## Das Himalaya-Eis bringt die Modelle nicht ins Wanken

Simulationen des Erdklimas haben fundamentale Schwächen. Dennoch sind zuverlässige Vorhersagen möglich

VON JOACHIM LAUKENMANN

Mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit werden die Himalaya-Gletscher im Jahr 2035 verschwunden sein. Diese Aussage im letzten Bericht des Weltklimarats (IPCC) steht wissenschaftlich auf dünnem Eis. Etwas kleinlaut musste das IPCC dies jüngst einräumen. Mit solchen Falschaussagen gefährde der Weltklimarat die Glaubwürdigkeit der ganzen Klimaforschung, schrieb jüngst «Der Spiegel». Bereits werden Rücktrittsforderungen gegenüber dem IPCC-Präsidenten Rajendra Pachauri laut.

Gemessen an den wahren Lücken in der Klimaforschung, wird diese Fehlprognose jedoch zur Belanglosigkeit. Wie jedes Fachgebiet hat auch die Klimawissenschaft fundamentale Schwachpunkte, die eine weit grössere Tragweite haben als eine falsche Detailprognose. Nur wer diese Lücken im Verständnis des Klimasystems der Erde und damit auch die Zuverlässigkeit der Klimaprognosen kennt, kann die Relevanz von Falschaussagen wie dem zu raschen Abschmelzen der Himalaya-Gletscher richtig einordnen.

«Im Grunde sind alle Modelle falsch, aber manche sind nützlich», sagte einst der britische Statistiker George Box. Damit trifft er den Nagel auf den Kopf: Jedes Computermodell ist nur ein unvollkommenes Abbild der Realität. Und das gilt für eine Simulation des Erdklimas genauso wie für die Berechnung der Aerodynamik eines Airbus A380. Doch wie der A380 beweist, kann auch mit einer mangelhaften Beschreibung der Luftwirbel um die Flügel des Riesenflugzeugs ein erfolgreiches Produkt entwickelt werden: Der A380 fliegt. Und ebenso können Forscher selbst mit unvollkommenen Klimamodellen sinnvolle Prognosen machen.

## «Man sollte eine 100 Jahre lange Messreihe haben»

Die Flugzeugbauer haben indes einen grossen Vorteil: Spätestens beim Jungfernflug erfahren sie, ob ihre Simulation gut war. Beim Klimawandel können wir nicht bis ins Jahr 2100 warten und schauen, ob die Prognosen zutreffen. «Daher ist es absolut zentral, dass wir die Unsicherheiten verstehen und quantifizieren», sagt Reto Knutti vom Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich, der sich seit Jahren mit den Schwächen der Klimamodelle beschäftigt. Im letzten Bericht des IPCC sind diese detailliert beschrieben - ganze 54 «Hauptunsicherheiten» hat der Weltklimarat identifiziert.

Das beginnt bei den Klimadaten. Messwerte der Erdtemperatur gibt es immerhin seit 1850. Doch die Ozeantemperatur beispielsweise ist erst seit 1950 einigermassen gut bekannt. «Um die Klimamodelle zuverlässig zu evaluieren, sollte man eine 100 Jahre lange Messreihe von allen wichtigen Grössen haben», sagt Knutti. «Das haben wir schlicht nicht.» Dank neuen Satelliten lassen sich immerhin viele aktuelle Klimadaten genau ermitteln.

Auch die Klimamodelle selbst, die mit den Daten gefüttert werden, haben ihre Macken. Heutige Klimasimulationen berücksichtigen nicht nur die Zirkulation der Ozeane und die Luftströmungen in der Atmosphäre. Sie simulieren zudem die Eisbedeckung im Bereich der Polkappen und Gebirge sowie den Wasserund Kohlenstoffkreislauf. Zunehmend werden auch das Abholzen des tropischen Regenwaldes, der Städtebau und die Landwirtschaft berücksichtigt. In solch einem Klimamodell stecken rund eine Million Zeilen Programmcode.

## Völlig unvorhersehbar ist der Einfluss von Vulkanausbrüchen

Trotz dieser unglaublich komplexen Computermodelle müssen viele Prozesse wie etwa die Durchmischung des Meerwassers vereinfacht dargestellt oder in der Fachsprache «parametrisiert» werden. «Einschränkungen in der Genauigkeit gibt es auch dadurch, dass man manche Phänomene nicht gut genug versteht», sagt Knutti.

Ein Beispiel ist die Vegetation: Im Gegensatz zu Meeres- oder Luftströmungen folgt ein Wald nicht einem fundamentalen Gesetz wie der Energie- oder Impulserhaltung. Die Frage, wie ein Wald auf mehr oder weniger Wasser oder CO<sub>2</sub> reagiert und damit das Klima beeinflusst, lässt sich nicht so leicht beantworten.

Immerhin konnten Forscher um David Frank von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) eine Unsicherheit im Zusammenhang mit dem globalen CO<sub>2</sub>-Kreislauf etwas verkleinern. Wie sie in der aktuellen Ausgabe von «Nature» berichten, bewirkt der vom Menschen verursachte Klimawandel eine zusätzliche Freisetzung des Treibhausgases CO2 aus der Landbiosphäre und den Ozeanen, was die globale Erwärmung in einer Art Rückkopplungseffekt verstärkt. Dabei scheinen Klimamodelle mit einer geringeren Rückkopplung tendenziell realistischer zu sein.

Probleme bereiten auch komplexe Topografien wie die Alpen. Im Prinzip könnte man die Entwicklung des Klimas über den Alpen sehr detailliert simulieren. Aber das würde die Rechenleistung und das Budget jeder Forschungsgruppe sprengen. Doch gerade für die Planung von Anpassungsmassnahmen an den Klimawandel wären Lokalprognosen von grosser Bedeutung.

Als grösstes Fragezeichen bei den langfristigen Prognosen hat sich der Effekt von Wolken entpuppt. Das geht so weit, dass ein Klimamodell unter denselben Anfangsbedingungen eine Abnahme von tief liegenden Wolken über dem Meer prognostiziert, ein anderes eine Zunahme. «Weitere Unsicherheiten betreffen die Reaktion der Eisschilde auf die Erwärmung», sagt Thomas Stocker vom Institut für Klima- und Umweltphysik der Universität Bern. «Damit verbunden ist eine Unsicherheit beim Anstieg des Meeresspiegels.» Völlig unvorhersehbar ist der Einfluss von Vulkan-

Die globale Temperatur heute Dargestellt ist die Temperatur im Winter gemittelt über die Jahre 1980 – 1999 Die Berechnung wurde nicht von einem einzigen Klimamodell gemacht, sondern von insgesamt 22 Modellen, deren Resultate im Durchschnitt dargestellt sind Die Temperatur im Jahr 2100 Dargestellt ist die Änderung der Temperatur gegen Ende dieses Jahrhunderts im Vergleich zum Mittelwert der Jahre 1980 – 1999 Verschiedene Klimamodelle machen leicht andere Prognosen. Modell 1 prognostiziert für ein Gebiet im Nordatlantik eine Abkühlung, während Modell 2 eine generell deutlich stärkere Erwärmung nahelegt. emperaturänderung in °C gegenüber Ungenaue Messung und der Einfluss des Menschen Die beobachtete Erwärmung seit 1850 (dunkelgrüne Linie) ist mit immer grösserer Unsicherheit behaftet, je weiter man in die Vergangenheit blickt (hellgrünes Band). Wie sich die Erwärmung in Zukunft entwickelt, hängt entscheidend vom

Der Niederschlag

Prozentuale Änderungen beim Sommer-

1980 – 1999. In den weissen Regionen sind

keine zuverlässigen Prognosen möglich.

In den gepunkteten Bereichen machen

mehr als 90 Prozent der Klimamodelle

dieselben Niederschlagsprognosen.

niederschlag gegen Ende des Jahrhun-

Verhalten der Menschheit ab. Im Szenario A2 halten

wir im Wesentlichen an fossilen Technologien fe

während in Szenario B1 ein rascher Wandel hin 📶

erneuerbaren Energien vollzogen wird.

ausbrüchen, die einen kühlenden Effekt haben.

Auch das Verhalten des Menschen steht in den Sternen: Wie viel CO<sub>2</sub> werden wir in den kommenden Jahrzehnten noch emittieren? In der Tat ist die Unkalkulierbarkeit des menschlichen Handelns ebenso gross wie die Varianz der Klimaprognosen.

In Anbetracht all dieser Unwägbarkeiten mag es verwundern, wie man überhaupt zu belastbaren Aussagen gelangt. Um die Grösse der Unsicherheiten zu quantifizieren, vergleichen Klimaforscher zum Beispiel die Resultate von rund zwei Dutzend verschiedenen Simulationen unterschiedlicher Forschergruppen. Jedes Forscherteam konstruiert sein Modell etwas anders. Stimmen die meisten Resultate dennoch überein, gelten die Prognosen als sattelfest. Weichen die Modellvorhersagen stark voneinander ab, ist Vorsicht geboten. Auch mit statistischen Methoden wird die Glaubwürdigkeit der Simulationen beurteilt.

## Für Entscheide braucht es keine absolute Sicherheit

Alle Modellprojektionen stimmen darin überein, dass es auf der Erde wärmer wird. Fraglich ist

nur, wie viel wärmer es wird.

«Bei der globalen Temperaturvorhersage für die nächsten 100 Jahre liegen die ermittelten Unsicherheiten im Bereich von 50 Prozent», sagt Knutti.

«Damit können wir trotzdem eine Aussage machen. Zum Beispiel dass die Erwarmung im Jahr 2100 für ein bestimmtes Szenario 4 Grad beträgt plus minus 2 Grad, also zwischen 2 und 6 Grad liegen wird.

Der Einfluss des Menschen auf das Klima lässt sich bereits mit sehr grosser Sicherheit nachweisen. Gemäss dem jungsten IPCC-Bericht sind die von Menschen verursachten CO2-Emissionen mit 90 Prozent Wahrscheinlichkeit hauptverantwortlich für die Erwärmung der letzten 50 Jahre.

Nun stellt sich die Frage: Ist eine 90-prozentige Sicherheit gross genug, um eine Handlungsentscheidung für den Klimaschutz zu treffen? Zum Vergleich: Würden wir in einen A380 steigen, wenn dieser mit 90 Prozent Wahrscheinlichkeit abstürzt? Sicher nicht. «Man kann auch dann entscheiden, wenn gewisse Dinge nicht absolut sicher sind», sagt Knutti. In der Börsenwelt beispielsweise gibt es keine verlässlichen Prognosen. Trotzdem investieren Menschen täglich in Aktien.

«Beim Klimawandel wissen wir genug, um zu handeln», sagt Knutti. «Die falsche Gletscherprognose bringt unser Gesamtbild vom Verständnis des Klimasystems nicht einmal ansatzweise ins Wanken.» Es würde vielmehr an ein Wunder grenzen, wenn in einem rund 3000 Seiten starken Bericht, an dem mehr als 1000 Forscher mitgewirkt haben und der mehrere Zehntausend Aussagen über das Erdklima macht, nicht noch weitere kleine Falschaussagen ans Tageslicht kämen.