



VON NORBERT LOSSAU

## Pythagoras und Babylon

Selbst die größten Mathematiker können sich in aller Regel noch daran erinnern, wie sie in der Schule etwas über den „Satz von Pythagoras“ gehört haben. Dem griechischen Philosophen und Mathematiker Pythagoras, der von 570 bis 510 vor unserer Zeitrechnung lebte, wird die Erkenntnis zugeschrieben, dass in jedem rechtwinkligen Dreieck das Quadrat der längsten Seite gleich der Summe der Quadrate der beiden anderen Dreiecksseiten ist. Viele haben es noch im Ohr: „a Quadrat plus b Quadrat gleich c Quadrat.“

Nun hat der australische Wissenschaftler Daniel Mansfield von der University New South Wales herausgefunden, dass bereits die alten Babylonier im Zweistromland über dieses geometrische Wissen verfügten – mehr als 1000 Jahre vor Pythagoras. Und sie haben diese Mathematik offenbar auch praktisch genutzt, etwa zur Vermessung von zum Verkauf anstehenden Landflächen.

Auf einer 3700 Jahre alten babylonischen Tontafel entdeckte Mansfield neben rechtwinkligen Dreiecken und Geländeinformationen eine Tabelle mit pythagoreischen Zahlentripeln. Das sind Sätze aus je drei Zahlen, die als Seitenlängen eines rechtwinkligen Dreiecks infrage kommen. Konkret hatten die Babylonier auf der Tontafel die Tripel 3, 4, 5 und 8, 15, 17 sowie 5, 12, 13 vermerkt. Es gilt also zum Beispiel: 3 mal 3 plus 4 mal 4 gleich 5 mal 5.

Die babylonische Tonscheibe war bereits Ende des 19. Jahrhunderts auf dem Gebiet des heutigen Irak gefunden und archiviert worden. Sie befand sich unter der Katalognummer „Si427“ im Archäologischen Museum von Istanbul, wo der australische Forscher sie entdeckte. Nun verhilft das Artefakt den Babyloniern zu Ruhm.

### QUÄNTCHEN

# 2,8

Mal schneller

als im globalen Durchschnitt steigt die Temperatur in Russland. Das beklagte Präsident Putin angesichts der tauenden Permafrostböden in seinem Land. Er kündigte ein Überwachungssystem an. Zwei Drittel der Landfläche Russlands sind dauerhaft gefrorene Permafrostböden.

### BEFUND

## Nächte voller Sternschnuppen



Aufbleiben lohnt sich: In den nächsten Nächten sind die Sternschnuppen der Perseiden zu sehen. „Dieses Jahr sind die Bedingungen besonders günstig, denn der Mond geht bereits am späten Abend unter“, heißt es bei der Vereinigung der Sternfreunde in Deutschland. Das Mondlicht störe den Blick auf die verglühenden kosmischen Staubteile nicht. „Unter optimalen Bedingungen kann man alle ein bis zwei Minuten einen Meteor über den Himmel huschen sehen.“ In den Nächten vom 12. und 13. August ist der Höhepunkt des Sternschnuppenschwarms. Die Perseiden sind eine Wolke von Trümmerteilen des Kometen 109P/Swift-Tuttle, in die die Erde jedes Jahr auf ihrem Umlauf um die Sonne eintaucht.



# Die Kurvendiskussion

In dieser Woche erscheint der neue UN-Klimabericht, er zeigt das Wissen über die globale Erwärmung. Ein Klimatologe erklärt, warum Unsicherheiten unvermeidlich sind – und auch die Temperatur der Erde nur ungenau bekannt ist

Anhand von Jahresringen besonders alter und langsam wachsender Bäume wird die Klimageschichte rekonstruiert

# D

ven. Im Projekt „Pages“ haben Paläoklimatologen kürzlich den Verlauf der globalen Temperatur der vergangenen 2000 und 12.000 Jahre rekonstruiert. Ist das nicht ein großer Fortschritt?

„Pages“ hat hervorragende Arbeit geleistet. Als aber die jüngsten „Pages“-Kurven veröffentlicht wurden, hatten viele Kollegen und auch ich das Gefühl, die Hockeyschläger-Debatte sei neu aufgelegt worden. Der wissenschaftliche Ansatz wies ähnliche Schwächen auf wie damals. Einige Kollegen und auch ich sind schon vor einigen Jahren aus dem „Pages“-Projekt ausgestiegen, weil wir nicht mehr einverstanden waren, wie großräumige Datensätze zusammengestellt und analysiert wurden.

Was hat Sie gestört?

Die Auswahl der Daten war mir und anderen Kollegen nicht kritisch genug. Die Weltkarte von „Pages“ mit der räumlichen Abdeckung der Klimadaten ist zwar eindrucksvoll, aber die Zeitreihen sind eben nicht immer gut genug. Zudem gibt es aus manchen Regionen übermäßig viele Daten, welche die geografische Ausgewogenheit verzerren. Eine große Datenmenge alleine ist leider noch kein Garant für eine gute Klimarekonstruktion.

Welche Probleme gibt es außerdem mit den Temperaturdaten der Vergangenheit?

Je weiter wir in die Vergangenheit zurückgehen, desto schlechter ist die Datenbasis. Über diesen Punkt sind sich zwar alle einig, aber die damit verbundenen Unsicherheiten werden oftmals nur bedingt statistisch und grafisch berücksichtigt. Als Ergebnis wird dann eine hohe Verlässlichkeit der Rekonstruktionen suggeriert, die so leider nicht vorliegt.

Wie wählen Sie denn die Daten für Ihre Kurven aus?

Um Temperaturen vor der Zeit systematischer Messungen zu rekonstruieren, verwenden wir hauptsächlich die Breite oder Dichte einzelner Jahresringe von Bäumen, die nahe der oberen oder nördlichen Waldgrenze wuchsen. Wir sind immer auf der Suche nach möglichst langen Jahresring-Chronologien, die zugleich ein starkes Klimasignal beinhalten und voneinander unabhängig sind. Dann bleibt global eben nicht viel übrig.

Die „Pages“-Forscher resümieren, dass es aktuell wärmer sei als je zuvor seit der Eiszeit. Sie halten solche Kurven für zweifelhaft?

Natürlich soll und muss man alle wissenschaftlichen Ergebnisse publizieren, aber man muss eben auch ganz klar auf die bestehenden Unsicherheiten auf-

### Ulf Büntgen

Klimaforscher



Der Wissenschaftler, Jahrgang 1976, erforscht das Klima der Vergangenheit an der University of Cambridge in Großbritannien. Er ist Urheber zahlreicher Studien, die den Verlauf der globalen Temperatur über Jahrtausende rekonstruieren, und gehört zu den weltweit renommiertesten Paläoklimatologen. Als wesentliche Datenquelle nutzt Büntgen Jahresringe von Bäumen, die Hinweise auf das Klima früherer Zeiten liefern.

merksam machen und zudem präzisieren, was die Abbildungen wirklich zeigen. Für die vergangenen 1000 Jahre haben wir eine viel bessere Datengrundlage als für die Zeit davor. Wir haben für die meisten Regionen vor unserer Zeitrechnung kaum bis gar keine Daten. Für weite Teile des Holozäns, also für die letzten rund 12.000 Jahre, haben wir nur wenige Datenpunkte, die dann über viele Jahrhunderte gemittelt und über große Regionen extrapoliert werden. Stellt man die vergangenen hundert Jahre dagegen, in denen es für jedes Jahr genaue Messpunkte gibt, kann das irreführend sein.

Aber warum soll man nicht einfach den besten Stand des Wissens zeigen? Das muss man natürlich machen, aber dann darf man nicht gleichzeitig sagen, dass wir den vergangenen Temperaturverlauf zeigen, sondern eben nur das, was wir über den vergangenen Temperaturverlauf wissen. Und da müssen wir auf die bestehenden Wissenslücken aufmerksam machen. Nur so können wir Prioritäten für zukünftige Forschungsprojekte definieren.

Wie gut weiß die Klimaforschung über den Temperaturverlauf seit der Eiszeit denn Bescheid?

Für die letzten 2000 Jahre können wir unsere Klimarekonstruktionen noch für die politische Debatte nutzen. Davor wissen wir aber leider zu wenig, und die Unsicherheiten werden so groß, dass sinnvolle Interpretationen kaum möglich sind.

Wie groß sind denn die Abweichungen von einer Temperaturkurve zur anderen?

Typischerweise weichen die einzelnen Rekonstruktionen um bis zu ein Grad oder manchmal sogar noch mehr voneinander ab.

Ist das nicht ein Problem angesichts der aktuellen Debatte über die Klimaziele? Laut Weltklimaabkommen von Paris sollte die Temperatur um nicht mehr als zwei Grad gegenüber der vorindustriellen Zeit steigen.

Die vorindustrielle, globale Durchschnittstemperatur ist leider immer noch nicht gut bekannt, und wir haben nach wie vor Probleme, den Anteil der anthropogenen Erwärmung von der natürlichen Variabilität im Klimasystem zu unterscheiden. Viele Faktoren und Prozesse überlagern sich und interagieren auf komplexe Weise miteinander.

Wie stark schwankte denn das Klima vor der Industrialisierung innerhalb der vergangenen 2000 Jahre?

Diese vermeintlich einfache Frage ist kaum zu beantworten, denn es müssen so viele Details berücksichtigt werden, wie zum Beispiel die zeitliche Auflösung der Archive, sowie die räumliche Skala und die Saisonalität der Rekonstruktion. Vergleicht man aber die rekonstruierten Durchschnittswerte der Sommertemperaturen der Nordhemisphäre über circa 30-jährige Perioden, sodass Extreme geglättet werden, sprechen wir von ungefähr einem bis zwei Grad.

Das verdeutlicht doch, wie außerordentlich eine menschengemachte Erwärmung von drei Grad wäre, auf die wir zuzulaufen scheinen?

Ja, für die vergangenen 2000 Jahre wäre eine solche Erwärmung einmalig. Hinzu kommt die vorhergesagte Geschwindigkeit dieser Erwärmung.

Aber ob die Menschheit das Zwei-Grad-Ziel von Paris einhalten kann, kann sie nicht wissen, weil die Ausgangstemperatur vor der Industrialisierung nicht bekannt ist?

Auch wenn die absoluten Temperaturwerte der Vergangenheit, also vor der Industrialisierung und dem Beginn systematischer, meteorologischer Messungen, kaum bekannt sind, kann man den aufgezeichneten Anstieg innerhalb der vergangenen Jahrzehnte als Referenz nehmen. Somit lässt sich dann erkennen, ob es gelingt, die globale Erwärmung zu bremsen. Interessant ist auch, dass die gemessenen Temperaturdaten seit dem 19. Jahrhundert nicht so genau sind, wie wir sie gerne hätten. Unsicherheiten von einem halben Grad sind da in vielen Regionen keine Seltenheit.

Munition für Zweifler am menschen-

gemachten Klimawandel, für die sogenannten Klimaskeptiker? Klimaskeptiker liegen falsch, die mit dieser Debatte die menschengemachte Erwärmung in Zweifel ziehen wollen. Es wird stetig wärmer, und menschengemachte Treibhausgase werden auch weiterhin zu einer globalen Erwärmung führen. Trotzdem müssen aber gerade wir Wissenschaftler auf die bestehenden Unsicherheiten hinweisen und diese durch unsere Arbeit weiter reduzieren.

Sie haben gerade ein Experiment gemacht, das offenbart hat, wie stark Temperatur-Rekonstruktionen von subjektiven Entscheidungen der Wissenschaftler abhängen. Was war das für ein Versuch?

Wir haben 30 Experten angeschrieben, 15 haben dann zusammen mit ihren Teams bei unserer Studie mitgemacht. Jede Gruppe hat denselben dendrochronologischen Datensatz erhalten, um aus den Messungen der Jahresringbreite vieler tausend Bäume den Temperaturverlauf der Nordhemisphäre über die letzten 2000 Jahre zu rekonstruieren.

Worin lagen die Unterschiede in den Berechnungen?

Alle Gruppen haben die Temperaturen etwas anders berechnet. Es gibt viele Stellschrauben: Sie haben andere Datenkombinationen gewählt, die Daten unterschiedlich gewichtet, die Temperaturen auf andere Weise aus den Jahresringen berechnet. Unser Experiment zeigt eindeutig, dass jede Temperatur-Rekonstruktion einer gewissen Subjektivität unterliegt.

Am Ende hatten Sie also 15 unterschiedliche Klimakurven. Lassen die sich qualitativ bewerten?

Solange keine handwerklichen Fehler gemacht wurden, müssen alle Kurven als gleichwertig behandelt werden. Zusammen zeigen die Rekonstruktionen dann einen Unsicherheitsbereich an, den wir vorher nicht kannten.

Aber es gibt ja Gemeinsamkeiten der Temperatur-Rekonstruktionen, oder? Klar, der Zeitpunkt größerer Temperaturschwankungen ist ganz gut bekannt. Dies gilt sowohl für Extremjahre als auch für längere Perioden von kälteren und wärmeren Sommern.

Wie geht der UN-Klimarat mit all den Unsicherheiten um?

Sie werden meist klar benannt. Die öffentliche Klimadebatte hat sich aber leider längst von der Klimawissenschaft entkoppelt. Als Wissenschaftler befürchte ich einen langfristigen Schaden, wenn die Debatte nicht präzise, offen und reflektiert geführt wird.