

Treibhausgase: Wir verlassen den Schwankungsbereich der letzten 420'000 Jahre

Natürliche Archive enthüllen weitere Klimadaten aus der Vergangenheit

In den letzten Monaten sind zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten zur Klimaentwicklung in der Vergangenheit publiziert worden. Eisbohrkerne aus der Antarktis zeigen z.B., dass gewisse Klimaparameter (globale Temperatur, Treibhausgase) in den letzten 420'000 Jahren stark variiert haben, aber bestimmte Grenzen nie verlassen worden sind. Auch wenn bezüglich des vergangenen Klimas noch lange nicht alles klar ist, scheinen einige Dinge mittlerweile gesichert: So hoch wie heute waren die Treibhausgaskonzentrationen (CO₂ und Methan) in den letzten 420'000 Jahren nie. Auch sind sie in dieser Zeit nie so schnell angestiegen wie in den letzten hundert Jahren.

Die Beendigung der Eisbohrungen an der Vostok-Station in der Antarktis erlaubt die Ausdehnung der Klimazeitreihe auf die letzten vier Eiszeit-Warmzeit-Zyklen, d.h. auf die letzten ca. 420'000 Jahre. Die Schwankungen der Temperaturen in der Antarktis und der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen (CO₂ und Methan) sind in jedem Zyklus ähnlich und bewegen sich innerhalb stabiler Grenzen (Schwankung der mittleren Temperatur in der Antarktis um bis zu 12°C). Ein grosser Teil dieser Veränderungen verläuft parallel zu den Schwankungen der Erdbahnparameter (z.B. Form der Erdbahn um die Sonne, Schiefe der Erdachse). Am ausgeprägtesten tritt die Periodendauer von ca. 100'000 Jahren hervor. Nicht immer reagiert das Erdklima auf diese Veränderungen genau gleich. Vor allem ändert sich das Klima häufig viel schneller als diese Parameter. Es sind also noch andere Einflussfaktoren im Spiel. Auffallend ist die gute Korrelation zwischen den antarktischen Temperaturen und der CO₂-Konzentration, wobei letztere häufig hintennachzuhinken scheint und die Tempe-

raturveränderungen nachträglich verstärkt (positive Rückkopplung). Dass wie in diesem Jahrhundert die CO₂-Konzentration vor der oder parallel zur Temperatur ansteigt, ist also ebenfalls aussergewöhnlich. Die Abfolge von Eis- und Warmzeiten verläuft immer etwa ähnlich. Heute scheinen wir aus diesem regelmässigen Muster auszubrechen: Methan- und CO₂-Konzentrationen waren noch nie so hoch wie heute, der Anstieg verlief noch nie so schnell (in hundert Jahren etwa so viel wie sonst in tausend). Für die Entwicklung des Menschen bedeutend, aber nicht von ihm beeinflusst ist die Tatsache, dass die gegenwärtig andauernde Warmperiode mit bisher 11'000 Jahren bei weitem die längste im untersuchten Zeitraum ist.

Bedeutung und Unsicherheiten der Klimarekonstruktion

Das Wissen um die Veränderungen des Klimas und der verschiedenen Einflussfaktoren in der Vergangenheit ist sehr wichtig für die Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklung. Verschiedene Daten und Aufzeichnungen aus der vergangenen Zeiten helfen einerseits, die natürlichen Schwankungen zu erfassen. Andererseits zeigen sie, welche Faktoren sich gleichzeitig mit dem Klima verändern. Daraus können Schlüsse auf mögliche Zusammenhänge gezogen werden.

Die Rekonstruktion der Klimaverhältnisse in früheren Zeiten bietet jedoch verschiedenste Schwierigkeiten. Seit Mitte des letzten Jahrhunderts gibt es kontinuierliche instrumentelle Aufzeichnungen von Klimaparametern (Druck, Temperatur, Niederschlag etc.). Damit können jedoch nur Veränderungen in diesem Zeitbereich erfasst werden. Klimaschwankungen verlaufen jedoch zum Teil über



mehrere hundert bis zu Hunderttausenden von Jahren hinweg. Hier muss mit indirekten Daten gearbeitet werden, wie z.B. mit Jahrringen, Eisbohrkernen, Seesedimenten oder historischen Aufzeichnungen.

Die Rekonstruktion von Temperaturreihen aus Zeiten ohne Messungen erfolgt jeweils anhand von bekannten Zusammenhängen zwischen der Temperatur und anderen, von damals erhalten gebliebenen Parametern (so genannte „Proxies“, z.B. Jahrringe). Diese Zusammenhänge sind jedoch nicht immer genau bekannt und können sich auch im Laufe der Zeit verändern. Vor kurzem wurde zum Beispiel festgestellt, dass an den nördlichen Waldgrenzen in Nordamerika und Eurasien die Jahrringbreiten und -dichten seit 1960 kontinuierlich abnehmen und nicht mehr wie in den vorausgehenden 80 Jahren dem Diktat der Sommertemperatur folgen. Die Gründe dafür sind unklar. Als mögliche Ursachen werden die Schwefeldioxid-Belastung und eine kürzere Wachstumsperiode diskutiert.

Es ist kaum erstaunlich, dass je nach verwendeten Ausgangsdaten und Auswertemethoden z.T. voneinander abweichende Resultate gefunden werden. Durch zusätzliche Auswertungen werden so zwar Details im Bild der klimatischen Vergangenheit immer wieder etwas verändert. Trotzdem wird das Gesamtbild immer deutlicher. Über lange Zeit etablierte

Methoden wie die Jahrringanalysen haben mittlerweile viele der Schwierigkeiten im Griff. Die meisten Auswertungen zeigen deshalb auch eine relativ gute Übereinstimmung.

Die Konzentrationen der Treibhausgase in den Luftbläschen von Eisbohrkernen können direkt gemessen werden; allerdings ist es in gewissen Fällen möglich, dass sie im Verlaufe der Zeit durch chemische Prozesse verändert worden sind.

Immer wieder werden auch neue Methoden zur Klimarekonstruktion entwickelt. Vor kurzem wurde beispielsweise eine Studie veröffentlicht, in welcher CO₂-Konzentrationen indirekt über die Auswertung von Pflanzenresten aus den letzten ca. 10'000 Jahren bestimmt wurden. Sie ergab höhere Werte, als dies die Messungen aus den Eisbohrkernen zeigen. Weil bisher nur wenige Auswertungen vorliegen, ist der Unsicherheitsbereich allerdings sehr gross. Die Resultate sind umstritten und werden zur Zeit in Fachkreisen auch heftig diskutiert. Erst zahlreiche weitere Anwendungen und Diskussionen werden zeigen, mit welcher Genauigkeit diese Methode Resultate hervorbringen kann.

Eine weitere kürzlich publizierte Arbeit hat sich speziell mit den Unsicherheitsbereichen der verschiedenen Temperaturrekonstruktionen in den letzten 1000 Jahren befasst. Dabei zeigte sich, dass 1998

Kontaktpersonen:

Baumringe:

Prof. Fritz H. Schweingruber, Landschaftsdynamik und -management, WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Tel: 01-739 22 81, Fax : 01-739 22 15, e-mail: schweingruber@wsl.ch

Eisbohrkerne:

Prof. Thomas Stocker, Klima- und Umweltphysik, Universität Bern, Sidlerstr. 5, 3012 Bern, Tel: 031-631 44 62, Fax: 031-631 44 05, e-mail: stocker@climate.unibe.ch

Prof. Bernhard Stauffer, Klima- und Umweltphysik, Universität Bern, Sidlerstr. 5, 3012 Bern, Tel: 031-631 44 67, Fax: 031-631 44 05, e-mail: stauffer@climate.unibe.ch

Historische Daten:

Prof. Christian Pfister, Abt. für Wirtschafts-, Sozial- und Umweltgeschichte, Historisches Institut, Universität Bern, Unitobler, 3000 Bern 9, Tel: 031-631 83 84, Fax: 031-631 48 66/44 10, e-mail: pfister@hist.unibe.ch

See-Sedimente:

Prof. André Strasser, Institut de Géologie, Université de Fribourg, Pérolles, 1700 Fribourg, Tel: 026-300 89 78, Fax: 026-300 97 42, e-mail: andreas.strasser@unifr.ch

Dr. André Lotter, Systematisch-Geobotanisches Institut, Universität Bern, Altenbergrain 21, 3013 Bern, Tel: 031-631 49 32, Fax: 031-332 20 59, e-mail: lotter@sgi.unibe.ch

PAGES:

Keith Alverson, International Project Office, PAGES, Bärenplatz 2, 3011 Bern, Tel: 031-312 31 33, Fax: 031-312 31 68, e-mail: alverson@pages.unibe.ch

in jedem Fall das wärmste Jahr dieses Jahrtausends war, auch wenn man alle bekannten Fehlermöglichkeiten bei älteren Daten und die Unterschiede in den Resultaten berücksichtigt.

Methoden der Klimarekonstruktion

Ein Hauptproblem der Klimaarchive ist immer deren zeitliche Einordnung. Diese erfolgt oft durch Referenzreihen, d.h. man vergleicht die gefundene Zeitreihe mit bereits bekannten Reihen und versucht, anhand von markanten Punkten (z.B. Extremwerten oder auffälligen Schwankungen) eine Datenreihe „einzu-passen“.

Bei der Interpretation solcher Daten muss immer berücksichtigt werden, dass es sich um „Fingerabdrücke“ des lokalen Klimas handelt. Eine Ausnahme bildet die Methankonzentration, die global sehr homogen ist und deshalb als relative Zeitskala dienen kann.

Mit Jahrringen lassen sich klimatische Ereignisse genau datieren. Wichtig ist die Wahl des Standortes der untersuchten Bäume, da viele Faktoren (Temperatur, Niederschlag, Frost, Schädlinge) das Baumwachstum beeinflussen: Für die Rekonstruktion von Sommertemperaturreihen sind z.B. Extremstandorte an Kältengrenzen geeignet, da dort das Wachstum primär temperaturabhängig ist. Für die nördliche Hemisphäre gibt es von Waldgrenzstandorten ein flächendeckendes Jahrringnetzwerk für die letzten 400 Jahre und von wenigen Regionen (Skandinavien und Nordural) sogar 6000-jährige klimatologisch erklärbare Reihen. In Mitteleuropa gibt es eine nahezu 10'000-jährige Eichenreihe. In der Regel sind wesentliche Abweichungen von der 400-jährigen Norm beim Zusammenhang Temperatur-Jahrringe auf vulkanische Ereignisse zurückzuführen. Mit Jahrringen aus dem flächendeckenden Netzwerk können deshalb die Einflussbereiche der grossen vulkanischen Eruptionen rekonstruiert werden.

Eisbohrkerne werden meist aus arktischen Eismassen oder auch alpinen Gletschern gewonnen. Schwierigkeiten bieten hier manchmal einerseits die Datierung des Eises, andererseits der Altersunterschied zwischen dem Eis und der eingeschlossenen Luft. Letzterer kommt dadurch zustande, dass die Eisschichten über längere Zeit noch Verbindung zur Atmosphäre haben (Gasaustausch!), und erst nach einer gewissen Zeit von der Aussenwelt isoliert sind. Einerseits kann die Dauer bis zur Abgeschlossenheit variieren, andererseits werden durch diesen Austausch auch die

Werte etwas „verwischt“. Dieses Problem können die Forschenden bei der Interpretation berücksichtigen bzw. zum Teil auch korrigieren.

Wichtige Grundlagen werden auch aus geschichteten See-Sedimenten gewonnen. Die Ablagerung ist je nach Jahreszeit unterschiedlich. Dadurch entsteht wie bei den Baumringen an gewissen Orten eine jahreszeitliche Auflösung. Eine kürzlich veröffentlichte Studie mit solchen Daten stellt die Hypothese auf, dass die Kleine Eiszeit im 16./17. Jahrhundert kein Einzelfall gewesen sein, sondern sich mit einer gewissen Regelmässigkeit (vermutete Wiederkehrperiode von ca. 1500 Jahren) wiederholen könnte. Diese Auswertungen sind in Fachkreisen zur Zeit noch umstritten.

Witterungsaufzeichnungen in historischen Dokumenten liegen für die letzten 900 Jahre vor. Bis um 1500 sind nur grössere Abweichungen der Temperatur und des Niederschlags sowie Naturkatastrophen beschrieben, seit ca. 1500 auch der tägliche Witterungsverlauf. Viele Chronisten belegten ihre Beobachtungen durch quasi objektive Temperaturzeiger. Im Winterhalbjahr waren dies etwa die Dauer der Schneebedeckung und die Eisbedeckung von Gewässern, im Sommerhalbjahr Hinweise auf den Stand der Pflanzenentwicklung. Solche Angaben lassen sich in Schätzwerte der Temperatur umsetzen. Schwierigkeiten ergeben sich bei unzureichender Dichte des Materials oder mehr noch auf Grund mangelnder Sorgfalt bei der Bearbeitung. Unverzichtbar sind historische Aufzeichnungen bei der Rekonstruktion von Naturkatastrophen vor dem 20. Jahrhundert. Je extremer ein Ereignis, desto mehr und desto ausführlichere Berichte liegen vor. Überschwemmungen sind zudem oft durch Hochwassermarken belegt.

Internationale Koordination

Weitere Auswertungen von Paläodaten sind von grosser Bedeutung, um die bisherigen Kenntnisse zu verbessern und um genauere Rückschlüsse auf das Zusammenspiel der verschiedenen Einflussfaktoren ziehen zu können. Das internationale Programm PAGES (Past Global Changes) koordiniert weltweit die entsprechenden Forschungstätigkeiten. Die Schweiz hat eine langjährige Tradition in der Paläo-Klimaforschung. Nicht zuletzt deshalb befindet sich das Internationale Projektbüro von PAGES in der Schweiz, in Bern. Die Koordination der Schweizer Forschung mit den internationalen Klima-Programmen wird von ProClim wahrgenommen.

Internetseiten

<http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/globalwarming/home.html>

Ausführliche und sehr gut dokumentierte Übersicht über die Verwendbarkeit und die Herkunft von Paläodaten. Mit Grafiken von verschiedenen Datenreihen.

Quelle: U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

http://www.sprl.umich.edu/GCL/Notes-1998-Fall/climate_rec.html

Grundlagen zu Paläo-Klimadaten. Beschreibung der wichtigsten Datenquellen mit Übersichtsgrafiken.

Quelle: Space Physics Research Laboratory, University of Michigan

<http://www.pkdb.uni-hohenheim.de/quart.html>

Angabe von sehr vielen Links zu Internet-Seiten über spezifische Themenbereiche.

Quelle: Institut für Botanik, Universität Hohenheim