

■ Klimaerwärmung voll im Trend?

Berechnungen haben bestätigt: Dass die 13 wärmsten Jahre seit 1880 nach 1990 gemessen wurden, lässt sich mit natürlichen Temperaturschwankungen allein nicht erklären.

Prof. Dr. Armin Bunde, Institut für Theoretische Physik III, Universität Gießen, Heinrich-Buff-Ring 16, 35392 Gießen

Die Erde hat sich in den letzten 100 Jahren erwärmt, und zwar um 0,8 bis 0,9 °C. Das ist unbestritten, auch wenn sich die Erdtemperatur noch bis Mitte des letzten Jahrhunderts wegen fehlender Stationen auf der Südhalbkugel nicht so genau ermitteln ließ. In den letzten 30 Jahren ist die Temperatur auf der Erde näherungsweise linear um etwa 0,4 °C angestiegen (Abb. 1). Setzt man beide Temperaturanstiege linear fort, ist für die nächsten 100 Jahre eine globale Erwärmung von 0,9 bzw. 1,4 °C zu erwarten.

Das Problem mit der linearen Regression ist nur, dass sie zu höchst ungenauen Ergebnissen führen kann, wenn die Daten statistisch voneinander abhängen. Genau das ist beim Klima der Fall. Wir wissen schon seit geraumer Zeit, dass Temperaturschwankungen über lange Zeitspannen hinweg miteinander gekoppelt sind [1, 2]. Das Klima besitzt ein Gedächtnis, das nur sehr langsam mit wachsendem zeitlichen Abstand s schwächer wird – in guter Näherung nach einem Potenzgesetz $\sim s^{-\gamma}$. Dieses Langzeitgedächtnis, für das u. a. wohl die Kopplung der Atmosphäre an die Ozeane und deren Trägheit verantwortlich ist, führt zu einer Erhaltungsneigung („Persistenz“) des Klimas: So wollen Abweichungen vom Mittelwert Bestand haben, was zu ausgeprägten

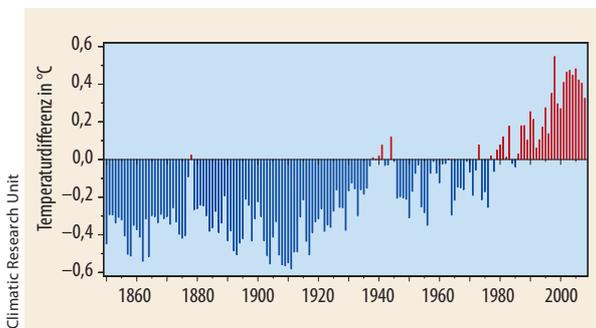


Abb. 1 Die globalen Jahrestemperaturen schwanken stark um einen Mittelwert. Das Temperaturmaximum um 1880 und die anschließende 30-jährige Abkühlung gehen wohl auf Langzeitkorrelationen zurück, ebenso wie der größere Teil des Temperaturmaximums um 1945 und die leichte Abkühlung in den folgenden zwei Jahrzehnten. Die Erwärmung der letzten 30 Jahre scheint jedoch aus dem Rahmen zu fallen.



Als Folge der Erderwärmung schmelzen die Gletscher, wie auch die Abbruch-

kante des Larsen-B-Schelfeises an der Antarktischen Halbinsel zeigt.

und lang anhaltenden positiven oder auch negativen Abweichungen vom jeweiligen Mittelwert führt. Aus dem Alltag ist dieses Phänomen bekannt: Auf einen warmen bzw. kalten Tag folgt eher wieder ein zu warmer bzw. zu kalter Tag. Das Gleiche gilt aufgrund der Persistenz des Klimas auch für Monate, Jahre und Dekaden – aber mit abnehmender Tendenz.

Von dieser natürlichen Persistenz sind Trends zu unterscheiden. Bei Trends handelt es sich um systematische Abweichungen vom Mittelwert, die durch *äußere* Prozesse erzwungen werden. In diesem Sinne sind der Jahrgang und eine mögliche Klimaänderung durch den Treibhauseffekt Trends. Trends sind dem Klimagedächtnis überlagert und können zu anomalen Temperaturverläufen führen, die sich nicht mit der natürlichen Erhaltungsneigung des Klimas erklären lassen. So scheint die globale Erwärmung der letzten 30 Jahre aus dem Rahmen zu fallen. Die Frage ist also, ob die Temperatur nur ungewöhnlich stark um den Mittelwert schwankt oder ob Trends im Spiel sind.

Während es Methoden (wie z. B. die „Trendbereinigte Fluktuationsanalyse“) gibt, um die natürliche Persistenz des Klimas – auch unter Einfluss von Trends – zu ermitteln,

fehlt bislang ein Verfahren, um in einem solchen System die Stärke etwaiger Trends zuverlässig zu detektieren. Indem man allerdings den Grad der Trendbereinigung variiert, lässt sich aus charakteristischen Unterschieden der Ergebnisse auf das Vorhandensein von Trends und grob auch auf deren Stärke schließen [2, 3]. Eine solche Untersuchung an langen lokalen Temperaturreihen ergab, dass die meisten Reihen trendbehaftet sind. Die stärksten Trends zeigten sich bei Insel- und Bergstationen [3].

Um mehr über den globalen Trend herauszufinden, ist es notwendig, die natürliche Persistenz der globalen Temperatur (in Form des Korrelationsexponenten γ und der Varianz um den Mittelwert) abzuschätzen, z. B. anhand der erhältlichen Temperaturrekonstruktionen der letzten 1000 bis 2000 Jahre. Damit lässt sich ein Maß für die Wahrscheinlichkeit gewinnen, dass die globale Erwärmung natürlichen Ursprungs ist. Eine solche Untersuchung lieferte vor drei Jahren das Ergebnis, dass der Korrelations-exponent γ zwischen 0,1 und 0,4 liegt und die Erwärmung spätestens seit 1990 stark trendbehaftet sein muss [4].

In einer aktuellen Arbeit von Zorita et al. war der Ausgangspunkt

für die Berechnungen nicht die beobachtete Temperaturdifferenz, sondern die Tatsache, dass im Zeitraum zwischen 1880 und 2006 die 13 wärmsten Jahre nach 1990 zu finden sind [5]. Die Wahrscheinlichkeit, dass so etwas in unkorrelierten Daten geschieht, ist beliebig klein: $[(127-13)!17!]/[(127!(17-13)!)] \sim 10^{-14}$. Klimadaten sind jedoch alles andere als unkorreliert. Um die Wahrscheinlichkeit für korrelierte Reihen abzuschätzen, untersuchten die Autoren synthetische Reihen, deren Gedächtnis unterschiedlich abfällt: In einem Fall nimmt der zeitliche Abstand s nach dem Potenzgesetz $\sim s^{-\gamma}$ ab (mit γ zwischen 0,1 und 0,8, grüne Kreise in Abb. 2) und im anderen Fall gemäß $\exp(-s/\langle s \rangle)$, wobei $\langle s \rangle = 1/|\ln \alpha|$ und α zwischen 0 und 1 (blaue Kreise in Abb. 2). Aus Abb. 2 lässt sich ablesen, dass für die realistischen Werte für γ zwischen 0,1 und 0,4 die Wahrscheinlichkeit, in einer Reihe von 127 Jahren die 13 wärmsten Jahre innerhalb der letzten 17 Jahre zu finden, deutlich

unter 10^{-3} liegt. Dies unterstreicht die frühere Aussage, dass sich die natürlichen Fluktuationen nur schwer als Begründung für die globale Erwärmung heranziehen lassen [4].

Aus den bisherigen Arbeiten geht aber nicht hervor, wie stark der beobachtete Trend ist, d. h. welcher Anteil der Erderwärmung auf Fluktuationen zurückgeht und welcher Anteil auf anthropogene Einflüsse. Hierzu werden sicherlich nur Wahrscheinlichkeitsaussagen möglich sein, zu denen die bisherigen Ansätze hoffentlich den Schlüssel liefern können.

Armin Bunde

- [1] E. Koscielny-Bunde et al., Phys. Rev. Lett. **81**, 729 (1998)
- [2] A. Bunde und J. W. Kantelhardt, Physikalische Blätter, Mai 2001, S. 49
- [3] J. Eichner et al., Phys. Rev. E **68**, 046133 (2003)
- [4] D. Rybski et al., Geophys. Res. Lett. **33**, L06718 (2006)
- [5] E. Zorita et al., Geophys. Res. Lett. **35**, L24706 (2008)

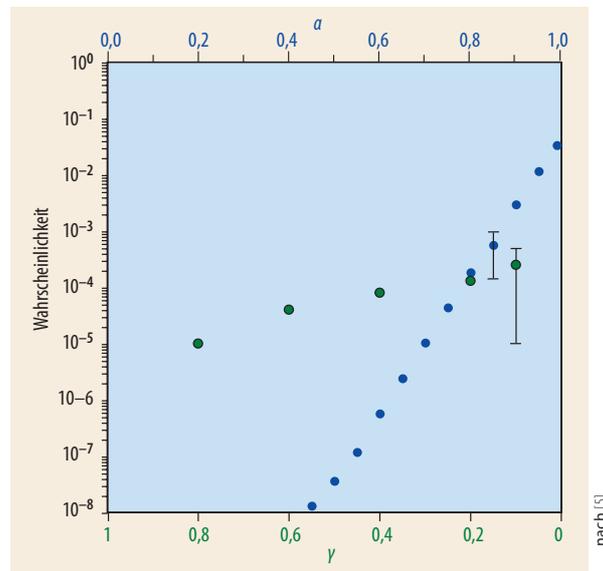


Abb. 2 Die Wahrscheinlichkeit, dass die 13 größten Werte in einer synthetischen Reihe aus 127 Datenpunkten unter den letzten 17 Datenpunkten zu finden sind, ist für langzeitkorrelierte Prozesse (grüne Kreise und Skala) – charakterisiert durch den Korrelationsexponenten γ – verschwindend gering. Der Fall $\gamma = 1$ entspricht weißem Rauschen. Für einen autoregressiven Prozess (blaue Kreise und Skala) mit der Korrelationszeit $\tau = 1/|\ln \alpha|$ (in Jahren) ergibt sich eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit nur in der Nähe von $\alpha = 1$, wo die simulierten Reihen nichtstationär sind und Random Walks darstellen.