

**Spektrum**  
der Wissenschaft

29.21

**KOMPAKT**

# NATÜRLICHE ARCHIVE

**Klima**

Chronisten der Erdgeschichte

**Archäologie**

Mehr Daten für die C-14-Methode

**Paläogenetik**

Lesen in uralter DNA



Antje Findekleee  
E-Mail: [findekleee@spektrum.de](mailto:findekleee@spektrum.de)

Liebe Lesende,  
für den Blick nach vorn hilft meist ein gründlicher Blick zurück: Wie sah das Klima vergangener Zeiten aus, überliefert in Eisbohrkernen oder Korallen? Was verraten uns historische und archäologische Funde? Selbst in erhaltenen Farbpigmenten oder sogar im Erbgut längst ausgestorbener Arten finden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Hinweise auf die Umwelt und das Leben vor hunderttausenden oder Millionen Jahren. Die Archive dieser Zeiten sind so vielfältig wie die Methoden, mit denen sie gelesen werden.

Eine spannende Lektüre wünscht Ihnen

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 26.07.2021

Folgen Sie uns:



**CHEFREDAKTION:** Dr. Daniel Lingenhöhl (v.i.S.d.P.)

**REDAKTIONSLEITUNG:** Alina Schadwinkel (Digital),  
Hartwig Hanser (Print)

**CREATIVE DIRECTOR:** Marc Grove

**LAYOUT:** Oliver Gabriel, Marina Männle

**SCHLUSSREDAKTION:** Christina Meyberg (Ltg.),  
Sigrid Spies, Katharina Werle

**BILDREDAKTION:** Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe

**REDAKTION:** Antje Findekleee, Dr. Michaela Maya-Mrschtik

**VERLAG:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH,  
Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel.: 06221 9126-600,  
Fax: 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114,  
USt-IdNr.: DE229038528

**GESCHÄFTSLEITUNG:** Markus Bossle

**MARKETING UND VERTRIEB:** Annette Baumbusch (Ltg.),  
Michaela Knappe (Digital)

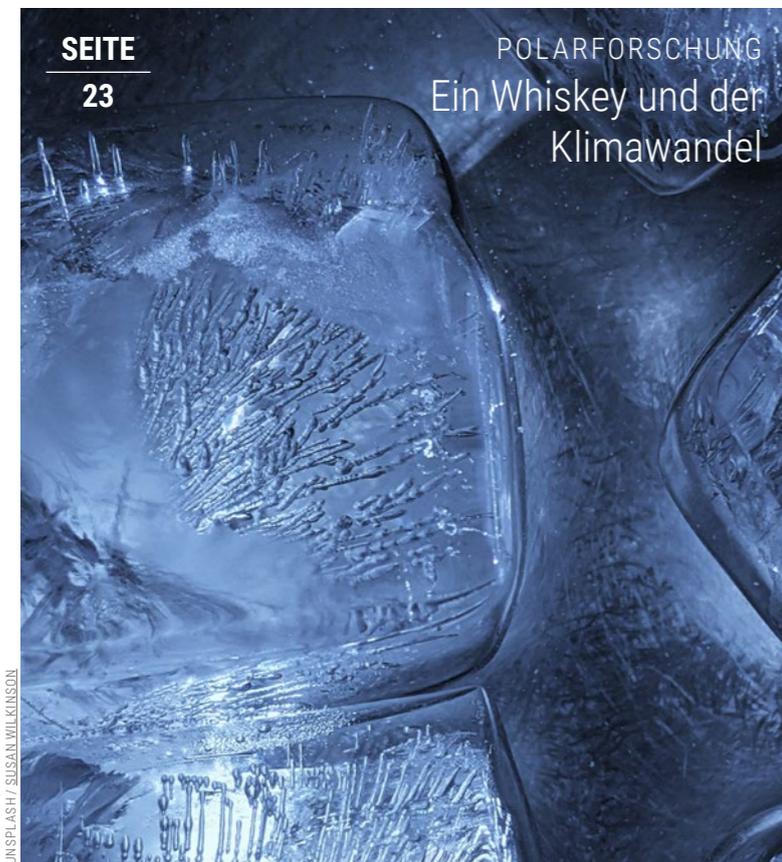
**LESER- UND BESTELLSERVICE:** Helga Emmerich, Sabine Häusser,  
Ilona Keith, Tel.: 06221 9126-743, E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)

**BEZUGSPREIS:** Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer

**ANZEIGEN:** Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an [anzeigen@spektrum.de](mailto:anzeigen@spektrum.de).

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2021 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

# INHALT



04	KLIMAWISSENSCHAFT Chronisten der Erdgeschichte
15	KORALLEN Marines Klimatagebuch
19	PALÄOKLIMA Temperaturrätsel gelöst
23	POLARFORSCHUNG Ein Whiskey und der Klimawandel
37	ARCHÄOLOGIE Die Radiokarbonmethode wird noch besser
39	TIERMUMIEN Dino, Mammut & Co
50	PALÄONTOLOGIE Bunte Dinosaurier
62	REKORD Forscher lesen eine Million Jahre alte Mammut-DNA

KLIMAWISSENSCHAFT

# CHRONISTEN

# DER ERDGESCHICHTE

von Tim Kalvelage



Wie unermüdliche Datenschreiber zeichnen Bäume, kilometerdicke Eispanzer und Millionen Jahre alte Sedimente fortlaufend Informationen über die Umweltbedingungen der Erde auf. Sie zu lesen, ist der Schlüssel, um das Klima der Vergangenheit zu verstehen – und das der Zukunft.

**D**ie heißeste Phase der vergangenen 2000 Jahre erfordern mehr als 98 Prozent der Erde während des 20. Jahrhunderts.« Das berichteten internationale Forscher 2019 im Fachmagazin »Nature«. Der vom Menschen verursachte Klimawandel sei für diesen Zeitraum nicht nur hinsichtlich der absoluten Temperaturen beispiellos, sondern auch in seiner geografischen Ausdehnung.

Für die Zeit vor der industriellen Revolution konnten die Wissenschaftler keine Kalt- oder Warmperioden feststellen, die den kompletten Globus erfassten. Stattdessen erreichte die kälteste Phase des vorherigen Jahrtausends, die Kleine Eiszeit, in verschiedenen Erdteilen um

einige hundert Jahre versetzt ihren Höhepunkt. Die natürlichen Triebkräfte des Klimas hätten seinerzeit nicht ausgereicht, weltweite und anhaltende Temperaturextreme zu verursachen, schlussfolgerte das Team um Raphael Neukom von der Universität Bern.

Woher aber wissen wir, wie heiß oder kalt es vor Hunderten von Jahren in Mitteleuropa oder Südamerika war? Wie können wir sagen, wie viel Meereis die Arktis bedeckte oder welche Regenmengen der Monsun dem indischen Subkontinent und Ostafrika bescherte?

Systematische Wetteraufzeichnungen mittels geeichter Instrumente reichen lediglich bis Mitte des 19. Jahrhunderts zurück – und das nur für Teile des Festlands. Noch später begannen Wissenschaftler, die physikalischen Prozesse im Ozean umfassend zu erforschen, etwa während der **britischen Challenger-Expedition**

AUF EINEN BLICK

## Aus der Vergangenheit lernen

**01** Daten aus Sedimenten, Korallen, Bäumen und weiteren Hinweisgebern verraten Fachleuten, welche Umstände lange vor unserer Zeit auf der Erde herrschten.

**02** Anhand solcher Klimaarchive lassen sich globale Phänomene identifizieren, etwa wiederkehrende Zyklen unterschiedlicher Sonneneinstrahlung.

**03** Dank dieser Rekonstruktionen verstehen Forscher die Faktoren, die das Klima steuern, immer detaillierter. So können sie Aussagen darüber treffen, wie sich unsere Lebensbedingungen in Zukunft verändern werden.

(1872–1876) oder der deutschen Meteor-Expedition (1925–1927). Den genauen Verlauf des CO<sub>2</sub>-Anstiegs in der Atmosphäre wiederum, die so genannte Keeling-Kurve, kennen wir erst, seit der US-Amerikaner Charles D. Keeling im Jahr 1958 ein Messgerät auf dem Vulkan Mauna Loa auf Hawaii installierte, das seither den Kohlenstoffdioxidgehalt in der Luft kontinuierlich aufzeichnet.

Heute überwachen weltumspannende Messnetze das Klima in Echtzeit: Wetterballons, Treibbojen im Ozean oder Satelliten, die den Planeten mehrmals täglich umkreisen. Dank ihnen verfügen wir für die verschiedenen Elemente des Klimasystems der Erde – also die Atmosphäre, die Ozeane, die Landoberfläche sowie die Eismassen – über eine recht gute Datenbasis. Zumindest für die letzten 20 bis 100 Jahre.

Wie warm die Meere in früheren Jahrhunderten waren oder wie weit sich die Polkappen in vergangenen geologischen Epochen in Richtung Äquator ausdehnten, versuchen Paläoklimaforscher zu entschlüsseln, indem sie Temperaturen, Niederschläge sowie Strömungen in der Atmosphäre und im Ozean rekonstruieren.

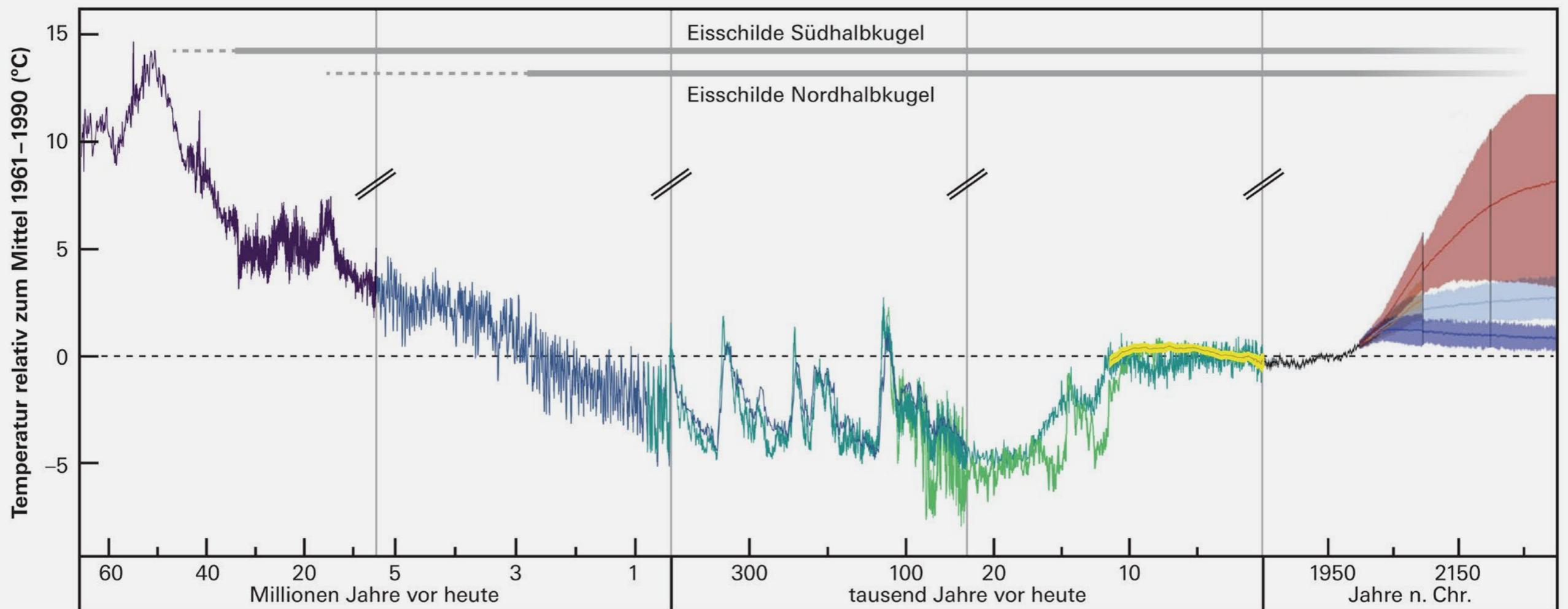
Dafür nutzen sie unterschiedlichste Klimaarchive, die Informationen über ihre Umwelt in Biomolekülen oder in organischen und anorganischen Strukturen speichern und für Jahrtausende oder gar Jahrmillionen konservieren.

In der eingangs erwähnten »Nature«-Studie stützten sich die Wissenschaftler auf Klimarekonstruktionen verschiedener Erdteile anhand von Muscheln, Korallen, Gletschereis, Sedimenten und Bäumen. Weitere wichtige Klimaarchive sind Höhlenminerale, Mikroorganismen und Pollen. Wie sie die physikalische und chemische Beschaffenheit der Erde gewissermaßen aufzeichnen und wie Forscherinnen und Forscher die Daten lesen, dazu später mehr. Zunächst die Frage: Warum sollte uns etwa die Temperatur am Südpol vor 20000 Jahren überhaupt interessieren?

Tatsächlich versucht die Paläoklimatologie nicht bloß, die zeitlichen und räumlichen Schwankungen verschiedener Umweltparameter zu erfassen. Ziel des Forschungszweigs ist es vor allem, die Prozesse besser zu verstehen, die das Klima kontrollieren. Sie haben in der Vergangenheit bisweilen für (in geologischen

Maßstäben) abrupte Wechsel gesorgt. Beispielsweise gingen vor 5500 Jahren die Regenfälle in der Sahelzone plötzlich zurück, so dass die Sahara vorrückte. Warum? Die Antwort: Die höheren Breiten kühlten sich ab, was die tropische Zirkulation verändert. In der Jüngeren Dryas am Ende der letzten Eiszeit heizte sich der globale Ozean in nur 700 Jahren um 1,6 Grad auf, während die Nordhalbkugel einen Kälteeinbruch erlebte. Hier ist die Ursache noch unbekannt. »Wir suchen nach Antworten auf solche Fragen, damit wir anhand von Klimamodellen Prognosen für die nächsten Jahrhunderte erstellen können«, sagt Jan Esper, Professor am Geographischen Institut der Universität Mainz. »Um das Klima der Zukunft zu verstehen, müssen wir seine Antriebskräfte kennen.«

Betrachtet man etwa die Entwicklung der Oberflächentemperatur der Erde seit dem Beginn der industriellen Revolution, also in den vergangenen 150 Jahren, ist ein Trend deutlich: Unser Planet heizt sich auf. Die Temperaturkurve zeigt für den relativ kurzen Zeitraum jedoch keine stetige Zunahme, sondern schlägt immer wieder weiter nach unten oder oben aus.



## Temperatortrends von vor 65 Millionen Jahren bis heute und mögliche Analogien für zukünftige Klimata

Rekonstruktion der Bedingungen auf der Erde von vor 65 Millionen Jahren bis heute. Als Hinweisgeber dafür dienten diverse Klimaarchive (siehe Legende). Die Projektionen ab 2005 entsprechen verschiedenen Szenarien des Weltklimarats IPCC.

- Foraminiferen
- Foraminiferen
- Eisbohrkerne (Antarktis)
- Eisbohrkerne (Grönland)
- diverse, darunter Foraminiferen, Eisbohrkerne, Pollen, Sedimente, Tropfsteine
- Messdaten