

Zeitreise ins Eis

Im polaren Eis ist die Geschichte unseres Klimas gespeichert

>> **Elisabeth Schlosser**

In den gewaltigen Eisschilden Grönlands und der Antarktis sind nicht nur 99 Prozent der gesamten Eisvorräte unserer Erde enthalten, das Eis ist auch ein einzigartiges Klimaarchiv. Um dem Eis wertvolle Informationen über das Klima der letzten 800.000 Jahre zu entlocken, wird durch das Eis bis zum Felsuntergrund gebohrt. An den so gewonnenen Eisbohrkernen werden verschiedenste Eigenschaften untersucht, aus denen Rückschlüsse auf das Klima der Vergangenheit gezogen werden können.



22. Januar 1992: Ich sitze am Steuer meines Pistenbullys, der zwei schwere Schlitten im Schlepptau hat. Wir befinden uns an der Sommerforschungsstation „Filchner“ auf dem Filchner-Schelfeis in der Antarktis und werden uns in Kürze mit fünf weiteren Schlittengespannen auf den Weg nach Süden machen, zu einem namenlosen Punkt auf 79 Grad südlicher Breite. Dort wollen wir einen Eisbohrkern aus dem Schelfeis ziehen. Solch ein Kern hat einen Durchmesser von etwa zehn Zentimetern; in unserem Fall wird er „nur“ einige hundert Meter lang sein, denn das Schelfeis ist ein schwimmender Gletscher, der vom Rand des Kontinents auf das Meer hinausfließt. Im Inneren der Antarktis sind die Eisbohrkerne einige Kilometer lang und enthalten Eis, das mehrere Warm- und Eiszeiten überdeckt. Die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Eises geben uns wertvolle Informationen über das Klima der Vergangenheit.

Im Oktober 1998 kommt eine zunächst erschreckende Meldung: Ein riesiger Eisberg ist vom Filchner-Schelfeis abgebrochen, mit ihm die Filchner-Station inklusive Treibstoffvorräten! Der Eisberg treibt im Polarmeer nach Norden und wird irgendwann abschmelzen, die Station im Meer versinken. Da ein solches Szenario eine beträchtliche Umweltbelastung darstellen würde, wird der Forschungseisbrecher „FS Polarstern“ losgeschickt, um die Station zu retten. Trotz schwieriger Meereisbedingungen gelingt der Versuch, die Station wird komplett abgebaut und auf das Schiff verladen. Der Zeitpunkt des Abbruchs stellt sich als nicht ungünstig heraus: Die zerlegte Filchner-Station wird in einer Pistenbully-Traversal auf das Inlandeis gebracht, wo sie wieder aufgebaut und als Basis für EPICA, das bisher größte Eisbohrkernprojekt in der Antarktis, verwendet wird.

EPICA

Das sogenannte EPICA-Projekt (European Project for Ice Coring in Antarctica) ist eine Kooperation von acht europäischen Staaten, bei der zwei Tiefbohrungen auf dem Inlandeis der Ostantarktis durchgeführt wurden. Eine auf der atlantischen Seite, knapp 3000 Meter hoch gelegen, und eine weitere am Dome C, auf über 3200 Meter Höhe, wo die Jahresmitteltemperatur –55 Grad Celsius beträgt und jährlich weniger Niederschlag fällt als in der Sahara. Daher erhoffte man sich an Dome C

besonders altes Eis. Bisherige Bohrungen hatten ein Eisalter von ca. 400.000 Jahren erbracht, an Dome C wurde Eis erbohrt, das 800.000 Jahre alt war, das bisher älteste Eis überhaupt. Da man in dem kalten Klima nur im Sommer bohren kann, wenn die Temperaturen auf erträgliche –25 Grad steigen, dauert es mehrere Jahre, bis man einen Kern, der bis zum Felsbett des Eisschildes reicht, gezogen hat. Der beträchtliche logistische und finanzielle Aufwand lohnt sich jedoch: Die Untersuchung von Eisbohrkernen aus der Antarktis und Grönland ist eine der faszinierendsten und erfolgreichsten Methoden in der Paläoklimatologie.

Klimaarchiv im Eis

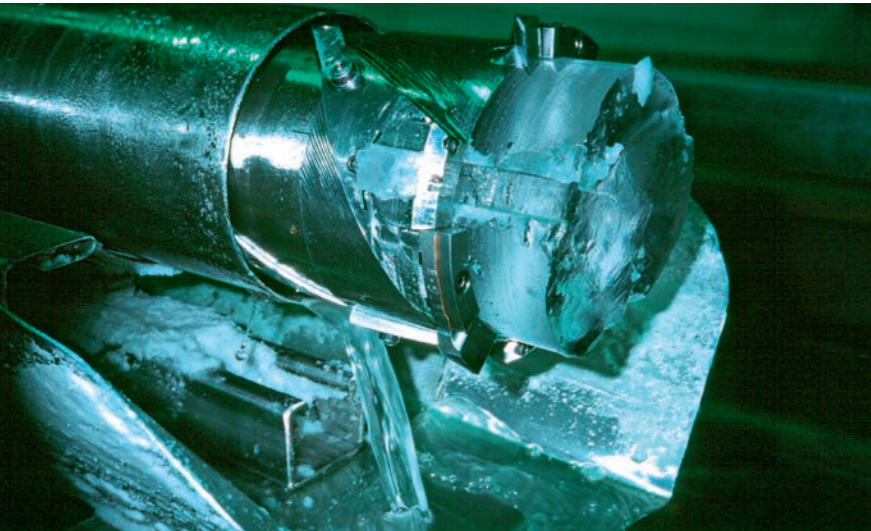
Prinzipiell werden drei verschiedene Dinge am Eis gemessen: Da das Eis der großen Eisschilde nicht einfach gefrorenes Wasser ist, sondern – genau wie unsere Alpengletscher – aus gefallenem Schnee entsteht, der unter seinem eigenen Gewicht im Laufe der Jahre bis Jahrtausende immer mehr zusammengepresst und verdichtet wird, enthält das Eis kleine Luftbläschen. In diesen Luftbläschen ist die Zusammensetzung der Atmosphäre zum Zeitpunkt der Eisbildung gespeichert. Wir können also aus den Eisbohrkernen Informationen über Treibhausgas-Konzentrationen aus früheren Zeiten erhalten, und das ist etwas absolut Einzigartiges: Kein anderes Klimaarchiv der Erde liefert uns diese Information.

Weiters kann man chemische Verunreinigungen des Eises messen. In den grönländischen Bohrkerne kann man zum Beispiel deutlich die zunehmende Luftverschmutzung seit Beginn der Industrialisierung erkennen, aber auch eine Abnahme des Bleigehaltes seit der Einführung des bleifreien Benzins. Staub im Eis gibt einen Hinweis auf die Trockenheit des Klimas, aber auch auf die Stärke der vorherrschenden Winde, die den Staub in die Antarktis transportieren. Aus dem Salzgehalt im Eis kann man Rückschlüsse auf die frühere Ausdehnung des Meereises ziehen.

Schließlich werden die physikalischen Eigenschaften des Eises untersucht. Von besonderem Interesse sind hier die sogenannten stabilen Isotope des Wassers. Isotope sind nichts anderes als verschiedene Arten des gleichen Stoffes; so gibt es einen „normalen“ Sauerstoff (und Wasserstoff) und eine schwerere Variante, die eher selten ist.

Luftblasen in einem Teil eines Eiskernstücks aus Grönland: In ihnen ist die Zusammensetzung der Atmosphäre zum Zeitpunkt der Eisbildung gespeichert. Das Eis wird mit der Tiefe immer klarer, die Luftblasen werden kleiner, bis sie in großer Tiefe mit freiem Auge nicht mehr zu erkennen sind.

Alle Abbildungen © Alfred-Wegener-Institut (S. Kipfstuhl), www.awi.de



Bohrloch einer grönländischen Tiefbohrung und Eiskernbohrer mit Eiskern an der Tiefbohrlokation Dome C in der Ostantarktis (oben).

Das Verhältnis dieser verschiedenen schweren Isotope gibt uns einen Hinweis auf die Temperatur, bei welcher der Schnee gefallen ist, der letztendlich das Eis gebildet hat. In den oberen Schichten des Kernes kann man daher jahreszeitliche Schwankungen erkennen, und auch den Wechsel zwischen Warm- und Kaltzeiten kann man deutlich am Isotopenprofil des Kernes ablesen.

Schon vor der Durchführung der Bohrung wird der Kern genau ein- und aufgeteilt und bestimmt, welche Eigenschaften von welchem Labor gemessen werden. So werden die chemischen Untersuchungen an den innersten Abschnitten des Kernes durchgeführt, um ungewollte Verunreinigungen möglichst auszuschließen. Jeder Kernabschnitt wird genau beschriftet, und nicht nur das Tiefenintervall, sondern auch die Richtung markiert. Die Kerne werden dann in mit Styropor ausgelegten Holzkisten oder in Styroporkisten verstaut und in gefrorenem Zustand in die Kühlräume der Labors in Europa gebracht.

Um die Eiskerne zu datieren und damit die gefundenen Eigenschaften zeitlich einzuordnen, werden verschiedene Methoden angewendet. In den oberen Schichten des Eiskerns kann man anhand der jahreszeitlichen Schwankungen der Isotope oder auch anhand von verschiedenen jahreszeitlich schwankenden chemischen Eigenschaften einzelne Jahresschichten identifizieren und dann abzählen. Da die Jahresschichten durch das Fließen des Eises immer dünner werden, hat diese Methode jedoch ihre Grenzen. Ebenfalls be-

grenzt ist die Datierung mit Hilfe von historisch bekannten Vulkanausbrüchen, die im Eiskern anhand von Vulkanasche identifiziert werden können. In den tieferen Schichten des Kernes kann man daher das Eisalter nur mit Hilfe von Computermodellen berechnen, die das Fließen des Eises simulieren. Die zeitliche Auflösung eines Eiskerns ist dadurch nicht überall gleich. Die Dicke der Jahresschichten hängt davon ab, wie viel Schnee im Laufe eines Jahres fällt. An der sehr trockenen Dome-C-Bohrung findet man sehr altes Eis, aber die Jahresschichten sind schon in relativ geringer Tiefe nicht mehr zu identifizieren. In Grönland, wo es rund 25 Grad wärmer ist als an Dome C und daher auch mehr Schnee fällt, reicht das Eis gerade mal bis in die vorletzte Warmzeit zurück, aber man kann einzelne Jahresschichten noch bis zu einem Alter von fast 40.000 Jahren erkennen.

Das Eis im Dome-C-Kern reicht 800.000 Jahre zurück. Bis zu dieser Bohrung war das älteste erbohrte Eis 400.000 Jahre alt gewesen. Durch den Dome-C-Kern hat sich gezeigt, dass die Zeitperioden vor und nach 400.000 Jahren vor heute sich prinzipiell unterscheiden. Zwar gab es immer einen 100.000-jährigen Zyklus von Warm- und Kaltzeiten, aber in der älteren Zeitperiode waren die Warmzeiten länger und kühler als in den letzten 400.000 Jahren, wo die Warmzeiten etwa 10.000 Jahre andauerten. Das ist insofern interessant, als unsere jetzige Warmzeit, das Holozän, schon ungefähr 10.000 Jahre andauert und so also nach dem früheren Wissensstand theoretisch und ohne den Einfluss des Menschen in Bälde die nächste Eiszeit kommen müsste. Dass dem nicht so ist, wissen wir seit der EPICA-Dome-C-Bohrung.

Vergleicht man die verschiedenen antarktischen Bohrkerne, findet man eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Bohrkerne aus verschiedenen Regionen der Antarktis. Will man die grönländischen mit den antarktischen Bohrkerne vergleichen, muss man sich auf die letzten 120.000 Jahre beschränken. In den grönländischen Eisbohrkernen findet man auffällig starke, kurzfristige Erwärmungen innerhalb der letzten Eiszeit, die sogenannten Dansgaard-Oeschger-Ereignisse. Diese Schwankungen finden ihre Entsprechungen in der Antarktis, allerdings geht in der Antarktis eine beginnende Abkühlung mit der Erwärmung in Grönland einher. Diese „bipolare

Wippe“ ist noch nicht vollständig verstanden; sicher ist, dass der Wärmetransport im Ozean dabei eine Rolle spielt.

Unsere alpinen Gletscher eignen sich nur bedingt für Bohrkernuntersuchungen. Bis auf wenige Ausnahmen, wie etwa am Colle Gnifetti im Monte-Rosa-Gebiet, verwischt das Schmelzwasser, wenn es durch verschiedene Jahresschichten sickert, die Signale der verschiedenen Größen. Auch da, wo es so kalt ist, dass kein nennenswertes Schmelzen auftritt, gibt es Probleme, weil etwa im Winter größere Mengen Schnees vom Wind verfrachtet werden und daher im Bohrkern dann fehlen. Und natürlich ist das Eis in den Alpen auch viel jünger als in den Polargebieten. Man kann aber zum Beispiel den Einfluss der Industrialisierung auf die Luftqualität, vor allem auch regionale Einflüsse, an einigen Alpengletschern untersuchen.

Wie alles begann

Begonnen hat die Eisbohrkernforschung mit der Beprobung von Eisbergen in Grönland. Willi Dansgaard, ein dänischer Meteorologe, hatte schon lange über die Beziehung zwischen Temperatur und den stabilen Isotopen des Niederschlags nachgedacht. Er sammelte Proben aus verschiedenen Klimazonen und stellte eine eindeutige Beziehung zwischen der Temperatur und den Isotopen fest. Wenn es diese räumliche Beziehung gab, müsste es doch eigentlich auch eine zeitliche Beziehung geben, dachte er sich. Also müsste man „alten Niederschlag“ untersuchen. Als Däne war es für ihn naheliegend, dabei an grönländisches Eis zu denken. Die Eisbergproben konnte man bis zu einem gewissen Alter mit Hilfe der Radiocarbonmethode datieren, aber man konnte nicht genau sagen, woher sie stammten. Zu dieser Zeit, in den 1960er-Jahren, betrieben die Amerikaner eine militärische Forschungsstation in Grönland: Camp Century. Dort wurde 1966 der erste polare Eisbohrkern, der bis zum Felsbett reichte, erbohrt. Willi Dansgaard und seine Wissenschaftskollegen durften das Eis untersuchen, die Bohrung selbst war jedoch in Zeiten des Kalten Krieges für sie nicht zugänglich. Die Bohrausrüstung wurde anschließend in die Antarktis gebracht, wo an der Byrd-Station die erste Tiefbohrung durch das antarktische Inlandeis begonnen wurde.



Jenseits von EPICA

Schon bald nach Ende der EPICA-Bohrung hörte man Stimmen, die von 1.5 Millionen Jahre altem Eis sprachen. Was zunächst ein wenig als utopische Spinnerei abgetan wurde, hat inzwischen konkrete Formen angenommen. In einem gemeinsamen Projekt von zehn europäischen Staaten, das den etwas sperrigen Namen „Beyond EPICA – Oldest Ice“ trägt, soll in der Nähe der EPICA-Dome-C-Bohrung ein neuer Eiskern gezogen werden, an dem die Klimageschichte der letzten eineinhalb Millionen Jahre untersucht werden kann. Aus Sedimentkernen vom Meeresboden weiß man, dass in der Zeit vor mehr als 1.2 Millionen Jahren ein nur 40.000 Jahre dauernder Warm-Kalt-Zyklus vorherrschte. Nach einer Übergangszeit von etwa 300.000 Jahren stellte sich dann der bekannte 100.000-Jahre-Zyklus ein. Der neue Kern soll dabei helfen, die Gründe für diese Umstellung zu erforschen und damit unser Klimasystem genauer zu verstehen. Mit einem besseren Verständnis der vergangenen Klimaschwankungen werden wir genauere Aussagen über das Klima der Zukunft machen können.

Literatur

Lange, Gert (Hg.): Eiskalte Entdeckungen, Bielefeld 2001.

Dansgaard, Willi: Frozen Annals. Greenland Ice Sheet Research. Kopenhagen 2004.

Sehr viele interessante Beiträge auf: www.awi.de

Im Labor des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung wird ein Eiskern geschnitten.