



Anpassen an Erwärmung keine Strategie

KLIMAWANDEL I Die globale Erwärmung ist unumstritten und kann nur mit drastischer Reduktion der Treibhausgasemissionen gebremst werden. Offene Fragen liegen in der Stärke regionaler Auswirkungen wie Hitzewellen und Hochwasser.

RETO KNUTTI UND ERICH FISCHER

Spätestens seit letztem Jahr ist das Thema Klimaänderung in aller Leute Mund, hat einen festen Platz in den Medien und ist sogar Teil von Parteiprogrammen. Massgeblich daran beteiligt waren die Publikation des vierten Sachstandsberichts des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) und der Film «Eine unbequeme Wahrheit» von Al Gore. Beide wurden 2007 für ihre Beiträge zum wissenschaftlichen Verständnis der Klimaänderung und zur Verbreitung der Information mit dem Friedensnobelpreis ausgezeichnet.

Aber woher weiss eigentlich die Wissenschaft, dass der Mensch die

Erwärmung verursacht, und mit welcher Kristallkugel können die Forscher 100 Jahre in die Klimazukunft blicken?

Der Mensch ist verantwortlich

Die Konzentrationen von Treibhausgasen wie Kohlendioxid (CO₂) in der Luft sind heute wesentlich höher als in den letzten 800 000 Jahren, und die Ursache dafür ist der immer noch steigende Bedarf an bzw. Verbrauch von Energie und fossilen Brennstoffen. Die massive Verteuerung des Erdöls, die noch vor kurzer Zeit nie für möglich gehalten worden wäre, hat daran bis jetzt nichts geändert.

Die Folgen unseres Handels sind nicht ausgeblieben: Seit einem Jahrhundert steigen die Temperaturen, der Wasserkreislauf ändert sich, Extremereignisse nehmen zu, der Meeresspiegel steigt und die Gletscher schmelzen. Ohne massive Intervention werden sich die beobachteten Änderungen fortsetzen und verstärken, und die von vielen Wissenschaftlern und der EU als gefährlich betrachtete Erwärmung von global etwa 1 °C im Vergleich zu heute (oder 2 °C gegenüber der Zeit vor 1900) wird in weniger als 50 Jahren überschritten sein (siehe Grafik rechts).

Nicht alle Auswirkungen können jetzt schon genau quantifiziert werden, aber Vorboten wie die Hochwasser in den Jahren 2005 und 2007 oder der Hitzesommer in 2003 verheissen wenig Gutes (siehe Text unten). Während Mensch und Zivilisation sich an kleine Änderungen teilweise anpassen können, ist dies im Falle von Extremereignissen viel schwieriger.

Klima aus dem Rechenzentrum

Das Klimasystem ist komplex und von vielen Faktoren beeinflusst. Mit numerischen Modellen, detaillierten Computerprogrammen, die alle relevanten Teile des Klimas beschreiben, können die Klimaforscher Prozesse verstehen, die Vergangenheit analysieren und in die Zukunft blicken. Die Berechnungen für das letzte Jahrhundert belegen den Einfluss des Menschen deutlich.

Doch sind die Modelle gut genug für Zukunftsprognosen? Können sie uns die Informationen liefern, die wir brauchen? Ähnlich wie bei der Wettervorhersage, bei der Temperatur und Grosswetterlage ziemlich genau, aber der exakte Ort eines Gewitters schwer vorzusagen ist, sind einige Resultate der Klimamodelle robuster

als andere. Ohne gesellschaftliche Intervention ist die Erwärmung in der Zukunft unumstritten, kleinräumige Veränderungen und seltene Ereignisse wie Hitzewellen und Hochwasser sind dagegen schwieriger vorzusagen (siehe Text unten).

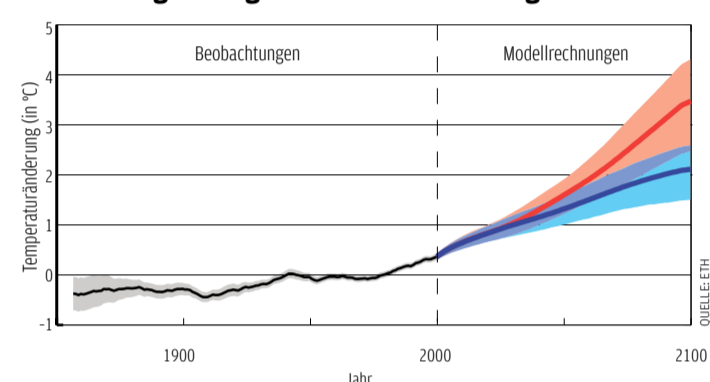
Ein ebenso grosser Unsicherheitsfaktor ist der Mensch und sein Handeln. Die Klimamodelle zeigen, dass die Zukunft stark vom sogenannten Szenario abhängt, der Frage, wie viel und welche Art von Energie in Zukunft verbraucht wird. Im Moment bewegt sich die Welt nahe der roten Linie (siehe Grafik rechts), einem Szenario mit hohem CO₂-Ausstoss, dies trotz den Bemühungen zur Implementierung des Kyoto-Protokolls.

Massive Reduktion als Ausweg

Die Klimaforschung arbeitet daran, die Modelle und Prognosen so weit zu verbessern, dass sie auch für regionale Skalen zuverlässig werden und als Grundlage für Entscheidungen zur Anpassung wie dem Bau von Dämmen oder zu Strategieänderungen in der Landwirtschaft dienen können.

Die steigenden Rechenkapazitäten der Computer sowie bessere Beobachtungsnetze werden hel-

Erwärmung im Gegensatz zu Auswirkungen klar



Die beobachtete Erwärmung in der Vergangenheit beträgt im globalen Mittel knapp 1 °C. Ohne Intervention werden für das 21. Jahrhundert für die gezeigten Szenarien (rot und blau) weitere 1,5 bis 4 °C erwartet. Die Unsicherheiten kommen etwa zu gleichen Teilen von den Klimamodellen (farbige Balken) und von der Wahl des Szenarios.

fen, verbleibende Unsicherheiten zu reduzieren. Die Gesellschaft und ihr Verhalten können die Klimamodelle jedoch nicht vorhersagen. Das ist auch nicht nötig, denn die wissenschaftlichen Fakten liegen schon lange auf dem Tisch.

Es gibt keine Zweifel, dass sich der Klimawandel in allen «Business as usual»-Szenarien noch beschleunigen wird und dass Anpassung an die Klimaänderung allein keine sinnvolle Strategie

sein kann. Nur ein Umdenken und die Entscheidung für ein anderes Szenario mit einer massiven Reduktion der Treibhausgasemissionen können die Erwärmung stoppen.

Reto Knutti und Erich Fischer, Institut für Atmosphäre und Klima, ETH Zürich. Reto Knutti ist Professor für Klimaphysik und Mitautor des neusten UNO-Klimaberichts. Erich Fischer ist Postdoktorand und beschäftigt sich mit der Simulation von Änderungen in Hitzewellen.

Die Zunahme lokaler Extremereignisse im Fokus

KLIMAWANDEL II Die Gesellschaft wird nicht von der generellen Erwärmung, sondern von der steigenden Intensität extremer Ereignisse am stärksten beeinträchtigt werden.

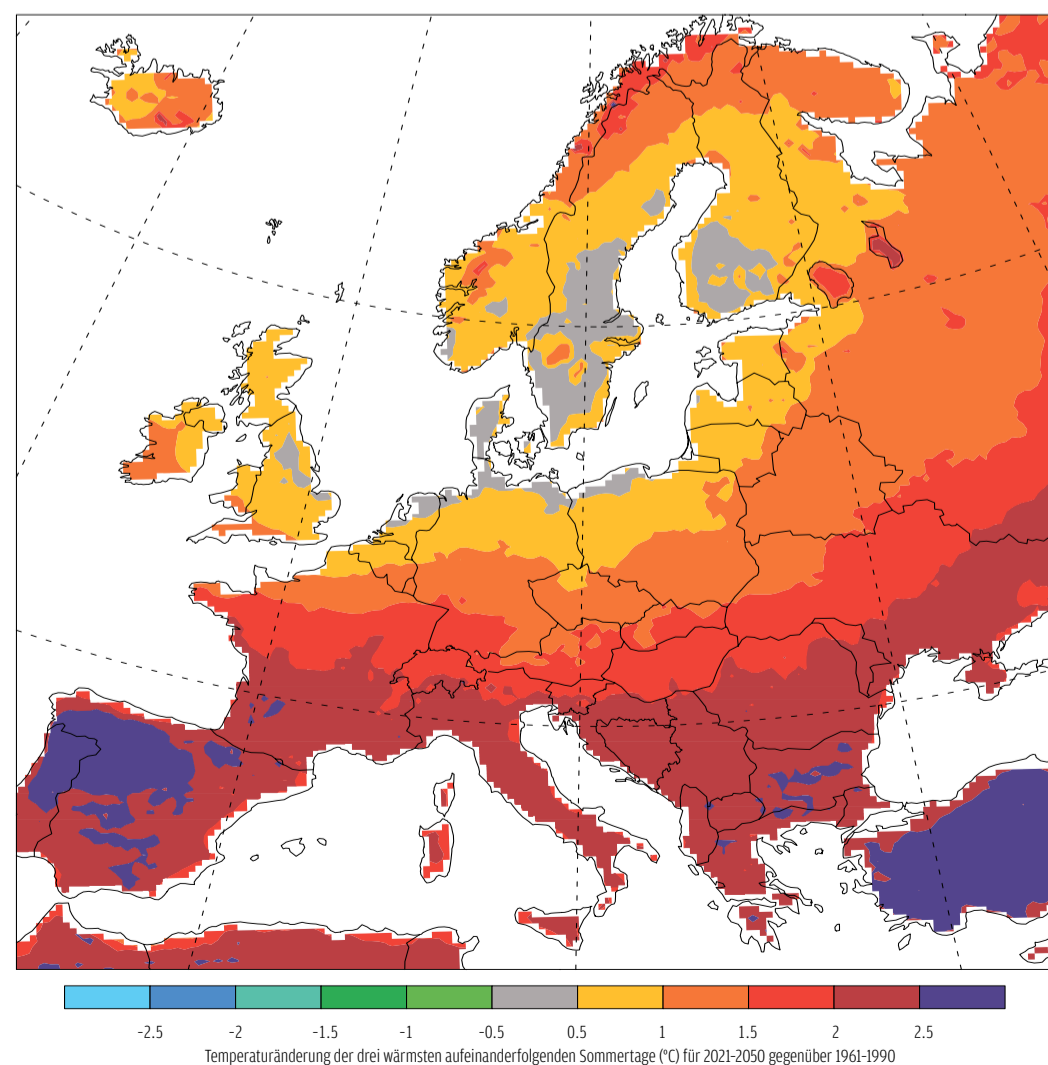
RETO KNUTTI UND ERICH FISCHER

Die ausserordentlich hohen Temperaturen im Hitzesommer 2003 haben eindrücklich aufgezeigt, wie empfindlich die moderne Gesellschaft auf Extremereignisse reagiert. Die Folgen der Hitzewelle waren schwerwiegend: Sehr tiefe Wasserstände von Flüssen, die zu Problemen in der Wasserversorgung und zu Fischsterben führten, Rekordpreise auf Strommärkten, mehr Steinschlag in den Alpen und starke Gletscherschmelze.

Rückversicherer schätzen den finanziellen Schaden von Ernteaussfällen und Waldbränden im Hitzesommer 2003 auf über 10 Mrd Euro. Die tragischsten Folgen zeigen sich aber bei den Mortalitätszahlen: Die Hitze in den ersten zwei Augustwochen hatte europaweit rund 40 000 vorzeitige Todesfälle zur Folge, welche sich nicht durch natürliche Sterblichkeitschwankungen erklären lassen.

Die Auswirkungen des Hitzesommers sind besonders beunruhigend, da Klimamodelle zeigen, dass diese Hitzewelle als Vorboten des erwarteten Klimawandels interpretiert werden kann. Zukünftige

Stärkste sommerliche Erwärmung über Mittel- und Südeuropa erwartet



Die Temperaturänderungen der drei wärmsten aufeinanderfolgenden Sommertage werden schon in 30 Jahren bis 2 °C betragen. Die heissesten Tage ändern sich damit wesentlich stärker als die durchschnittlichen Tage.

Änderungen der Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen wie Hitzewellen, aber auch Dürren und Stürmen werden die Gesellschaft weit stärker beeinträchtigen als die Erwärmung der globalen Mitteltemperatur.

Hitzewellen sind definiert als mehrere aufeinanderfolgende, ausserordentlich heisse Tage, welche oft als Folge anhaltender sommerlicher Hochdrucklagen auftreten. Klimamodellierungen zeigen, dass der Grundstein vergangener Hitzewellen oft durch einen trockenen Frühling gelegt wurde. Trockene Böden reduzieren die Verdunstung, welche sonst die bodennahen Sommertemperaturen kühlt. Dieser Rückkopplungseffekt kann die Intensität von Hitzewellen massiv verstärken.

Grosse Schwankungen erwartet

Als Folge der steigenden Treibhausgaskonzentrationen sagen Klimamodelle eine deutliche Zunahme der Häufigkeit, Intensität und Länge von sommerlichen Hitzewellen in Europa voraus. Es wird erwartet, dass Hitzesommer vom Ausmass des Sommers 2003 zum Ende des 21. Jahrhunderts durchschnittlich in jedem zweiten Jahr auftreten. Hochaufgelöste Klimasimulationen auf regionaler Skala zeigen, dass die erwartete Temperaturänderung der drei heissesten aufeinanderfolgenden Sommertage deutlich grösser ist als die Erwärmung der Durchschnittstemperatur (siehe Grafik links).

Das bedeutet, dass nicht nur die mittleren Sommertempera-

turen, sondern auch die Temperaturunterschiede zwischen verschiedenen und innerhalb einzelner Sommer (Temperaturvariabilität) zunehmen werden. Eine Anpassung der Gesellschaft an grössere Temperaturschwankungen und häufigere Extremereignisse scheint viel schwieriger als die Anpassung an steigende Durchschnittstemperaturen.

Klimamodelle zeigen die stärkste sommerliche Erwärmung über Mittel- und Südeuropa, Gebiete, die schon heute die höchsten Temperaturen aufweisen. Trotz Abnahme der mittleren Sommerniederschläge wird in Mitteleuropa zudem eine Zunahme von intensiven Starkniederschlägen erwartet, wie sie in den Sommern 2005 und 2007 aufgetreten sind.

Das Ausmass künftiger Extremereignisse ist mit grösseren Unsicherheiten behaftet als Vorhersagen der globalen Erwärmung. Grund dafür sind insbesondere die Seltenheit der Ereignisse und die Kleinräumigkeit der entscheidenden Prozesse (Bildung von Gewitterwolken, Böenspitzen in Stürmen), welche teilweise unter die Gitterauflösung von Klimamodellen fallen. Die bessere Beschreibung dieser kleinräumigen Prozesse, die Erhöhung der Modellauflösung und das bessere Verständnis von Extremereignissen sind deshalb auch Schwerpunkte der heutigen Klimaforschung.

Trotz Unsicherheiten zeichnet sich eine eindeutige Tendenz zu vermehrten Klimaextremen mit schwerwiegenden Folgen ab.