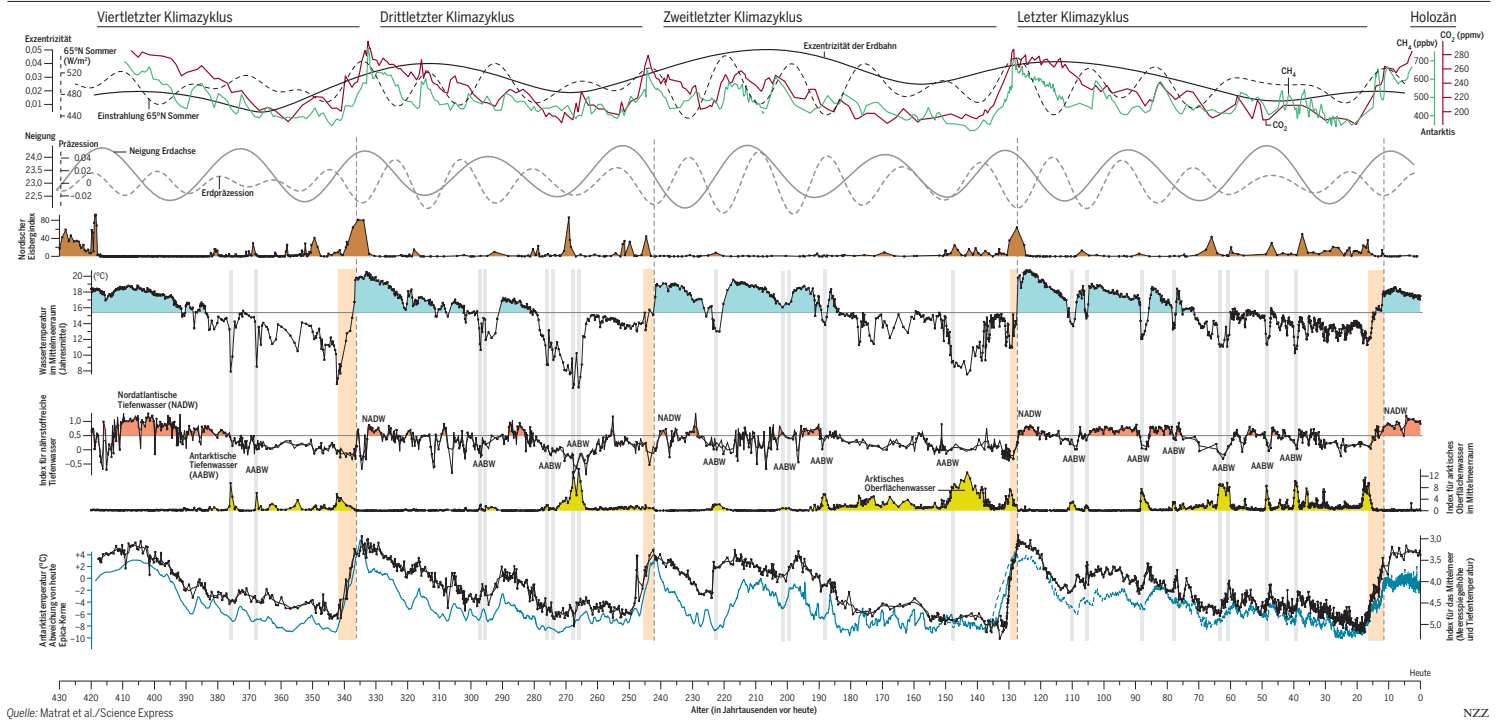


Klimadaten der letzten vier Eiszeiten aus dem Mittelmeerraum und der Antarktis – Wie die grossen Klimaänderungen im Detail ausgelöst werden, ist noch nicht klar



Quelle: Matrajt et al./Science Express

NZZ

Genauere Informationen über die abrupten Klimaänderungen der Eiszeiten

Daten aus 800 000 Jahre altem antarktischen Eis und bis zu 420 000 Jahre alten Sedimenten aus dem mediterranen Bereich

Das Klima der letzten Jahrhunderttausende lässt sich immer exakter rekonstruieren. So gab es in den Eiszeiten zahlreiche abrupte Klimaveränderungen. Sie dürften die Folge einer Verschiebung des «Motors» der Meereszirkulation von Nord nach Süd gewesen sein.

Die Technik, aus dem «ewigen» Eis von Grönland oder der Antarktis Informationen über das Klima weit zurückliegender Zeiten zu gewinnen, ist bereits vier Jahrzehnte alt. Noch immer aber gibt es viele Fragen zu dem seit wohl mehreren Millionen Jahren stattfindenden Wechseln von Eis- und Zwischenzeiten. Die etwa 100 000 Jahre dauernden Zyklen beginnen mit einer kürzeren Warmphase (Zwischenzeit), auf die eine längere kalte Zeit (Eiszeit) folgt. Bohrungen im älteren Eis und genauere Analysen ermöglichen nun, sich ein immer detaillierteres Bild von diesen Vorgängen und ihren Ursachen zu machen. In den vergangenen Wochen hat die Fachzeitschrift «Science» gleich zwei Artikel veröffentlicht, die neue Mosaiksteinchen zur Rekonstruktion der Klimavergangenheit liefern.

60 000 weitere Jahre

So ist erstmals ein hochaufgelöster Verlauf der Temperatur während der letzten etwa 800 000 Jahre vorgelegt worden.¹ Er basiert auf dem Kern der Eisbohrung in Antarctica (Epica), die 1997 bis 2006 im Dome C in der Ostantarktis bis auf 3260 Meter Tiefe abgeteufelt wurde. Der genau datierbare Teil des Eisbohrkerns reicht laut den Experten etwa 10 Eiszeiten zurück. Damit lässt sich die Temperaturreihe 60 000 Jahre über die 2004 von Epica publizierte Rekonstruktion ausweiten.

Die verlängerte Datenreihe bestätigt, dass sich der Verlauf der Eiszeitzyklen vor rund 430 000 Jahren veränderte. So fand sich in den Zwischenzeiten früher die wärmste Phase am Ende der warmen Jahrtausende, während die jüngeren vier Zyklen gleich zu Beginn eine Zeit mit hohen Temperaturen aufwiesen – in unserer Zwischenzeit das «klimatische Optimum» vor zirka acht tausend Jahren. Die Eiszeiten waren vor diesem Wechsel vor 430 000 Jahren zudem milder – die kälteste überhaupt mit einer über 100 Jahre gemittelten Tiefsttemperatur von minus 10,3 Grad

gegenüber heute war übrigens die jüngste Eiszeit. Die höchsten Temperaturen waren in den frühen Zwischenzeiten dagegen um 1 bis 1,5 Grad kühler als in den letzten vier Zyklen. Im Verlauf der frühen Phase sind die Zwischenzeiten allerdings nicht wärmer, sondern eher kühler geworden, mit der wärmsten vor 800 000 Jahren. Bemerkenswert ist auch, dass die Spitzentemperaturen der jüngsten vier Zwischenzeiten um 2 bis 4,5 Grad höher waren als die Temperatur des letzten Jahrtausends – dies, obwohl die Anteile der Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) in der Atmosphäre, wie die Eisbohrkerne zeigen, nur knapp höher waren als die vorindustrielle Konzentration. Dies weist laut dem Berner Klimaforscher Thomas Stocker darauf hin, dass die Eisbedeckung, vor allem auf Grönland, und damit die Rückstrahlung in den Weltraum damals deutlich geringer gewesen sein mussten als heute.

Über die Gründe für den unterschiedlichen Verlauf der verschiedenen Eiszeiten und damit für die langfristigen Schwankungen können die Forscher nach wie vor spekulieren. Noch ist es ihnen nicht gelungen, diese Verläufe mit den bekannten Einflüssen – vor allem einer unterschiedlichen Sonneneinstrahlung als Folge der variierenden Distanz der Erde zur Sonne, der sich verändernden Neigung der Erdatmosphäre und unterschiedlichen Rotationsparametern (Präzession) – genau zu modellieren. Sie vermuten aber, dass das Zusammenspiel der beiden Letzteren entscheidend sei, wobei möglicherweise der Einfluss der Neigung stärker gewichtet werden müsse als bisher.

Ein besonderes Augenmerk richten die Forscher auf abrupte Klimaänderungen während der Eiszeiten, sogenannte Dansgaard-Oeschger-Ereignisse, bei denen es in Grönland zu einem Temperaturabfall von 8 bis zum Teil 16 Grad Celsius gekommen war – zum letzten Mal vor etwa 10 000 Jahren. Die Abkühlung erfolgte über mehrere Jahrhunderte, während sich die Wiedererwärmung innerhalb von wenigen Jahrzehnten vollzog. Bei grossen Ereignissen fanden sie auch auf der Südhalbkugel entsprechende Signale, allerdings mit umgekehrtem Vorzeichen und weniger ausgeprägt. Wurde es im Norden plötzlich kalt, stieg die Temperatur im Süden, wenn auch langsamer und weniger stark – und umgekehrt. Die Existenz einer derartigen Nord-Süd-Schaukel, die schon früher postuliert worden war, sehen die Wissenschaftler in ihren Daten nun bestätigt.

Das Auftreten solch abrupten Klimaänderungen, deren Ursache auf eine Verlangsamung oder gar einen Stillstand der grossräumigen Wassermwälzung im Nordatlantik zurückgeführt wird, zu der der Golfstrom gehört, beschäftigt die Klimatologen seit längerem. Verschiedene befürchten, dass eine solche Änderung auch durch eine starke Klimaerwärmung ausgelöst werden könnte. Diesem Phänomen ging daher eine andere Gruppe nach. Sie untersuchte Proben einer Tiefseebohrung vor Portugal auf verschiedenste klimatische Spuren.² So erstellte sie hochaufgelöste Profile einer ganzen Reihe von Klimaparametern für die vergangenen etwa 420 000 Jahre, die letzten vier Eiszeiten; durch verschiedenste Messungen an Organismen, die an der Oberfläche beziehungsweise im Boden lebten, konnten sie Klimasignale sowohl aus der Nord- als auch der Süd-

hemisphäre rekonstruieren (siehe Grafik). Dabei zeigte sich, dass es rasche Klimaänderungen nicht nur in der jüngsten Eiszeit, sondern auch in den drei Zyklen zuvor immer wieder gegeben hatte. Sie führten offenbar jeweils zu einem Kollaps des gesamten mediterranen Ökosystems und einem starken Wachstum der nördlichen Eiskappen.

Extreme Schwankungen immer häufiger

Häufig waren Einbrüche von Kältephasen in den Eiszeiten, seltener gab es sie auch in den Zwischenzeiten. Dabei fanden die Forscher in jüngeren Zyklen mehr davon als in früheren, und dies sowohl in den warmen wie in den kalten Phasen – dies zeige, dass es dringend sei, die Ursachen dieser abrupten Klimawechsel besser zu verstehen, schreiben sie. Auch wenn die Ereignisse immer wieder anders verliefen, liessen ihre Daten erkennen, dass ein Wechsel zwischen den Gebieten, in denen Tiefenwasser an der Oberfläche Quelle – also eine Verschiebung des «Motors» der Meereszirkulation –, der wichtigste Auslöser sein dürfte. Die kalten Phasen im Norden werden

demnach durch eine vermehrte Tiefenwasserproduktion im Süden und einen Rückgang der Tiefenwasserproduktion im Norden eingeleitet; dies geht mit einer Ausdehnung des nördlichen Polareises einher. Während manche Modellrechnungen ergeben, dass der Anstoss vom Süden ausgeht, kommen andere jedoch genau zum gegenteiligen Resultat.

Für Stocker, der mit seinem Team an beiden Studien massgeblich beteiligt war, steht auf Grund der neuen Resultate fest, dass abrupte Klimaänderungen, wie sie in den immer höher auflösenden Archiven nun sichtbar werden, sehr wahrscheinlich während jeder Eiszeit auftraten und globale Folgen hatten. Als Nächstes gelte es die Auslöser zu finden, um die Anfälligkeit des Klimas auf Störungen besser quantifizieren zu können. Ein neuer Eisbohrkern aus Nordwest-Grönland soll nun auch aus dem Norden genauere Daten über die vorletzte Eiszeit liefern.

Heidi Blattmann

¹ Science-Express vom 5. Juli 2007 (doi:10.1126/science.1141038); ² ebenda vom 14. Juni 2007 (doi:10.1126/science.1139994).

Ein grünes Grönland

Uraltes Erbgut aus Eisbohrkern zeugt von vergangenem Ökosystem

kus. Bis anhin wurden Eisbohrkerne primär zur Rekonstruktion des Klimas vergangener Zeiten verwendet. Nun haben Eske Willerslev von der Universität Kopenhagen und sein internationales Forscherteam gezeigt, dass die Kerne auch Hinweise auf frühere Ökosysteme geben könnten. Sie fanden mit Hilfe von Resten uralten Erbguts aus Eisbohrkernen heraus, dass der Süden Grönlands irgendwann vor 450 000 bis 800 000 Jahren von lockeren Wäldern bedeckt gewesen sein dürfte.

Die Forscher liessen Proben aus den unteren, verschmutzten Enden zweier grönländischer Eisbohrkerne und zur Kontrolle aus einem Gletscher Nordkanadas und aus sauberen Bereichen der grönländischen Bohrungen schmelzen. Aus den festen Teilen versuchten sie dann Erbmateriale zu extrahieren. Tatsächlich konnten sie aus einem der grönländischen Eiskerne, dem Dye-3-Kern aus dem Süden Grönlands, und aus dem kanadischen Eis kurze DNA-Fragmente vielfältigen. Bei den sauberen Eisproben gelang dies erwartungsgemäss nicht; auch der zweite grönländische Bohrkern lieferte keine Ergebnisse, was aufgrund des generell schlechten Erhaltungszustands der in ihm gefundenen Eiweisse nicht erstaunte.

Die DNA-Fragmente stammten laut den Forschern von Pflanzen sowie im Fall des Dye-3-Kerns auch von wirbellosen Tieren. Mit Hilfe von Vergleichen mit bekannten Erbgut-Sequenzen liessen sich 45 Prozent der im grönländischen Eis gefundenen DNA-Fragmente mit hoher Sicherheit bestimmten Pflanzengruppen zuordnen. Darunter waren Erlen, Fichten und Kiefern, aber auch Gräser und krautige Pflanzen wie Schmetterlings- oder Korbblütler. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Süden Grönlands zur Zeit der Bildung des Dye-3-Eises von einem lockeren, borealen Wald bedeckt gewesen sei, schreiben die Forscher. In diesem hätten aufgrund der Erbgut-

analysen mit einer Sicherheit von über 90 Prozent Mitglieder der Insektenordnung der Schmetterlinge gelebt. Andere DNA-Fragmente ordneten die Forscher mit über fünfzigprozentiger Sicherheit unter anderem Käfern und Spinnen zu.

Dass die aus dem Dye-3-Kern extrahierte DNA tatsächlich uralt ist und nicht von Verschmutzungen im Labor stammt, stellten die Experten sicher, indem die Extraktionen und Vervielfältigungen in verschiedenen Instituten durchgeführt wurden. Auch dass die DNA die lokale Flora und Fauna widerspiegelt und nicht vom Wind eingehortet oder vom Eis aus anderen Gebieten mitgeschleppt wurde, meinen die Forscher – unter anderem aufgrund der Struktur des Eises – beweisen zu können. Zudem stamme das untersuchte Eis aus einer Mulde im Untergrund, die es vor dem normalen Fluss des Eises geschützt habe. Als schwierig erwies sich jedoch die Altersbestimmung. Diese sei bei grönländischen Eisbohrkernen aufgrund verschiedener Faktoren schwierig, sagt Marcus Christl von der ETH Zürich, der an der Datierung beteiligt war. Man könne kaum verlässlich datierte grönländische Eisproben, die älter als 100 000 Jahre seien.

Die Forscher versuchten dieses Problem zu lösen, indem sie vier verschiedene, physikalische und biologische Datierungsverfahren einsetzten. Die so erhaltenen Altersangaben überlappten sich laut dem Team im Bereich von 450 000 bis 800 000 Jahren; so datierten Christl und seine Kollegen das Alter des Dye-3-Eises sechs Meter über dem für die DNA-Analyse verwendeten Bereich mit Hilfe der Beschleuniger-Massenspektrometrie auf 200 000 bis 800 000 Jahre. Sollte sich das Alter der Fragmente der oberen Grenze nähern, würde es sich um die bisher älteste von mehreren Labors verifizierte DNA handeln. Science 317, 111–113 (2007).

INHALT

Heikle Embryonen-Selektion im Labor
Bei In-vitro-Fertilisationen werden die Embryonen mancherorts im Labor genetisch getestet, bevor sie der Frau eingepflanzt werden. Dies schmälert die Chance aufs eigene Kind. **B 3**

Monatswetter **B 4**
Mobil · Digital **B 5–B 8**

redaktion.wissenschaft@nzz.ch

Verantwortlich für diese Beilage: Heidi Blattmann (Leitung); Christian Speicher, Alan Niederer, Stephanie Kusma, Vera Bettenworth, Hanna Wick, Stefan Betschorn