaben Computersimulationen von Stefan Rahmstorf an der Universität Kiel, daß sich nach dem Abschalten des Hauptförderbandes ein weniger tief reichendes Zirkulationsmuster bilden könnte (Bild 2). Der Abstrombereich läge dann nördlich der Bermudas und nicht bei Grönland. Aufgrund dieser Verlagerung würde Nordeuropa viel weniger erwärmt.

Auch dieses flache Förderband könnte durch einen Süßwasserschwall angehalten werden, würde aber nach nur wenigen Jahrzehnten bereits reaktiviert. Wie das System zur heutigen tiefreichenden Zirkulation zurückkehren könnte ist vorerst unklar.

Zwei Eigenschaften von Rahmstorfs Modell lassen Paläoklimatologen aufmerken. Zum einen paßt das flache Zirkulationsmuster zur eiszeitlichen Verteilung von Cadmium und dem Kohlenstoff-Isotop mit der Atommasse 13 in den Schalen von Kleinstorganismen, die am Meeresboden leben (Benthal-Foraminiferen oder Kammerlingen). Heute ist das Tiefenwasser im Nordatlantik arm an Cadmium und reich an Kohlenstoff-13 (^{13}C), während für alle anderen Meere das Gegenteil zutrifft.

Dieser Unterschied erklärt sich dadurch, daß die Atmung tierischer Meereslebewesen eine Abreicherung von ^{13}C gegenüber dem häufigsten Kohlenstoff-Isotop ^{12}C und eine Anreicherung von Cadmium bewirkt (sowie von anderen Elementen, deren Geschichte nicht aus benthischen Schalen ablesbar ist). Weil aber das Förderband nährstoffarmes Oberflächenwasser in den tiefen Atlantik transportiert, herrschen dort derzeit schlechte Lebensbedingungen.

Während der Kälteperioden stieg dagegen der Cadmiumgehalt im bodennahen Wasser immens an, während er in mittleren Tiefen abnahm; das Umgekehrte gilt für den Gehalt an ^{13}C . Dies steht in Einklang mit dem Ergebnis Rahmstorfs, wonach das absinkende nährstoffarme Oberflächenwasser damals nur in mittlere Tiefen und nicht bis zum Boden vordrang.

Zum zweiten wird beim flachen Förderband weiterhin radioaktiver Kohlenstoff in tiefere Meeresschichten transportiert. Hätte dieser Transport aufgehört, würden radiochemische Datierungsmethoden, die auf dem Zerfall von Kohlenstoff-14 (^{14}C) basieren, widersprüchliche Ergebnisse liefern. Die Radiokohlenstoff-Altersbestimmung ist mit anderen Verfahren kalibriert worden; dabei zeigte sich, daß sie zwar nicht absolut genau, aber im Prinzip zuverlässig ist.

Nur ein Viertel des Kohlenstoffvorrats der Erde befindet sich in den oberen Ozeanschichten

und in der Atmosphäre; der Rest ist – größtenteils in Form von Kohlendioxid – im Tiefenwasser gelöst. Die Verteilung von radioaktivem Kohlenstoff-14, der in der Atmosphäre durch kosmische Strahlung gebildet wird, hängt von der Stärke der ozeanischen Zirkulation ab. Gegenwärtig gelangt der größte Teil davon über das atlantische Förderband in die Tiefsee (Bild 3). In dessen oberem, warmem Abschnitt nehmen die Wassermassen auf dem Weg nach Norden das im Kohlendioxid der Luft gebundene Isotop auf und befördern es beim Absinken mit nach unten. Obwohl das Tiefenwasser nahe der Antarktis kurzfristig wieder an die Oberfläche steigt, absorbiert es dabei wenig Radiokohlenstoff.

Demnach sollte eine Verlangsamung oder gar ein Anhalten des Förderbandes die Verteilung von ^{14}C zwischen Atmosphäre und Tiefsee deutlich verschieben. Am Meeresgrund ist das Mengenverhältnis von ^{14}C zum stabilen ^{12}C heute etwa 12 Prozent niedriger als im oberflächennahen Wasser und in der Atmosphäre; denn das radioaktive Isotop zerfällt allmählich (mit einer Halbwertszeit von 5736 Jahren), während es mit dem Tiefenwasser nach Süden strömt.

Nun frischt die kosmische Strahlung alle 82 Jahre gut 1 Prozent des gesamten ^{14}C -Bestandes der Erde wieder auf. Unterbliebe der Austausch zwischen Oberfläche und tieferem Ozean, nähme das Verhältnis $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ im oberflächennahen Wasser und in der Atmosphäre somit pro Jahrhundert um 5 Prozent zu, weil der hinzukommende Kohlenstoff-14 nicht in die Tiefsee abtransportiert würde. Nach einem Jahrtausend wäre der ^{14}C -Anteil in der Atmosphäre um ein Drittel gestiegen.

Dies müßte die Ergebnisse von Radiokohlenstoff-Datierungen grob verfälschen. Bei diesem Verfahren wird das Alter organischer Stoffe anhand ihres Gehalts an ^{14}C bestimmt: Je weniger von dem instabilen Isotop noch übrig ist, desto älter muß die Probe sein.

Dabei wird allerdings ein stets gleicher Ausgangsgehalt an ^{14}C beim Absterben der Pflanze vorausgesetzt, aus welcher der organische Kohlenstoff letztlich stammt. Wieviel Radiokohlenstoff sie während ihres Lebens einlagert, hängt nämlich von dessen momentaner Konzentration in der Atmosphäre (oder im Ozean) ab. Wäre sie während eines Stillstandes des Förderbandes gewachsen, sollte sie ungewöhnlich viel ^{14}C aufgenommen haben und bei der späteren Datierung deshalb jünger erscheinen, als sie tatsächlich ist. Man erhielte für sie dasselbe Alter wie für eine andere, die mehr als 1000 Jahre später lebte, als das Förderband wieder in Gang gekommen war und der atmosphärische ^{14}C -Spiegel sich normalisiert hatte.

Wenngleich der ^{14}C -Gehalt der Atmosphäre mit der Zeit leicht variierte, zeigen Radiokohlenstoff-Datierungen von maritimen Sedimenten, die sich recht gleichförmig abgelagert haben sollten, über die letzten 20000 Jahre hinweg keine solchen Unstimmigkeiten. Im Gegenteil: Messungen an Korallen, deren absolutes Alter mit der Uran-Thorium-Methode ermittelt wurde, lassen darauf schließen, daß am Ende der letzten Eiszeit, als das Förderband seinen heutigen Operationsmodus aufnahm und der Atmosphäre im jetzigen Umfang ^{14}C entzog, dessen Anteil in der Luft sogar zunahm.

Demnach dürfte das Förderband allenfalls für höchstens ein Jahrhundert stillgestanden haben;

und solche Stillstandsphasen müßten durch zwischenzeitliche Perioden verstärkter Durchmischung kompensiert worden sein. Insbesondere herrschte in der jüngeren Dryaszeit im Durchschnitt anscheinend eher eine intensivere als eine schwächere ozeanische Zirkulation. Diese Kaltzeit kann somit nicht von einem durchgehenden kompletten Stillstand des atlantischen Förderbandes verursacht worden sein – anderenfalls müßte ein anderer Vorgang das 14C in die Tiefsee befördert haben.

Eine Eisbergflotte

Angenommen, die Zirkulation ging tatsächlich in Rahmstorfs flacheren Modus über – woher kam der Süßwasserüberschuß, der den Umschlag bewirkte? Eine naheliegende Quelle sind die polaren Eisschilde. Dafür spricht auch, daß plötzliche Klimaänderungen auf solche Zeiten beschränkt zu sein scheinen, in denen Kanada und Skandinavien von mächtigen Eismassen bedeckt waren. Am Ende der letzten Eiszeit ist das globale Klimasystem gleichsam in seinen heutigen stabilen Zustand eingerastet.

Man hat Indizien für mindestens acht Süßwassereinbrüche in den Nordatlantik: Siebenmal gab es eine Invasion von Eisbergen, die vom Ostrand des Eisschildes über der heutigen Hudson Bay abbrechen, und einmal ergoß sich eine Schmelzwasserflut aus dem riesigen See am Südrand der zurückweichenden Gletscherfront. In den frühen achtziger Jahren entdeckte Hartmut Heinrich als Doktorand an der Universität Göttingen eine Reihe ungewöhnlicher Sedimentschichten im Nordatlantik, die sich von Labrador bis zu den Britischen Inseln erstrecken. Ihre besonderen Eigenschaften lassen sich am besten mit der Annahme erklären, daß sie beim Abschmelzen enormer Massen von Eisbergen entstanden, die von Kanada wegdrifteten.

So dünnen die Schuttschichten nach Osten hin aus – von einem halben Meter Dicke bei Labrador auf wenige Zentimeter im östlichen Atlantik. Bei den gröberen Sedimentkörnern handelt es sich größtenteils um Trümmer von Kalkablagerungen und vulkanischem Grundgestein, wie sie für die Hudson Bay und ihre Umgebung charakteristisch sind. Foraminiferen-Schalen finden sich nur spärlich, weil der Ozean offenbar mit Treibeis zugestopft war, und die wenigen vorhandenen weisen ein sehr niedriges Verhältnis von Sauerstoff-18 zu -16 auf – ein deutliches Zeichen, daß die Tiere in Wasser mit viel niedrigerem Salzgehalt als üblich lebten (Regen und Schnee enthält in hohen Breiten weniger ^{18}O , weil das Wasser mit dem schwereren Isotop zuerst kondensiert, wenn eine Luftmasse auf dem Weg zum Pol abgekühlt wird).

Die achte Süßwasserflut kam aus dem Agassiz-See in jener ausgedehnten topographischen Senke, die unter dem Gewicht der sich zurückziehenden Eismasse entstanden war. Zunächst schwappte das Wasser über eine Felsbarriere in den Einzugsbereich des Mississippi und gelangte von dort in den Golf von Mexiko. Vor etwa 12000 Jahren eröffnete der Rückzug des Eisrandes jedoch einen Abflußkanal nach Osten, durch den sich der See plötzlich größtenteils entleerte. Die entweichenden Wassermassen fluteten durch das südliche Kanada in das heutige Tal des Sankt-Lorenz-Stroms und ergossen sich direkt in die Region, in der

gegenwärtig das Tiefenwasser entsteht.

Der Zusammenhang zwischen diesen Vorgängen und lokalen Klimaänderungen ist offensichtlich. Eine der von Heinrich entdeckten Schichten markiert das Ende der vorletzten, eine andere das der letzten Eiszeit. Eine dritte paßt gut zum Beginn der eiszeitlichen Verhältnisse im Nordatlantik überhaupt. Die katastrophale Flut aus dem Agassiz-See schließlich fällt mit dem Anfang der jüngeren Dryaszeit zusammen.

Jede der restlichen vier Heinrich-Schichten (wie man sie inzwischen allgemein nennt) korrespondiert mit einem untergeordneten Klimazyklus. Gerard C. Bond vom Lamont-Doherty-Erdobservatorium der Columbia-Universität in Palisades (New York) fand beim Vergleich dieser Sedimentlagen mit dem aus den grönländischen Eisbohrkernen ermittelten Temperaturverlauf, daß die rund tausendjährigen Kaltzeiten in Gruppen auftreten, die durch immer schwerere Kälteeinbrüche charakterisiert sind. Die Serie gipfelt jeweils schließlich in einem Heinrich-Ereignis, dem eine markante Erwärmung folgt. Danach beginnt ein neuer Zyklus.

Globale Auswirkungen

Der Klimaumschwung der jüngeren Dryaszeit war weltweit zu spüren. Gilt das gleiche auch für die ungefähr 15 Kältephasen, die den Eisbohrkern-Befunden zufolge vorher auftraten? Bislang gibt es dafür nur zwei Anzeichen, aber diese sind sehr überzeugend.

Den ersten Hinweis fand Jerome A. Chappellaz vom Laboratorium für Glaziologie und Umweltgeophysik bei Grenoble. Bei der Analyse der Luft, die in grönländischen Eisbohrkernen eingeschlossen war, stellte er fest, daß die Atmosphäre in Kältephasen weniger Methan enthielt. Dieses Gas wird vor allem von Bakterien in Sümpfen und Mooren erzeugt, die in den nördlichen gemäßigten Breiten während der Eiszeiten entweder zugefroren oder von Inlandeis bedeckt waren. Deshalb muß das gemessene Methan in der Atmosphäre aus den Tropen stammen. Die Konzentrationsschwankungen deuten darauf hin, daß dort während der Kältephasen Trockenheit herrschte.

Den zweiten Hinweis enthält eine noch unveröffentlichte Untersuchung von James P. Kennett und Richard J. Behl von der Universität von Kalifornien in Santa Barbara. Sie betrifft Sedimentbohrkerne, die 500 Meter unter der Meeresoberfläche im Santa-Barbara-Becken gewonnen wurden. Die Forscher fanden Bänder aus ungestörten, im Jahresrhythmus abgelagerten Schichten im Wechsel mit Lagen, die von Würmern zerwühlt waren. Eine Bodenfauna kann aber nur überleben, wenn das Wasser am Meeresgrund genügend Sauerstoff enthält. Daß das Alter der umgegrabenen Sedimente frappierend genau mit kalten und staubreichen Perioden in Grönland übereinstimmt deutet darauf hin, daß das ozeanische Zirkulationsmuster auch außerhalb des Atlantik gestört war.

Noch überraschender ist, daß auch die Heinrich-Ereignisse selbst anscheinend weltweite Spuren hinterlassen haben. Eric Grimm und seine Mitarbeiter am Illinois State Museum in

Springfield untersuchten Pollen in den Sedimenten des Tulane-Sees in Florida und fanden für jedes Heinrich-Ereignis ein deutliches Maximum im Verhältnis von Kiefern- zu Eichenpollen. Kiefern gedeihen am besten unter relativ feuchten Bedingungen, während Eichen ein trockeneres Klima bevorzugen. Obwohl die exakte zeitliche Relation zwischen kiefernreichen Phasen und Heinrich-Ereignissen noch durch genauere Radiokohlenstoff-Datierungen geklärt werden muß, deuten die Befunde darauf hin, daß es in jedem Zyklus eine feuchte Periode gegeben hat.

George H. Denton und seine Kollegen an der Universität von Maine in Orono haben sogar einen Einfluß auf noch entferntere Regionen gefunden: Jedes der vier Heinrich-Ereignisse, das sich im Meßbereich der Radiokohlenstoffmethode befindet, paßt zu einem deutlichen Maximum in der Ausdehnung der Andengletscher.

Warum das massive Kalben des kanadischen Eisschildes globale Auswirkungen hatte ist allerdings rätselhaft. Nach numerischen Atmosphärenmodellen sollten Änderungen der Wärmemenge, die der Lufthülle über dem Nordatlantik zugeführt wird, nur das Klima in den umgebenden Regionen beeinflussen. Wie konnten sich die Effekte auf die Tropen, die südlichen gemäßigten Breiten und sogar die Antarktis ausweiten?

Die symmetrische Verteilung der Klimaänderungen beiderseits des Äquators weist auf die Tropen als entscheidendes Bindeglied hin. Eine Umstellung der meteorologischen Verhältnisse in der tropischen Atmosphäre könnte weitreichende Folgen haben. Wo sich die Passatwinde treffen, entstehen hochreichende Konvektionszellen, die der Atmosphäre ihr wichtigstes Treibhausgas zuführen: Wasserdampf.

Zudem sollte sich eine Änderung des ozeanischen Zirkulationsmusters darauf auswirken, wieviel Wasser im äquatorialen Pazifik zur Oberfläche aufsteigt. Obwohl die Kopplung mit der tropischen Konvektion schwach ist, stellt dieses Aufquellen einen wichtigen Teil in der Wärmebilanz dieser Region dar und beeinflusst damit auch die Klimaverhältnisse auf dem angrenzenden Festland. Wenn es – wie derzeit während sogenannter El-Niño-Phänomene – nachläßt, können in bestimmten Gegenden Dürren und in anderen Überschwemmungen auftreten.

Solche Vorstellungen werden nicht nur durch die Methan-Daten von Chappellaz gestützt, wonach in den Tropen während der Kältephasen ein trockeneres Klima herrschte, sondern auch durch Befunde zu den einstigen Feuchtigkeitsverhältnissen in Nevada, Neu-Mexiko, Florida und Virginia. Das überzeugendste Indiz stammt aus dem großen Becken zwischen den Rocky Mountains und der Sierra Nevada in den westlichen USA. Unmittelbar nach dem letzten Heinrich-Ereignis vor etwa 14000 Jahren erreichte der Lahontan-See in Nevada seine maximale Ausdehnung; er war damals rund zehnmal so groß wie heute. Ein derartiges Wasservolumen setzt Niederschläge in so enormen Mengen wie während des El-Niño-Winters 1982/83 voraus. Man könnte den Grund für den globalen Effekt der Kälteeinbrüche im Nordatlantik demnach auch in Änderungen der ozeanischen Zirkulation sehen, die tausendjährige El-Niño-Perioden auslösten.

Neuere Forschungsergebnisse von Lonnie G. Thompson von der Ohio State University in Columbus bestätigen die Vermutung, daß das Wetter in den Tropen während der Eiszeiten ganz anders war als heute. Alte Abschnitte von Eisbohrkernen aus 6000 Meter Höhe in den tropischen Anden enthalten 200mal so viel feinen Staub wie jüngere. Er wurde wahrscheinlich aus dem Amazonasbecken heraufgeweht, in dem damals ein trockenes, wüstenhaftes Klima herrschte. Das ältere Eis enthält auch wesentlich weniger Sauerstoff-18 als das in den letzten 10000 Jahren gebildete. Demnach herrschten damals etwa zehn Grad niedrigere Temperaturen; zudem lag die Schneegrenze gut 1000 Meter tiefer. All dies weist darauf hin, daß die Tropen während der Eiszeiten kälter und trockener waren.

Ein labiles Gleichgewicht

Daß das Klimasystem der Erde gelegentlich von einem Zustand in einen anderen gesprungen ist steht fest. Nur die Ursachen dieser plötzlichen Änderungen sind noch nicht endgültig geklärt. Obwohl die großräumige Umstellung der ozeanischen Zirkulation wohl der wichtigste Mechanismus war, könnte es zusätzliche Auslöser in der Atmosphäre gegeben haben.

Dies macht die Vorhersage der künftigen Klimaentwicklung schwierig. Könnte die gegenwärtige, vom Menschen verursachte Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre eine neuerliche Veränderung des Tiefsee-Förderbandes und der davon abhängigen Wettersysteme bewirken?

Den paläographischen Befunden zufolge traten Sprünge ausschließlich dann auf, wenn der Nordatlantik von gewaltigen Eismassen umgeben war; von einer solchen Situation sind wir weiter entfernt denn je. Andererseits droht der Treibhauseffekt weitaus stärker zu werden als irgendein anderer der Klimafaktoren, die bisher in einer Zwischeneiszeit wirksam waren; und niemand kann garantieren, daß das irdische Klimasystem in seinem relativ günstigen momentanen Zustand verharrt.

Ein Stillstand oder eine vergleichbar drastische Umstellung des Förderbandes ist zwar unwahrscheinlich, hätte aber katastrophale Folgen für die Zivilisation (Bild 5). Am ehesten wäre damit in 50 bis 150 Jahren zu rechnen, wenn die Welt überfüllt sein wird mit Menschen, die von Hunger und Epidemien bedroht sind und verzweifelt gegen die steigende Umweltbelastung kämpfen. Deshalb müssen wir diese Möglichkeit ernst nehmen und dürfen keine Mühe scheuen, das prekäre, chaotisch anmutende Verhalten des globalen Klimasystems besser verstehen zu lernen.

Literaturhinweise

- Rapid Climate Transitions in a Coupled Ocean-Atmosphere Model. Von Stefan Rahmstorf in: Nature, Band 372, Seite 82; 3. November 1994.

– A Low-Order Model of the Heinrich-Event Cycle. Von D. R. MacAyeal in: Paleoceanography, Band 8, Heft 6, Seiten 767 bis 773; Dezember 1993.

– Synchronous Changes in Atmosphere CH₄ and Greenland Climate between 40 and 8 KYR BP. Von J. Chappellaz, T. Blunier, D. Raynaud, J. M. Barnola, J. Schwander und B. Stauffer in: Nature, Band 366, Seiten 443 bis 445; 2. Dezember 1993.

– Ist ein über mehrere Jahrtausende stabiles Klima die Ausnahme? Von Bernhard Stauffer in: Spektrum der Wissenschaft, November 1993, Seite 16.

– Ursachen der Vereisungszyklen. Von Wallace S. Broecker und George H. Denton in: Spektrum der Wissenschaft, März 1990, Seiten 88 bis 98.