

# Dieser Klimawandel schlägt alles

**Klima** Berner Forscher zeigen in einer neuen Studie, dass alle Klimaphasen in den letzten 2000 Jahren regionale Phänomene waren und nur die gegenwärtige, extrem schnelle Erderwärmung ein globales Ausmass hat.

Martin Läubli

Auch wenn es für die Klimaforscher längst eine eindeutige Sache ist: Noch immer gibt es eine kleine Gruppe mit prominenten Zweifeln, die nicht so richtig an den vom Menschen verursachten Klimawandel glauben wollen. Ist die Erderwärmung der letzten hundert Jahre eine aussergewöhnliche Klimaphase, oder gehört sie zu den Perioden, die es natürlicherweise immer wieder gibt? Zwei Studien von Forschern der Universität Bern, die in der heutigen Ausgabe von «Nature» und «Nature Geoscience» veröffentlicht sind, geben allen Zweiflern eine eindeutige Antwort.

Die Forscher haben erstmals die Klimageschichte der letzten 2000 Jahre so rekonstruiert, dass zuverlässige Aussagen über Temperaturentwicklungen in verschiedenen Regionen der Erde gemacht werden können. Ein weiteres Mal bestätigen die Forscher: Das Klima hat sich in den letzten hundert Jahren so schnell erwärmt wie nie zuvor in den letzten zwei Jahrtausenden.

Dennoch war der Hauptautor der Studie Raphael Neukom über die neuen Daten überrascht. «Wir kennen die Entwicklung der letzten hundert Jahre schon lange, aber dass die Geschwindigkeit der globalen Erwärmung so deutlich über den Werten der vorindustriellen Zeit liegt, ist unerwartet», sagt der Klimaforscher am Geografischen Institut und Oeschger-Zentrum für Klimaforschung der Universität Bern.

## Keine globalen Phänomene

Der Einfluss des Menschen auf das globale Klimasystem ist jedoch nicht nur im Temperaturverlauf eindeutig erkennbar. Die Berner Forscher entdeckten noch einen weiteren Beleg, der bisher wenig beachtet wurde. Die letzten 2000 Jahre sind durch verschiedene Klimaepochen geprägt, die jeweils zu einer Wärme- oder Kältephase tendierten. Die neuen Studien widerlegen die bisherige Annahme der Klimaforscher, die Klimaentwicklungen in den Epochen vor der vorindustriellen Zeit hätten stets eine globale Tragweite.

So zeigen die Forscher zum Beispiel, dass die Phase der mittelalterlichen Warmzeit zwischen 700 und 1400 nicht nur deutlich kühler war als heute. Sie lief auch regional zu verschiedenen Zeiten ab.

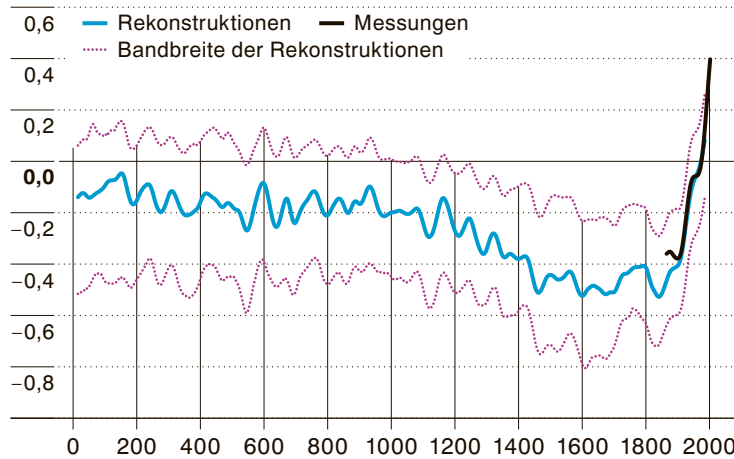
Das gilt auch für die Kleine Eiszeit, die zwischen 1400 und 1850 datiert wird. Diese Kältephase erreichte in Europa und Nordamerika ihren Höhepunkt im 17. Jahrhundert. Die kälteste Kälteperiode im Pazifik wurde im 15. Jahrhundert entdeckt.

## Sonne spielt keine Rolle

Anders ist es in der Gegenwart. Die Erderwärmung der letzten hundert Jahre ist ein globales Phänomen. «Mit natürlichen Faktoren, vor allem Vulkanausbrüchen und chaotischen Schwankungen innerhalb des Klimasystems, können wir die räumlichen Muster in der vorindustriellen Zeit gut erklären», sagt Neukom. Das sei aber beim mo-

## 2000 Jahre Klimageschichte

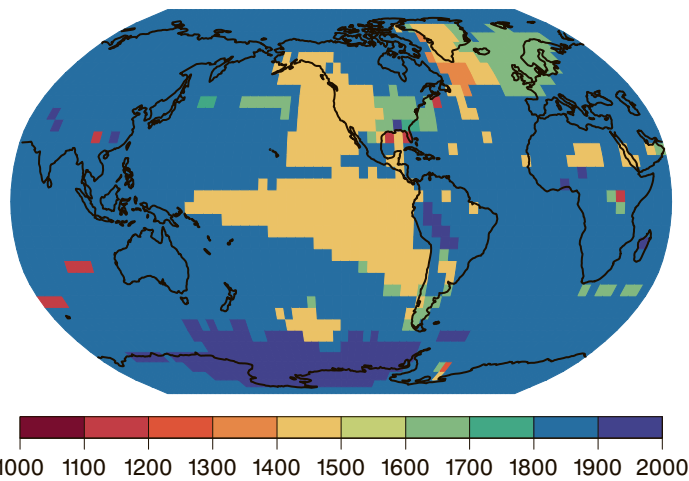
Globaler Temperaturverlauf, Abweichung vom langjährigen Mittel (1961–1990), in Grad Celsius



Die Erde erwärmt sich so schnell wie noch nie in den letzten 2000 Jahren. Die Temperaturkurve (blau) zeigt eine von mehreren Rekonstruktionen. 95% aller Rekonstruktionen liegen innerhalb der gepunkteten Linien. Die schwarze Kurve sind Messungen von 1850–2017.

## Kleine Eiszeit

Jahrhundert der kältesten 50-Jahres-Periode



Die in Europa und Nordamerika als Kleine Eiszeit bekannte Kaltphase war auch kein globales Phänomen. Die kältesten 50-Jahres-Perioden traten während des letzten Jahrtausends regional zu unterschiedlichen Zeiten auf.

Grafik: mrue/Quelle: Nature Geoscience, Universität Bern

## Modelle werden immer besser

Die Berner Forscher haben für die Klimarekonstruktion der letzten 2000 Jahre eine aufwendige Datenanalyse betrieben. Sie verwendeten eine Datenbank des internationalen Forschungsnetzwerks Pages 2k, das weltweit Daten von Baumringen, Eisbohrkernen, Seesedimenten und Korallen speichert. Die Daten wurden mit unterschiedlichen statistischen Methoden und Klimamodellen ausgewertet. Er sei erstaunt, wie gut die Klimakurven der einzelnen Methoden und der Klimamodelle übereinstimmen, sagt Raphael Neukom von der Universität Bern. Die Forscher können so ausschliessen, dass Aussagen von der Art der Auswertung abhängig sind. Auch für die Analyse der Kleinen Eiszeit wurde auf eine breite Datenbasis zugegriffen: Daten von 30 verschiedenen Klimasimulationen, Beobachtungen und Rekonstruktionen der Temperatur mithilfe von Baumjahren. Historische Temperaturdaten von Europa wurden verwendet, für Afrika Daten etwa vom Nilabfluss. Dazu kamen Windmessungen auf Schiffen, um den indischen Monsun zu rekonstruieren. (luc)

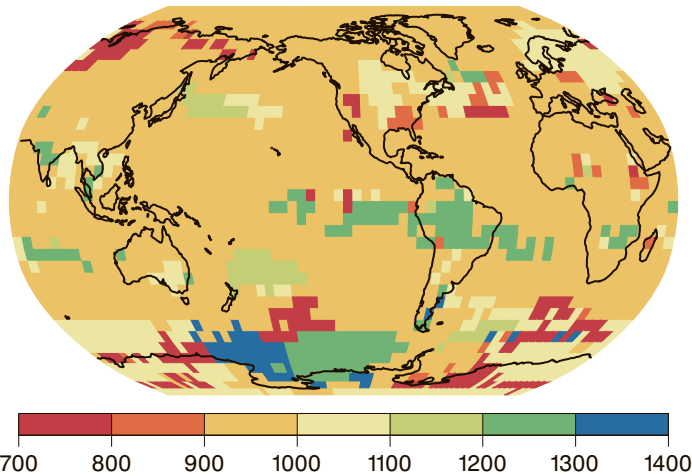
mentanen Klimamuster nicht möglich. «Der Antriebsfaktor muss der Mensch sein.»

Was sich immer wieder über die lange Zeitperiode von 2000 Jahren zeigt: Vulkanausbrüche waren stets für eine scharfe Klimazäsur verantwortlich, die Sonne spielte keine grosse Rolle. Das zeigen der Klimaforscher Stefan Brönnimann vom Geografischen Institut der Universität Bern und sein Team in ihrer Studie über die letzten fünfzig Jahre der Kleinen Eiszeit. Ihre Analyse ergibt ein neues Bild der letzten Kaltphase.

Der Kältetrend schien allmählich zu kippen, als Anfang des 19. Jahrhunderts – zwischen 1808 und 1835 – in den Tropen hintereinander eine Reihe von Vulkanen ausbrach. Darunter der indonesische Vulkan Tambora, dessen Eruption 1815 das Klima in Europa und Nordamerika abkühlte und in Europa und der Schweiz Auslöser für eine Hungerkatastrophe war. «Die Klimaforscher fokussierten sich lange auf Tambora, mich interessierte aber das Fünferpack an Vulkanausbrüchen, die aus Eisbohrkernen und anderen Quellen bekannt sind», sagt Brönnimann. Die neuen Analysen von Beobachtungen und historischen

## Mittelalterliche Warmzeit

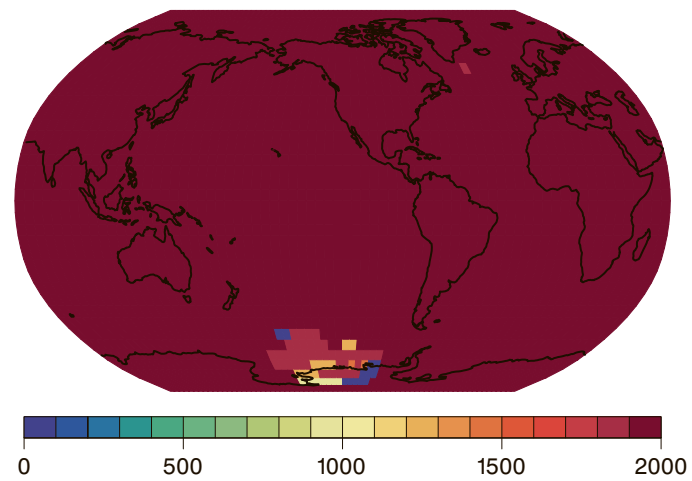
Jahrhundert der wärmsten 50-Jahres-Periode



Die Mittelalterliche Warmzeit, die für gewöhnlich mit warmen Temperaturen in den Jahrhunderten zwischen 800 und 1200 datiert wird, war kein globales Phänomen. Die wärmsten 50-Jahres-Perioden traten regional zu unterschiedlichen Zeiten auf.

## Die gegenwärtige Erderwärmung

Jahrhundert der wärmsten 50-Jahres-Periode



Die Erderwärmung der letzten rund 150 Jahre ist ein globales Phänomen. Die wärmste 50-Jahres-Periode der vergangenen 2000 Jahre im 20. Jahrhundert trat auf über 98% der Erdoberfläche auf. Ausgenommen ist die Antarktis, wo die heutige Erwärmung noch nicht über dem ganzen Kontinent beobachtet wird.

Daten, Klimasimulationen und Rekonstruktionen haben die Forscher überrascht. Nach jedem Vulkanausbruch folgte auf der Nordhemisphäre eine ein- bis zweijährige Abkühlung im Sommer, weil vulkanische Teilchen die Sonneneinstrahlung reduzierten. Das war bekannt. Aber mit diesen Ereignissen konnte man die Kaltphase nicht erklären, die über zwanzig Jahre dauerte.

Eine Antwort fanden die Forscher in der Temperatur der Meeresoberfläche. Das Meer kühlte sich jeweils nach den Eruptionen während weniger Jahre stark ab, erholte sich jedoch im Gegensatz zur Landoberfläche nur langsam. Bis die Ozeane durch Meeresströme die regionalen Temperaturunterschiede ausgleichen, vergeht Zeit.

## Zwanzig Jahre Dürre

Veränderte Verhältnisse im Meer wirken sich auf die Druckverhältnisse in der Atmosphäre und damit auf die Zirkulation der Luftströme aus, in diesem Fall im Pazifik. Die Folge: Das Monsunsystem in Indien und Afrika schwächte sich jeweils ab. Historische Daten zeigen, dass Afrika während zwanzig Jahren unter andauernder Dürre litt. Auch für Europa hatte die veränderte at-

mosphärische Zirkulation Konsequenzen. Historische Luftdruckdaten zeigen: In den 1830er- und 1840er-Jahren wiesen die Tiefdruckgebiete eine südlichere Zugbahn auf. «Das ist vermutlich auch der Grund, dass es in den 1850er-Jahren nochmals einen Gletschervorstoss in den Alpen gab, obwohl die Temperaturkurve bereits wieder leicht anstieg», sagt Brönnimann. Die Tiefdruckzellen brachten genügend Schnee.

Die Klimageschichte am Ende der Kleinen Eiszeit zeigt exemplarisch, wie regionale Ereignisse weit davon entfernte Klimasysteme beeinflussen können. So ging die von Vulkanausbrüchen geprägte Zeit Ende der Kleinen Eiszeit in eine Periode über, die durch die Erholungsphase der Ozeane dominiert wurde, um dann in ein vom Menschen verändertes Klima zu wechseln. «Wann der Übergang genau stattfand, kann schwer gesagt werden, weil natürliche Schwankungen und der Einfluss des Menschen nicht so leicht trennbar sind», sagt Brönnimann.

Die Situation ist vergleichbar mit dem etwas langsameren Temperaturanstieg zwischen 1998 und 2017, der durch natürliche Klimaschwankungen verursacht wurde und den eigentlichen Wärmetrend kaschierte.

## Tierwelt hinkt dem Klima hinterher

**Fauna** Viele Tierarten passen sich an die Erderwärmung an, aber kaum eine schnell genug, um mit dem Wandel Schritt halten zu können.

Im Frühjahr brechen die Blütenknospen immer früher auf. Die Sommer werden heisser, die Winter in vielen Regionen milder. Insgesamt verschieben sich die Klimazonen polwärts. Damit verändern sich auch die Lebensbedingungen für viele Tierarten. Inwieweit sich Vögel, Amphibien, Insekten und andere Tiere diesem Wandel anpassen können, hat ein internationales Team von 64 Forschern untersucht. Die Ergebnisse der Analyse sind beunruhigend: Obwohl Tiere häufig auf den Klimawandel reagieren, sind solche Reaktionen im Allgemeinen unzureichend, um das rasante Tempo des Temperaturanstiegs zu bewältigen.

Wie die Wissenschaftler unter Leitung des Leibniz-Instituts für Zoo- und Wildtierforschung (Leibniz-IZW) in Berlin in der Fachzeitschrift «Nature Communications» schreiben, haben sie Daten aus 71 Studien und mehr als 10 000 Zusammenfassungen von wissenschaftlichen Veröffentlichungen analysiert. Die Forscher ermittelten nicht nur, inwieweit manche Arten ihr Verhalten und ihre Morphologie, etwa ihre Körpergrösse, bereits verändern, sondern auch, wie sich das auf ihre Fitness auswirkt. Dies stellten die Wissenschaftler fest, indem sie die beobachteten Veränderungen in einem Modell mit der idealen Reaktion auf den Klimawandel verglichen. Der Schwerpunkt lag dabei auf Vögeln, da dort am meisten Daten vorhanden sind.

## Kohlmeise ist auch bedroht

Wie die Analyse zeigt, haben viele Arten bereits auf den Klimawandel reagiert. Die stärksten Veränderungen bei phänologischen Aspekten wie Winterschlaf, Fortpflanzung oder Migration fanden die Forscher bei Amphibien, gefolgt von Insekten und Vögeln. Solange sich die Tierarten schnell genug anpassen, um den Klimawandel zu bewältigen, können sie laut Co-Autor Steven Beissinger von der University of California in Berkeley in ihrem Lebensraum bleiben, auch wenn dieser sich erwärmt. Das ist jedoch kaum der Fall, wie Co-Autor Alexandre Courtillot vom Leibniz-IZW sagt: «Unsere Auswertung legt offen, dass selbst Tierarten, die sich an die veränderte Umwelt anpassen, dies nicht schnell genug tun, um ihr Überleben zu garantieren.»

Selbst anpassungsfähige Arten wie Kohlmeise, Rauchschwalbe und Elster seien daher langfristig bedroht, heisst es in der Studie. Die Forscher befürchten, dass die Prognosen für seltene oder gefährdete Arten noch pessimistischer sind. Das müsse aber noch genauer untersucht werden. (jol)