Erderwärmung

Die Klimapause

Die CO_2-Emissionen steigen, die globale Erwärmung stagniert. Für Klimaforscher ist dennoch klar: Es braucht Massnahmen gegen den Klimawandel.

Von Martin Läubli

Die weltweit längste Messung des Treibhausgases Kohlendioxid CO_2 machte in den letzten Tagen Schlagzeilen. Forscher registrierten einen historischen Rekordwert: 400 ppm. Das heisst: 400 CO_2-Moleküle pro Million Luftteilchen, parts per million. So viele wie noch nie, seit es den Menschen gibt, meldete das renommierte amerikanische Scripps-Institut für Ozeanografie. Seit 1958 wird die CO_2-Konzentration in der Atmosphäre am hawaiianischen Observatorium Mauna Loa gemessen. Seither steigt der Gehalt jährlich um durchschnittlich 1,5 Prozent.

Die UNO nahm die runde Zahl zum Anlass, vor einer schleppenden internationalen Klimapolitik zu warnen. Überraschend ist der Befund allerdings nicht. Die globalen CO_2-Emissionen aus der Verbrennung von Kohle, Erdöl und Gas nehmen Jahr für Jahr zu, vor allem in den wirtschaftlich stark wachsenden Schwellenländern wie China, Indien und Brasilien. Würde sich die CO_2-Konzentration bei ungefähr 450 ppm stabilisieren, so wäre laut dem UNO-Weltklimarat IPCC mit einer «wahrscheinlichen» Erderwärmung zwischen 1,2 und 3 Grad Celsius zu rechnen.

Es mehren sich die Hinweise, dass das Meer heute einen Teil der zusätzlichen Wärme in der Atmosphäre schluckt. Foto: Getty Images

Erwärmungsstopp irritiert

Nicht in dieses Zukunftsbild passt die gegenwärtige Entwicklung der durchschnittlichen globalen Temperatur. Seit Beginn der 70er-Jahre ist es auf der Erde wärmer geworden, doch seit rund 15 Jahren ist kein Trend mehr feststellbar. Für Klimaforscher liegt das in der Natur der Sache. «Es gab im 20. Jahrhundert immer wieder Perioden der Stagnation», sagt Reto Knutti, Klimaforscher an der ETH Zürich.

Der Gedanke, die Temperatur müsse mit der Zunahme des Klimagases CO_2 kontinuierlich ansteigen, ist grundsätzlich nicht abwegig. Doch die Energiebilanz der Erde weist neben den Treibhausgasen noch andere Faktoren auf, welche das Klima zu einem unberechenbaren System machen. Die Suche nach Erklärungen für die gegenwärtige Klimapause ist deshalb kompliziert. So schwächelt derzeit die Sonne. Und Vulkanausbrüche können kurzfristig die globale Temperatur senken. Nach dem Ausbruch des indonesischen Vulkans Pinatubo 1991 kühlte sich das Klima für zwei Jahre messbar ab. Hinzu kommen kurzfristige Schwankungen im Wettermuster: Das Klimaphänomen El Niño brachte 1998 ein Temperaturmaximum, das Pendant La Niña kühlte die Atmosphäre 2008 und 2011 ab.

Die Luftverschmutzung kühlt

Einen Einfluss auf die Energiebilanz hat auch der Ausstoss von Aerosolen und Russ: Schwefel hat zum Beispiel eine kühlende Wirkung. Russpartikel hingegen erwärmen die Luft. Nach wie vor gibt es dazu jedoch nur ungenügende Daten. Satellitenmessungen zeigen zwar, dass in den letzten 20 Jahren über Europa und im Osten der USA dank Luftreinhaltemassnahmen weniger Sonnenlicht absorbiert oder reflektiert wurde. In China wiederum hat hingegen wegen der Kohlennutzung die Aerosoldichte massiv zugenommen, was zu einer Abkühlung in der Atmosphäre führt. «Es ist nicht ausgeschlossen, dass Aerosole teilweise für die Stagnation der Temperatur verantwortlich sind, aber sie alleine reichen als Erklärung nicht aus», schreibt die ETH-Klimaforscherin Ulrike Lohmann im Klimablog der ETH-Zürich.

So sieht ETH-Wissenschaftler Reto Knutti vor allem in den kurzfristigen natürlichen Schwankungen einen Grund für die gegenwärtige «Pause» der vom Menschen verursachten globalen Erderwärmung. Eine Beurteilung von Trends über weniger als 20 Jahre sei deshalb heikel. Einen Beleg für diese These erbringt zum Beispiel ein internationales Forschungsteam um den deutschen Klimaforscher Stefan Rahmstorf in der Fachzeitschrift «Environmental Research Letters». Die Wissenschaftler filterten die natürlichen «Störfaktoren» Sonne, Vulkane und Wetterschwankungen aus den beobachteten globalen Temperaturdaten der letzten 30 Jahre. Das Resultat: Die bereinigte Temperaturkurve stieg kontinuierlich innerhalb der Erwärmungsbandbreite verschiedener Computermodelle, die der IPCC veröffentlichte.

Überschätzte Treibhausgase?

Trotzdem bleibt die Frage: Reagiert das Klima möglicherweise weniger stark auf die zunehmenden Treibhausgase als erwartet? Die Klimaforscher verwenden in diesem Zusammenhang den Begriff Sensitivität. Gemeint ist damit die durchschnittliche globale Erwärmung, mit der das Klimasystem auf eine Verdoppelung der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre reagiert. Als Ausgangspunkt nehmen die Forscher die Verhältnisse der vorindustriellen Zeit vor rund 200 Jahren, als der CO_2-Gehalt 280 ppm betrug.

Inzwischen liefern Eisbohrkerne, Sedimentbohrungen und Jahrringanalysen Datenreihen zu Temperatur- und CO_2-Entwicklung über Tausende bis Hunderttausende Jahre. Daraus konnten die Wissenschaftler die Klimasensitivität der Vergangenheit abschätzen. Diese Zahlen flossen dann in deren Zukunftsmodelle. So geht der IPCC in seinem Bericht 2007 davon aus, dass sich das Klima bei einer CO_2-Verdoppelung «wahrscheinlich» zwischen 2 und 4,5 Grad erwärmt. Grundsätzlich gibt es keine Anzeichen, die diese Schätzung infrage stellen. Trotzdem gibt es Auffälligkeiten in den Ergebnissen der Klimamodelle der neuen Generation, die im nächsten IPCC-Bericht im September veröffentlich werden. «Auffällig ist, dass die Beobachtungen innerhalb des Schwankungsbereichs des Temperaturtrends am unteren Rande liegen», sagt Reto Knutti. Die neuen Klimamodelle bilden die Beobachtungen der letzten hundert Jahre verblüffend gut ab. Doch in den zahlreichen Simulationen der Zukunftsszenarien für die nächsten Jahrzehnte ist die Bandbreite des Temperaturanstiegs wie in früheren Modellen gross. Für die zukünftigen möglichen Trends gingen die Forscher von Emissions-Szenarien aus, die zu Treibhausgaskonzentrationen zwischen knapp 500 und gut 1400 ppm führen.

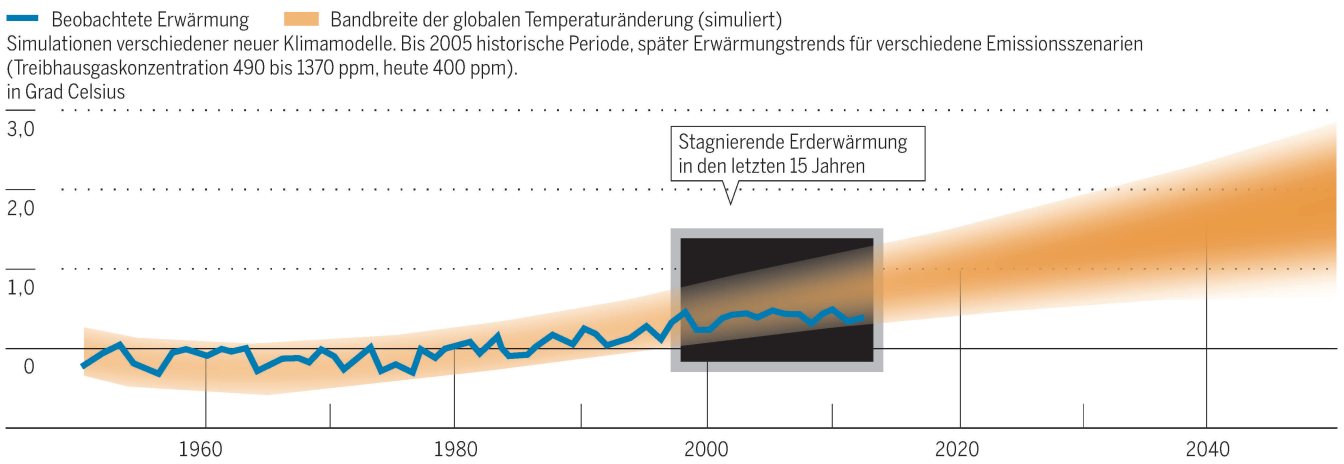
Ist also die Sensitivität gar nicht so stark wie erwartet? Wurde der Wärmeeffekt der Treibhausgase überschätzt? Bisher gibt es nur wenige Studien, welche die bisherigen Modellannahmen für die einzelnen Klimagase wie CO_2 und Methan korrigieren. Auch der Einfluss der Aerosole wird wohl in Zukunft eher klein sein, zumal dank Luftreinhaltemassnahmen der globale Ausstoss sinken sollte. Die kurzfristigen Schwankungen des Wetters wiederum ist laut Knutti für den langfristigen Klimawandel global vernachlässigbar, aber lokal beträchtlich. Hingegen mehren sich die Hinweise, dass das Meer heute einen grösseren Teil der zusätzlichen Wärme in der Atmosphäre schluckt als sonst. Verschiedene Modellstudien zeigen, dass die Wärme ins Tiefenwasser der Ozeane fliesst. Dazu passt, dass das Oberflächenwasser in den letzten zehn Jahren nicht wärmer geworden ist.

Keine Entwarnung

Alles in allem sieht ETH-Forscher Reto Knutti keine grossen Veränderungen: «Alle Schätzungen bewegen sich innerhalb des bekannten Unsicherheitsbereichs, aber es gibt Unstimmigkeiten.» Eine Frage, die ihn beschäftigt, ist unter anderem: Wie viele Jahre darf der weltweite Temperaturanstieg stagnieren oder gar abnehmen, damit diese Phase weiterhin als Ausnahmeerscheinung taxiert werden kann. «Eine exakte Antwort wird es wohl nie geben», sagt Knutti. Er ist anhand des heutigen Wissens aber überzeugt, dass der Klimawandel ohne massives Gegensteuer weiter fortschreitet.

Ob nun die Klimasensitivität in verschiedenen Szenarien höher oder tiefer ist, sei nicht so entscheidend. Sei die Sensitivität tiefer als erwartet, dann wird die kritische Erwärmung einige Jahre später erfolgen, wenn wir nichts unternehmen. «Eines ist sicher. Die Emissionen müssen wir ohnehin reduzieren, möglicherweise wird es leichter und billiger, wenn wir durch die Physik noch etwas Zeit bekommen.»

Globale Erwärmung der Erdoberfläche



TA-Grafik san / Quelle: ETH Klimablog

Eine Messkurve wird weltberühmt

Am Anfang war es nur ein einfaches Messprogramm: Daraus wurde eine der wichtigsten Messkurven in der Klimaforschung.

Als der amerikanische Geochemiker Charles David Keeling im März 1958 die ersten Kohlendioxidmessungen auf Hawaii machte, ahnte er nicht, welche Bedeutung seine Arbeit einmal erlangen würde. Das Klima interessierte den jungen Forscher damals noch nicht. Anfang 50er-Jahre begann er, ein Instrument für die CO_2-Messungen zu konstruieren, um die Luft chemisch zu analysieren. Er nahm Proben am Tag und bei Nacht und entdeckte dabei einen Rhythmus: Die Atmung der Pflanzen und des Bodens zeigte sich am Tag in tieferen CO_2-Werten. Später sollte Keeling erfahren, dass auch ein saisonales Muster in der Luft erkennbar ist – abhängig von der blühenden Vegetation, die Kohlendioxid zum Leben braucht. Dazu schrieb er: «Wir waren zum ersten Mal Zeuge, wie die Natur während des Sommers CO_2 aus der Luft zieht und es im folgenden Winter wieder abgibt.»

1956 wurden zwei Forscher des US-amerikanischen Wetterdienstes und des Scripps-Instituts für Ozeanografie auf Keeling aufmerksam. Die beiden Organisationen planten ein globales Messprogramm an abgelegenen Orten. Unter anderem auf dem hawaiischen Vulkan Mauna Loa. Zwei Jahre später begann der Forscher auf dem Berg zu messen, 3397 Meter über dem Pazifischen Ozean.

Die längste Reihe von Daten

Dabei machte der Wissenschaftler eine bedeutende Entdeckung: Der CO_2-Gehalt in der Luft schwankte nicht nur im Rhythmus der pflanzlichen Atmung, sondern stieg kontinuierlich durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe. Bei Messbeginn 1958 betrug die Konzentration 313 ppm, das sind 313 CO_2-Moleküle pro Million Luftteilchen. Der Befund liess in wissenschaftlichen Kreisen aufhorchen. In den frühen 70er-Jahren spielte die «Keeling-Kurve» eine wichtige Rolle in einem Forschungsprogramm, das den Effekt der ansteigenden CO_2-Konzentration auf das globale Klima untersuchte.

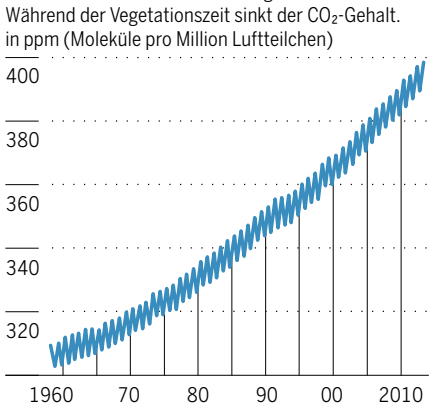
Heute gibt es zahlreiche Messstationen von der Arktis bis zum Südpol. Die Forscher achten darauf, dass die Probenahmen an Orten erfolgen, an denen es möglichst keine lokalen Einflüsse gibt. Auf Mauna Loa sind deshalb für die Wissenschaft vor allem die monatlichen Durchschnittswerte bedeutsam. Der Grund: Die Luftmassen, die über Hawaii strömen, verfälschen zeitweise die Tagesmessungen.

Die «Keeling-Kurve» ist die längste Messkurve weltweit. Das ist allerdings nicht selbstverständlich: 1964 wären die Messungen aufgrund des Spardrucks beim Scripps-Institut eingestellt worden, hätte nicht Charles David Keeling engagiert für deren Weiterführung gekämpft. Auch in den 70er- und 80er-Jahren war das Programm bedroht. Keeling leitete den Betrieb bis zu seinem Tod im Jahr 2005. Sein Sohn Ralph F. Keeling setzt heute die Arbeit fort.

Martin Läubli

Anstieg der CO_2-Konzentration

Messstation Mauna Loa (Hawaii). Der Zickzacktrend ist auf die saisonalen Schwankungen zurückzuführen. Während der Vegetationszeit sinkt der CO_2-Gehalt.



TA-Grafik san / Quelle: Scripps Institution of Oceanography