



# Kältefrei

Wissenschaftler streiten über die Gründe, warum wir nicht bereits seit einigen Tausend Jahren in einer Eiszeit stecken. Und warum wir die nächste vermutlich auch ausfallen lassen

In einen weißen Mantel gehüllt: So könnte die Erde im gegenwärtigen Eiszeitalter einmal ausgesehen haben.

ABB. THOMAS J. CROWLEY

VON BENJAMIN VON BRACKEL

Es beginnt fast unmerklich. Die Sommer sind etwas kühler als gewöhnlich. In einigen Landstrichen Nordkanadas und Skandinaviens bleibt der Schnee zu nächst auch im Frühling liegen, dann sogar im Sommer. Irgendwann taut er gar nicht mehr. Von Jahr zu Jahr stapeln sich die weißen Massen, bis die unteren Schichten eine bläuliche Eisschicht bilden. Sie überzieht Kanada, Nordostsibirien und Nordeuropa. Bald verschwinden auch in den Alpen ganze Dörfer und Städte unter einem gefrorenen Panzer. Und das ist nur der Beginn der Eiszeit, die erst nach etwa 80 000 Jahren ihr Maximum erreicht. Dann, wenn große Teile der Nordhalbkugel mit einem dicken Eispanzer bedeckt sind.

Womöglich ist die Menschheit nur knapp an diesem Schicksal vorbeigeschrammt. Denn eigentlich waren die astrophysikalischen Voraussetzungen im Prinzip schon vor 6500 Jahren erfüllt: Die Erde hatte sich so ausgerichtet, dass die Sommer-Sonneneinstrahlung in den nördlichen Breiten nahe ihrem tiefsten Stand war – normalerweise ein sicheres Anzeichen für den Beginn einer Kälteperiode. „Wir waren nah dran an einer Eiszeit“, sagt der Klimamodellierer Andrej Ganopolski vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK).

Aber es kam anders, die Eiszeit blieb aus. Die Jäger und Sammler wurden zu Bauern; die Menschheit baute Dörfer, Städte und irgendwann Eisenbahnen, statt von wachsenden Eismassen am Äquator eingekesselt zu werden. Was aber hatte die drohende Eiszeit verhindert? Auf der Suche nach Erklärungen blickten Wissenschaftler weit zurück in die Vergangenheit – auf den Wechsel früherer Eis- und Warmzeiten.

In seinem Potsdamer Klimarechner simuliert Andrej Ganopolski die früheren Klima-Bedingungen auf der Erde. Er kann die Eiszeiten der vergangenen 800 000 Jahre nachspielen: achtmal Ausdehnen der Eisschilde, achtmal Abschmelzen; ein immer neues Zusammenspiel von Eis, Ozean, Atmosphäre und Sonneneinstrahlung. Aus dieser Analyse konnte Ganopolski ein einfaches Modell entwickeln. Es sagt vorher, unter welchen Bedingungen eine Eiszeit beginnt.

In der Geschichte der Erde sind Eiszeiten wie jene in Ganopolskis Simulation die Ausnahme. Über den größten Teil der 4,5 Milliarden Jahre Erdgeschichte herrschte das, was Klimaforscher eine „stabile Warmzeit“ nennen. In diesen Phasen tragen die Pole niemals Eis. Im mittleren Präkambrium, das vor etwa drei Milliarden

Jahren begann, war das Klima auf der Erde sogar mal eine Milliarde Jahre lang ununterbrochen feuchtwarm.

Zwischen diesen Warmzeiten jedoch gab es immer wieder sogenannte „Eiszeitalter“, in denen sich die vergleichsweise kurzen einzelnen Eiszeiten ständig mit etwas wärmeren Zwischen-Eiszeiten abwechseln. Klimawissenschaftler schätzen, dass es bis zu sieben dieser Phasen gegeben hat, die im Durchschnitt 50 Millionen Jahre dauerten. Die bisher letzte dieser Perioden begann vor 2,7 Millionen Jahren und währt bis heute. Im Laufe dieser Eiszeitalter bildeten sich an beiden Polen Gletscher, die sich während der Eiszeiten massiv ausbreiteten. In einem Eiszeitalter vor mehr als 600 Millionen Jahren umschloss ein Eismantel fast die ganze Erde, die globale Mitteltemperatur fiel auf minus 50 Grad. Das Leben wäre damals fast vollständig zugrunde gegangen. Nur Mikroorganismen harrten noch an Thermalquellen am Meeresgrund aus.

## Mehrere Hundert Meter hohe Eispanzer stießen bis an den Telegrafenberg in Potsdam vor

Forscher vermuten, dass vor allem die Platten tektonik des Planeten diese langen Eiszeitalter auslöste: So drückte vor Beginn des aktuellen Eiszeitalters etwa die Kontinentalplatte Nordamerikas auf die Südamerikas und schloss damit die Meeresverbindung zwischen Pazifik und Atlantik. Die Meeresströmungen richteten sich neu aus. Auch die Luftzirkulation änderte sich, weil sich neue Gebirge aufalteten, wie zum Beispiel der Himalaja. Mehr feuchte Luft schwappte auf die Kontinente, sodass mehr Schnee und Eis entstand.

Während die Eiszeitalter selbst unregelmäßig entstehen, wechseln sich innerhalb eines Eiszeitalters die vergleichsweise kur-

zen Eiszeiten und Warmzeiten in verblüffender Regelmäßigkeit ab. Entweder alle 40 000 Jahre oder alle 80 000 bis 120 000 Jahre – im Takt der Wechsel der Erdbahnparameter. Denn die Erde verändert in periodischen Abständen die Neigung ihrer Achse gegenüber der Erdbahn, trudelt mit mal größeren, mal kleineren Radien wie ein Kreisel. Außerdem eiert sie in ihrer Bahn um die Sonne mal mehr, mal weniger stark bis hin zu einer Kreisform. All diese Parameter bestimmen, wie viel Sonneneinstrahlung auf die Erde fällt.

Und wenn die Sonne im Sommer nur schwach auf die Nordhalbkugel scheint, beginnen Eiszeiten. So war es zumindest in der Vergangenheit. Am Höhepunkt der letzten Kälteperiode vor etwa 20 000 Jahren stießen Hunderte Meter hohe Eispanzer von Norden bis an den Telegrafenberg in Potsdam vor – dort, wo Andrej Ganopolski heute sein Büro hat. Auch die Alpen verheute; im Alpenvorland sanken die Temperaturen im Jahresmittel unter minus drei Grad.

Vor 11 700 Jahren endete diese letzte Eiszeit – seitdem regiert das Holozän. Aber auch innerhalb dieser Zeit kam es zu Temperaturschwankungen. Am bekanntesten ist die „kleine Eiszeit“ nach dem Mittelalter, unter der vor allem Europa litt. „Auch wenn sie so heißt, hat sie nichts mit den großen Eiszeiten zu tun“, sagt der Paläoklimatologe Gerrit Lohmann vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung. Vom 14. Jahrhundert an kühlte sich die Nordhalbkugel ein halbes Jahrtausend lang im Mittel um ein Grad ab, in bestimmten Regionen und Zeiten wurde es deutlich kälter. Darum mussten die Wikinger Grönland aufgeben.

Die Klimaforscher vermuten, dass dabei mehrere Faktoren eine Rolle spielten: Die Sonnenaktivität erreichte ein Minimum, zudem häuften sich Vulkanausbrüche, deren Partikel die Erdoberfläche vor

Sonneneinstrahlung abschirmten. Auch flauten günstige Meeresströmungen ab. Sie hatten Europa zuvor 400 Jahre lang ein mildes, stabiles Klima beschert – und sogar Weinanbau in Göttingen ermöglicht.

Den Potsdamer Klimaforscher Ganopolski interessiert jedoch vor allem jene große Eiszeit, die vor etwa 800 000 Jahren begann. Denn damals war die Sonneneinstrahlung vermutlich ähnlich wie heute. Seinerzeit reichte das aus, um die Eismassen wachsen zu lassen, heute dagegen nicht. Vermutlich, weil der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre damals viel niedriger war. Und die Menge an Treibhausgasen stellt einen wichtiger Faktor bei der Entstehung von Eiszeiten dar. Im Vorlauf zur Eiszeit vor 800 000 Jahren war der CO<sub>2</sub>-Gehalt auf etwa 240 ppm abgesunken (parts per million, 1000 ppm entsprechen einem Volumen-Promille). In diese Richtung bewegte sich die Erde auch vor 6500 Jahren. Aber dann, als in der Jungsteinzeit die Landwirtschaft aufkam, nahm die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft auf einmal stetig zu. Der einsetzende Treibhauseffekt hielt die Erde warm. Und tut es bis heute, inzwischen verstärkt durch die Mengen jenes Klimagas, das Autos, Kraftwerke und Heizungen in die Luft pusten.

Den langsamen CO<sub>2</sub>-Anstieg der Vergangenheit können Wissenschaftler mit Analysen von Gasbläschen in Eisbohrkernen relativ gut nachweisen. 280 ppm erreichte der CO<sub>2</sub>-Gehalt bis kurz vor der Industrialisierung. Ganopolskis Klimamodell zeigt ziemlich eindeutig: Wäre es bei 240 ppm geblieben, befände die Erde sich heute mitten in der Eiszeit. Schon der vorindustrielle CO<sub>2</sub>-Anstieg genügt jedoch, um die anstehende Eiszeit ausfallen zu lassen.

Über die Frage, was den CO<sub>2</sub>-Gehalt nach oben trieb, streiten jedoch die For-

scher. Es sei kein Zufall, dass parallel zum CO<sub>2</sub>-Anstieg die intensive Landwirtschaft aufgekommen sei, sagt zum Beispiel William Ruddiman, Klimapaläontologe und Meeresgeologe von der Universität Virginia. Unsere Vorfahren hätten Zäuberbrandgerodet, um Getreide anzubauen und Vieh weiden zu lassen. Neuere Analysen hätten das Ausmaß der Entwaldung zumindest in Europa und in Teilen Chinas nachgewiesen: In Blütenstaub-Ablagerungen aus der fraglichen Zeit ist dort der Anteil von Baum-Pollen gering. „Eine frühe Abholzung ist die hauptsächliche Ursache für die CO<sub>2</sub>-Anomalie“, sagt Ruddiman.

## Werden weiter Öl, Erdgas und Kohle verfeuert, wird auch die nächste Eiszeit unterdrückt

Andrej Ganopolski sieht das anders. Er nimmt zwar auch an, dass der leicht erhöhte CO<sub>2</sub>-Wert die Eiszeit verhinderte. Allerdings glaubt der Physiker, dass der Mensch nur einen kleinen Anteil am Entstehen dieser CO<sub>2</sub>-Anomalie hatte. „Wir entkamen der nächsten Eiszeit ohne jede menschliche Hilfe“, sagt er. Wie viele andere Klimaforscher glaubt er, dass die Natur selbst die leichte CO<sub>2</sub>-Erhöhung auslöste. Indem zum Beispiel durch veränderte Meeresströmungen jenes Kohlendioxid in die Atmosphäre gelangte, das zuvor in der Tiefe der Ozeane gelagert war.

Auch wenn Forscher noch über den Einfluss des Menschen auf das Klima vor der Industrialisierung streiten, ist er für die Zeit danach eindeutig. So hat Ganopolski mit seinem Modell auch untersucht, wie der Mensch durch den Ausstoß von Treibhausgasen – deren Konzentration inzwischen auf 400 ppm angestiegen ist – den ohnehin gestörten Eiszeitzyklus zusätzlich beeinträchtigt. Das Ergebnis: Werden weiter Öl, Kohle und Gas verfeuert, wird wohl auch die nächste Eiszeit unterdrückt, die eigentlich in 50 000 Jahren fällig wäre. Denn Kohlendioxid verweilt extrem lange in der Luft. Erst in 100 000 Jahren stünde dann die nächste Eiszeit an. „Wir würden einen kompletten Eiszeitzyklus überspringen“, sagt Ganopolski.

Ist das schlimm? Der Klimaforscher sieht das pragmatisch. Eiszeiten haben der Natur in der Vergangenheit vielleicht eine Erneuerung gebracht. Doch Tausende Jahre in einer Kältezeit zu leben, wäre für die Zivilisation wenig erbaulich, sagt er. In jedem Fall bleiben noch 50 000 Jahre, sich wegen möglicher Kehrseiten einer verpassten Eiszeit zu sorgen. Schon heute dagegen muss sich die Menschheit einer anderen gewaltigen Herausforderung stellen – dem Klimawandel.

## Die Eiszeitalter der Erdgeschichte

Zeit in Jahrmilliarden vor heute

