



■ Bohrkopf und Eisbohrkern aus einer Tiefe von 2874 Metern von Dome Concordia Station (Antarktis). Die Bohrung erfolgte im Rahmen des European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA). Der Eisbohrkern enthält eine kontinuierliche Klimageschichte über die letzten 800.000 Jahre. Foto: L. Augustin, LGGE, Grenoble

78

AUF DER SUCHE NACH DEM ÄLTESTEN EIS

PROF. DR. THOMAS STOCKER

Position: Professor für Klima und Umweltphysik, Universität Bern, Schweiz

Forschungsinteresse: Dynamik des Klimasystems, Klimawandel in der Vergangenheit und Zukunft, Entwicklung von Klimamodellen

Foto: Universität Bern, Adrian Moser



Kohlendioxid (CO₂) ist das neben Wasserdampf wichtigste Treibhausgas in der Atmosphäre. Ohne Treibhausgase gibt es kein Leben auf der Erde, denn die mittlere Temperatur an der Oberfläche wäre nur gerade -18 Grad Celsius. Trotz ihrer relativ geringen Konzentration in der Atmosphäre erhöhen diese Treibhausgase die mittlere Temperatur auf etwa +15 Grad Celsius. Seit der Industrialisierung ist die CO₂ Konzentration in der Atmosphäre rasant auf Werte angestiegen, die diejenigen der letzten 800.000 Jahre um 30 Prozent übertreffen. Dieser Anstieg der Treibhausgaskonzentration und die Rückkoppelungen im Klimasystem verursachen eine weltweite Erwärmung mit vielen weiteren Veränderungen in der Atmosphäre, im Ozean, auf dem Land und in den Polargebieten.

Ein Pfeiler der Klimaforschung

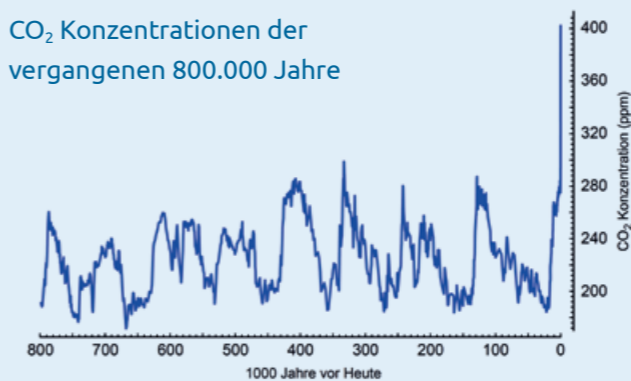
Die außerordentliche Zunahme der Treibhausgaskonzentrationen ist dank der wissenschaftlichen Erkenntnisse der letzten 50 Jahre zu einem Faktum geworden. Ebenso ist deren Ursache geklärt: durch die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas, sowie durch die Abholzung tropischer Regenwälder und die Landnutzung sind große Mengen von Kohlendioxid, Methan (CH₄) und

Lachgas (N₂O) in die Atmosphäre gelangt, wo diese Moleküle langwellige Strahlung absorbieren und die Energiebilanz der Erde verändern.

Für Kohlendioxid, das bedeutendste der drei Treibhausgase, gibt es erst seit 1958 direkte atmosphärische Messungen. Deshalb muß die Frage geklärt werden, ob bereits zu früherer Zeit erhöhte Konzentrationen vorlagen und Messungen eine natürliche Schwankung anzeigen würden.

Polare Eisbohrkerne der Antarktis enthalten alte Lufteinschlüsse, deren Analyse eindeutig belegt, dass die heutigen Konzentrationen weit außerhalb der natürlichen Schwankungsbreite der letzten 800.000 Jahre liegen. Diese Eisbohrkerne erlauben, das Ausmaß des menschlichen Eingriffs in das Erdsystem in einen langfristigen Kontext zu stellen. Auch heute wird Luft im Eis der Antarktis eingeschlossen und bleibt für die ferne Zukunft in diesem einmaligen Klimaarchiv erhalten. Nachfolgende Generationen von Wissenschaftlern werden diese Luft analysieren und damit einen unumstößlichen Hinweis finden auf eine außergewöhnliche geologische Epoche ohne vorgängiges Analog. Diese Epoche wird zutreffend als Anthropozän bezeichnet. Das Anthropozän ist die erste Epoche auf unserem Planeten, in welcher das Klima durch den Menschen so verändert wurde, dass messbare Spuren davon geologische Zeiträume überdauern werden.

CO₂ Konzentrationen der vergangenen 800.000 Jahre

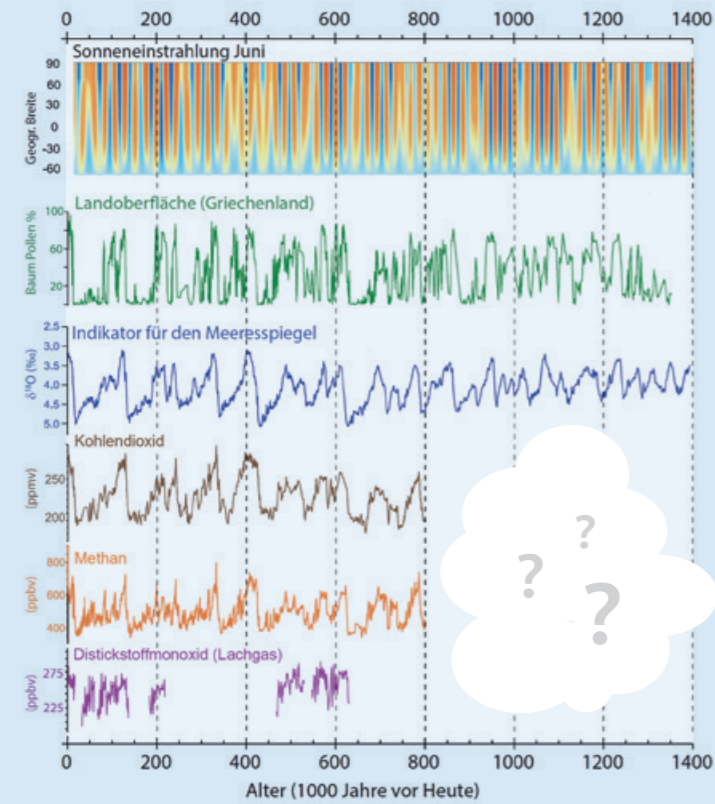


■ Die Messungen an verschiedenen Eisbohrkernen der Antarktis belegen, dass die heutige Konzentration über 30 Prozent höher ist als je in den letzten 800.000 Jahren. Der älteste Abschnitt wurde durch den Eiskern von Dome Concordia Station erschlossen, der im Rahmen des Europäischen Projekts EPICA erbohrt wurde. Grafik aus Daten von Lüthi et al., 2008, Nature, und NOAA.

79

Thomas Stocker hat an der ETH Zürich Umweltphysik studiert und 1987 mit dem Doktorat, mit Auszeichnung, abgeschlossen. Nach Forschungsaufenthalten am University College (London), an der McGill University (Montreal), an der Columbia University (New York) wurde er 1993 als Professor an das Physikalische Institut der Universität Bern berufen, wo er seither die Abteilung für Klima- und Umweltphysik leitet. Seine Forschung umfasst die Entwicklung von vereinfachten Klimamodellen zur Simulation vergangener und künftiger Klimaänderungen, sowie die Bestimmung der Treibhausgaskonzentrationen der Atmosphäre anhand von Eisbohrkernen aus der Antarktis.

Thomas Stocker ist Autor oder Mitautor von über 200 wissenschaftlichen Artikeln. Nach 10 Jahren Engagement im Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) der UNO wurde er im September 2008 zum Vorsitzenden der Arbeitsgruppe I des IPCC für die Periode 2008-2015 gewählt. Für seine Arbeiten erhielt er den Nationalen Latsis Preis, Ehrendoktorate der Universität Versailles und der ETH Zürich, sowie die Hans Oeschger Medaille der European Geosciences Union. 2012 wurde er Fellow der American Geophysical Union; seit 2015 ist er Auswärtiges Mitglied der Accademia Nazionale dei Lincei und der American Academy of Arts and Sciences.



TREIBER DER NATÜRLICHEN KLIMAÄNDERUNGEN

Die Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas, den wichtigsten Treibhausgasen vor 800.000 Jahren sind unbekannt. Zur Lösung des größten Rätsels der Klimadynamik der letzten 1,5 Millionen Jahre wird ein Eiskern aus der Antarktis benötigt. Grafik modifiziert von PAGES 2009.

Ein großes Rätsel der Klimaforschung: Was bremste die Eiszeiten?

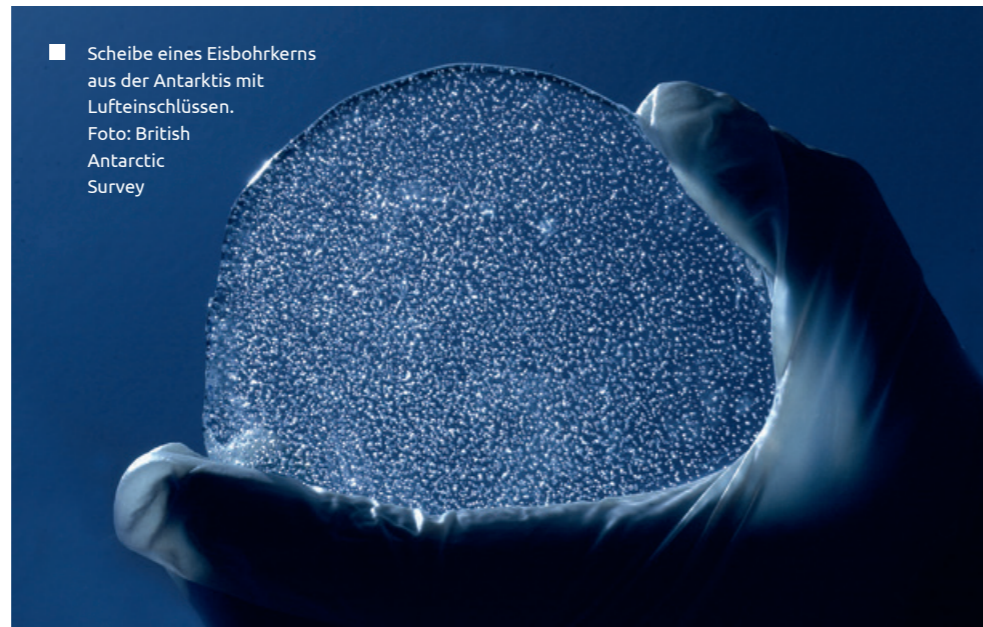
Die gesellschaftliche Relevanz der Klimaforschung erzeugt einen Themendruck, der den wissenschaftlichen Fortschritt langfristig behindert, indem zunehmend „Auftragsforschung“ gefragt ist. Gerade deshalb hat die Grundlagenforschung zum Thema Klimawandel in den letzten Jahren wieder an Bedeutung gewonnen. Wenn wir den Zeithorizont der letzten 800.000 Jahre erweitern, zeigen die Klimaarchive der Sedimente im Ozean, wie sie auch am GEOMAR untersucht werden, und in Seenablagerungen, dass sich die Klimadynamik der Eiszeiten vor etwa einer Million Jahre deutlich verändert hat. Der Stand des Meeresspiegels und die Zusammensetzung der Pollen auf dem Land belegen, dass die Eiszei-

ten etwa 2,5 Mal schneller einander folgten als in den letzten 800.000 Jahren. Damals dauerte ein Zyklus nur gerade 42.000 Jahre und auch die Amplitude der Eiszeiten war geringer. Vor etwa einer Million Jahre erfolgte dann ein Übergang zu größeren und langsameren Eiszeitzyklen von etwa 100.000 Jahren.

Dieser Wechsel zu einer anderen Dynamik stellt die Forschung vor ein großes, bisher noch ungelöstes Rätsel. Zwar kann man aus den Klimaarchiven einen Schwellenwert für die Sommersonneneinstrahlung auf 65 Grad nördlicher Breite ableiten, wann eine Eiszeit zu Ende geht. Unbekannt ist aber, wieso dieser Schwellenwert sich vor einer Million Jahren langsam erhöht hat.

Ein wichtiger Klimaantrieb fehlt jedoch, um die Frage zu beantworten, was die Eiszeiten gebremst hat. Um eine vollständige Energiebilanz der Erde zu berechnen, müssen die Konzentrationen der Treibhausgase in der Atmosphäre während der Zeit vor 800.000 Jahren gemessen werden. Diese Lücke der Erkenntnis kann nur durch einen neuen, noch weiter zurückreichenden Eiskern aus der Antarktis geschlossen werden. Abschätzungen aus numerischen Modellen des antarktischen Eisschildes, sowie der Bodentopographie und der geographischen Verteilung der geothermalen Quellen zeigen, dass an einigen eng begrenzten Stellen Eis bis zu einem Alter von 1,5 Millionen Jahren erwartet werden darf. Der Plan ist, an diesem alten Eis die Konzentrationen von CO_2 , CH_4 und N_2O zu bestimmen. Neben der Energiebilanz würden solche Messungen auch erstmals Auskunft über den globalen Kohlenstoffkreislauf während dieser schnelleren Eiszeiten geben. Neueste analytische Methoden lie-

■ Scheibe eines Eisbohrkerns aus der Antarktis mit Luftfeinschlüssen. Foto: British Antarctic Survey



DER KLEINSTE EISBOHRER DER WELT

Der gerade zwei Zentimeter große Bohrkopf des Rapid Access Drill for Ice Xtraction (RADIX), der von Jakob Schwander an der Universität Bern entwickelt wird, soll innerhalb von vier Tagen 2,5 Kilometer tief in das Eisschild der Antarktis eindringen und Informationen über das Alter des tiefen Eises liefern. Foto: Manu Friedrich, Universität Bern

fern auch die stabilen Isotopenverhältnisse in den Treibhausgasen, aus denen Ozean- und Landprozesse während den Eiszeitzyklen quantifiziert werden können.

Mit dem „Berner Zahnarztbohrer“ auf die Suche

Vollständige Eiskerne, die älter als eine Million Jahre alt sind, werden nur an sehr wenigen Stellen der Antarktis erwartet. Bevor eine Station zur Tiefbohrung eingerichtet wird, muss mit möglichst vielen, unabhängigen Methoden das Alter des Eises eingegrenzt werden. Modellsimulationen, Radar- und Echoprofile durch den Eisschild zur Bestimmung der Eisschichtung und der Bodentopographie, sowie die Abschätzung des geothermischen Wärmeflusses liefern Informationen, mit welchen vielversprechende Bohrstellen identifiziert werden können. Jedoch kann die Entscheidung für eine Bohrstelle nur aufgrund von direkten Messungen von physikalischen Parametern gefällt werden. Deshalb werden seit einigen Jahren innovative polare Schnellbohrgeräte entwickelt. Diese sogenannten Rapid Access Drills sollen in wenigen Tagen das Felsbett auf 2,5 bis 3 Kilometer Tiefe erreichen.

Das Physikalische Institut der Universität Bern verfügt über viele Jahrzehnte Erfahrung in der Herstellung von Bohrgeräten für Eiskerne. Jakob Schwander hat nun

mit einer Miniaturisierung den weltweit kleinsten Eisbohrer mit einem Durchmesser von nur zwei Zentimeter entwickelt. Dank der geringen Dimension des Bohrers wird die Menge an Bohrflüssigkeit massiv reduziert. Der logistische Aufwand ist deshalb viel geringer als mit konventionell dimensionierten Schnellbohrern. Mit diesem „Zahnarztbohrer“, der im Sommer 2017 in Grönland erfolgreich getestet wurde, will das Forschungsteam um Thomas Stocker 2018/19 in der Antarktis innerhalb von vier Tagen auf eine Tiefe von 2,5 Kilometer bohren. Entlang diesem Bohrloch sollen mit einer speziell entwickelten Sonde die Temperatur und der Staubgehalt

bestimmt werden. Während einer Warmzeit ist die Staubkonzentration in der Antarktis etwa hundertmal geringer als in der Eiszeit. Das ist ein zuverlässiger Indikator für Warmzeiten: durch Abzählen der Phasen von „sauberem“ Eis kann das Alter direkt bestimmt werden. Mit dem gemessenen Temperaturprofil können schließlich die numerischen Eismodelle überprüft werden.

Die schnelle Beprobung mehrerer möglicher Bohrstellen ermöglicht, die optimale Wahl für die Errichtung der Station für das europäische Projekt *Beyond EPICA – Oldest Ice* zu treffen. Der Eiskern, der in diesem Projekt gewonnen werden soll, wird bisher unbekannt Informationen über die Klimadynamik liefern. Thomas Stocker erwartet, dass dieser Kern eine zusammenhängende Klimageschichte der letzten 1,5 Millionen Jahre enthält. Wenn alles klappt, wird die Klimaforschung diese Geschichte ab 2022 entschlüsseln können.

Mehr zu diesem Thema: www.geomar.de/fileadmin/content/service/presse/public-pubs/petersen-essays/stocker_essay.pdf

DIE POLITISCHE RELEVANZ DER KLIMAFORSCHUNG

Mit dem Erdgipfel von Rio 1992 wurde der Klimawandel von den Vereinten Nationen als globales Problem erkannt. Bereits zwei Jahre später trat die UNO Rahmenkonvention zum Klimawandel in Kraft, in welcher sich alle Länder verpflichten, die Treibhausgaskonzentrationen auf einem Niveau zu beschränken, das eine gefährliche Einwirkung des Menschen auf das Klimasystem verhindert. Diese Konvention wäre ohne den Beitrag der Wissenschaft nicht zustande gekommen. Von zentraler Bedeutung war, dass die UNO durch die Gründung des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) einen formell geregelten Mechanismus installiert hat, der periodisch den neusten Stand der Kenntnisse über den menschengemachten Klimawandel zusammenfasst und beurteilt. IPCC ist in drei Arbeitsgruppen organisiert, die aus Wissenschaftlern bestehen, die als Autoren der Berichte gewählt werden. Der Auftrag zur Berichterstellung erfolgt durch die Nationen, die Zusammenfassungen der Berichte werden nach einer formellen Plenarversammlung im Wortlaut verabschiedet.

Die Aussagen des letzten Berichts, der 2014 veröffentlicht wurde, legen die Fakten dar, die über den menschengemachten Klimawandel auf dem Tisch liegen: „Der Einfluss des Menschen auf das Klimasystem ist klar und die jüngsten anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen sind die höchsten in der Geschichte.“ Die Klimawissenschaft, und insbesondere die Analyse der Eisbohrkerne, haben diese klaren und unmissverständlichen Aussagen ermöglicht.