

Klimaerwärmung: Schuldspruch im Indizienprozess gefällt

Wer ist schuld an der gegenwärtigen Klimaerwärmung? Auf der Anklagebank sitzt seit einiger Zeit der Mensch, bzw. der von ihm verursachte zusätzliche Treibhauseffekt. Klar ist, dass nicht ein Einzeltäter verantwortlich ist, sondern viele Mitschuldige eine Rolle spielen. Seit längerer Zeit wird versucht, in einer Art Indizienprozess die Mitschuld der verschiedenen Täter zu eruieren. Im ersten 'Prozess', im IPCC-Bericht von 1996, wurde eine sehr vorsichtige Schuldzuweisung formuliert: Verschiedene Indizien "legen eine Mitschuld des Menschen nahe". Inzwischen sind jedoch immer mehr Zeugen aufgetaucht, so dass in einer Neuauflage des Prozesses, im IPCC-Bericht 2001, die Formulierung viel deutlicher ausfällt: "Die Erwärmung in den letzten 50 Jahren ist wahrscheinlich hauptsächlich eine Folge der menschlichen Aktivitäten". Die hinterlassenen Spuren sind in letzter Zeit immer deutlicher geworden: Die Jahre 1995, 1996 und 1998 waren die drei wärmsten Jahre seit Beginn der Messungen. Auch die verschiedenen Zeugnisaussagen - sprich wissenschaftlichen Arbeiten - der letzten Jahre lauten praktisch übereinstimmend: Bis weit ins 20. Jahrhundert hinein lässt sich die Temperaturentwicklung mit Schwankungen der Sonnen- und Vulkanaktivität noch mehr oder weniger begründen, in den letzten Jahrzehnten hingegen hätte die Temperatur aufgrund der natürlichen Einflussfaktoren allein eher etwas zurückgehen müssen. Die Erwärmung seit etwa 1970 ist ohne die Wirkung der Treibhausgase nicht mehr erklärbar.

Das Bild von den Kyoto-Verhandlungen, als es um politische Strategien der Emissionsreduktion ging, ist noch in Erinnerung: Übermüdete Verhandlungsteilnehmer versuchen verzweifelt, einen für alle akzeptablen Text für eine Vereinbarung zu formulieren. Ähnlich, wenn auch mit weniger Zeitdruck und meist ohne politische Hintergedanken, haben im letzten Jahr über hundert angesehene Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen weitab vom Scheinwerferlicht ver-

sucht, die wichtigsten Schlussfolgerungen des 3. IPCC-Berichts in für alle akzeptable Worte zu fassen. Vor allem die politisch hochbrisanten Aussagen zum Einfluss des Menschen auf die globale Erwärmung werden jeweils auf die Goldwaage gelegt. Die Wissenschaft steht hier vor einem Problem, das nicht mehr genau berechnet werden kann, wie beispielsweise die Flugbahn einer Rakete zum Mond. Die Problemstellung ist zu komplex, die Arbeit der IPCC-Autoren gleicht eher derjenigen eines Richters, der aufgrund von verschiedenen Indizien und Aussagen ein Urteil fällen muss.

Die Forschenden sind mit ihren Aussagen deshalb sehr vorsichtig, viel vorsichtiger als Politiker, Journalisten oder Umweltaktivisten. So war man auf den 'Schuldspruch' im neuen Report gespannt. Noch vor fünf Jahren war vorsichtig von einem naheliegenden Einfluss des Menschen die Rede. Seither ist jedoch sowohl in der Natur als auch in der Forschung einiges geschehen:

- Die Erdoberfläche hat sich weiter erwärmt. Drei der letzten fünf Jahre (1995, 1996 und 1998) führen die Rangliste der wärmsten Jahre seit Messbeginn (ca. 1860) an. Rekonstruktionen zeigen, dass die Nordhemisphäre in den letzten 1000 Jahren im Mittel wahrscheinlich nie so warm war wie heute.

Kontaktpersonen:

Dr. Jürg Beer, Isotopengeochemie, SURF, EAWAG, Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf, Tel. 01-823 51 11, Fax: 01-823 52 10, e-mail: juerg.beer@eawag.ch

Dr. Fortunat Joos, Physikalisches Institut - Klima- und Umweltphysik, Universität Bern, Sidlerstr. 5, CH-3012 Bern, Tel. 031-631 44 61, Fax: 01-631 87 42, e-mail: joos@climate.unibe.ch

Prof. Martin Beniston, Institut de Géographie, Université de Fribourg, Pérolles, CH-1700 Fribourg, Tel. 026-300 90 11, Fax : 026-300 97 46, e-mail: martin.beniston@unifr.ch

- Schnee- und Eisbedeckung sind in den letzten Jahrzehnten global markant zurückgegangen. Der Meeresspiegel ist im 20. Jahrhundert im Mittel um 10 bis 20 cm angestiegen, die Niederschläge in den meisten mittleren und hohen Breiten haben gleichzeitig um 5 bis 10% zugenommen. All dies entspricht den von Klimamodellen vorausgesagten Auswirkungen der erhöhten Treibhausgaskonzentration.
- Neue Auswertungstechniken und Schätzmethoden sind entwickelt und angewandt worden. Alle Studien finden übereinstimmend ein menschliches Signal in den Klimamessungen der letzten 35 – 50 Jahre. Klimamodelle zeigen, dass Schwankungen der Sonnenaktivität und die Wirkung von Vulkanausbrüchen für die Erwärmung in der ersten Hälfte des 20. Jahrhundert eine wichtige Rolle spielten. Es gibt jedoch kein allgemein akzeptiertes Modell, das den Temperaturanstieg seit den 70er Jahren ohne die Wirkung der Treibhausgase auch nur annähernd erklären kann (vgl. Abbildung).
- Die von Klimamodellen aufgrund des gemessenen Anstiegs der Treibhausgase, der Aerosolkonzentration, der Änderung der Sonnenstrahlung und der Vulkanaktivität vorausgesagte Erwärmung stimmt ziemlich genau mit den gemessenen Temperaturwerten überein.
- Die natürlichen Faktoren Sonne und Vulkane haben seit dem Start der Satellitenmessung in den 70er Jahren und wahrscheinlich seit 1950 insgesamt einen abkühlenden Effekt. Weitere Faktoren (natürliche und anthropogene Aerosole, Landnutzungsänderung) wirken, wenn auch in unsicherem Ausmass, insgesamt ebenfalls negativ auf die Temperatur. Auch die am wenigsten verstandenen Prozesse (indirekte Wirkung von Aerosolen und Wolkenbildung) haben wahrscheinlich eine abkühlende Wirkung. Die Zunahme der Treibhausgase ist der einzige bekannte Faktor, der eine Erwärmung dieses Ausmasses ausgelöst haben kann.
- Die Konzentrationen der Treibhausgase CO₂ und Methan sind heute so hoch wie nie in den letzten 420'000 Jahren. Der gegenwärtige Anstieg verläuft schneller als jemals in den letzten 20'000 Jahren.

Gegen die Hauptschuld des Menschen spricht lediglich die theoretische Möglichkeit, dass ein entscheidender Faktor bisher völlig vergessen oder stark unterschätzt worden ist. Die Tatsache, dass mit den Modellen die vergangene und gegenwärtige Temperaturentwicklung erstaunlich gut reproduziert werden kann, spricht dafür, dass bisher schwer einschätzbare und schlecht quantifizierbare sowie mögliche unbekannte Prozesse entweder keinen nennenswerten Einfluss haben oder sich in ihrer Wirkung gegenseitig ungefähr aufheben.

Die IPCC-Autoren haben deshalb den Schluss gezogen, dass die Erwärmung in den letzten 50 Jahren 'wahrscheinlich hauptsächlich durch den Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen' verursacht worden ist, eine Formulierung, die der traditionellen wissenschaftlichen Vorsicht und den verbleibenden Unsicherheiten Rechnung trägt.

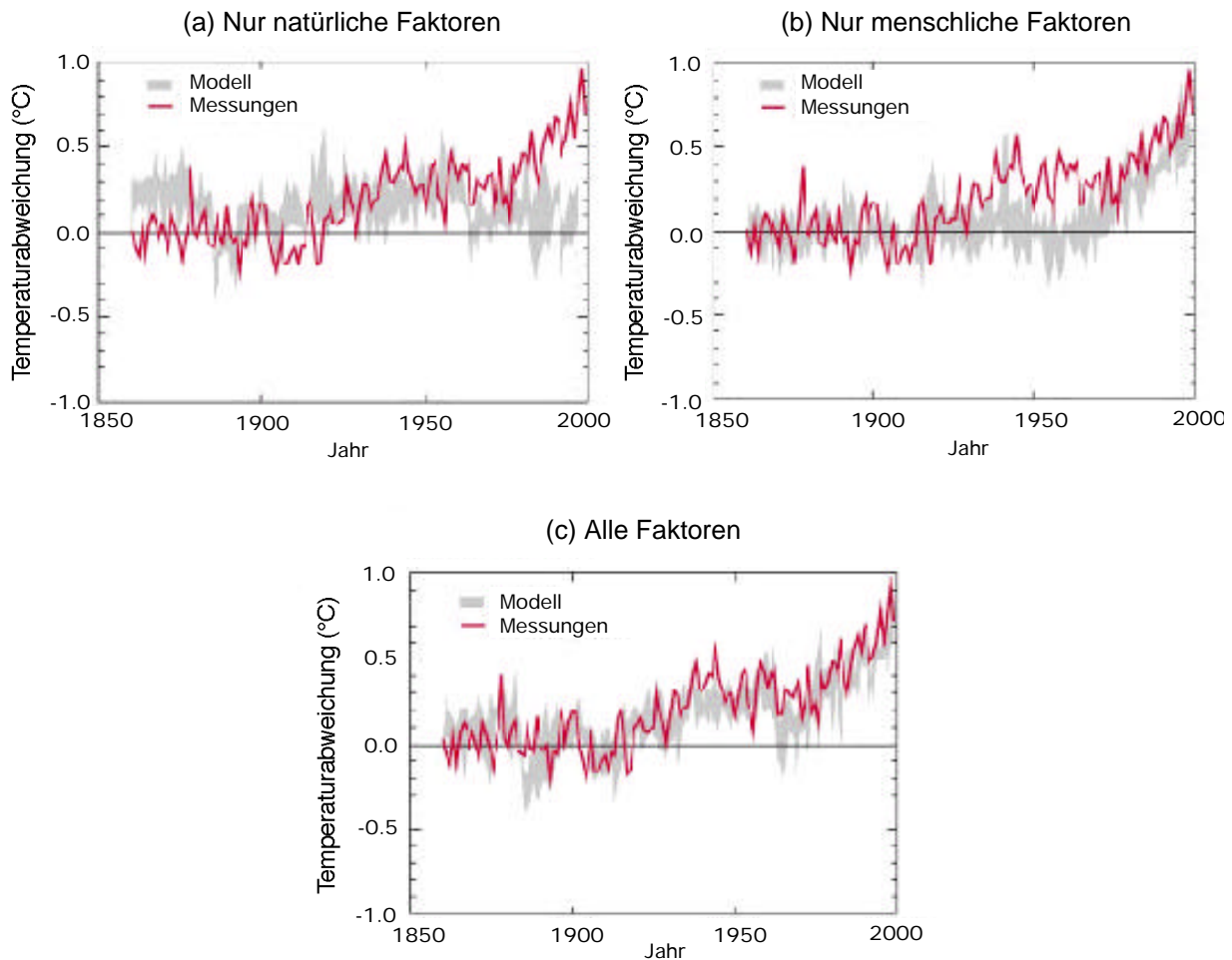
Die Wirkung der Einflussfaktoren verändert sich

Wie kommt es, dass zu verschiedenen Zeiten unterschiedliche Faktoren die Veränderung der Erdoberflächentemperatur bestimmen können? Entsprechende Einflüsse gibt es viele, z.B. die Sonne, Vulkane, Ozeanströmungen, stratosphärische Strömungen, Eismassen, usw. Dazu kommen interne Schwankungen des Klimasystems, die meist durch (rück)gekoppelte Systeme verursacht werden und auch ohne externen Einfluss ablaufen (z.B. El Niño, Nordatlantische Oszillation). Diese Faktoren sind zudem vielfach miteinander gekoppelt, d.h. sie beeinflussen sich gegenseitig. Ihr Einfluss auf die Erdoberflächentemperatur tritt jedoch nur dann hervor, wenn sie sich selbst verändern. Je nach gerade herrschendem Zustand des Klimasystems können sich zudem die Wirkungen von zwei wichtigen Faktoren gerade aufheben, z.B. bei einem Vulkanausbruch (abkühlend) und einem gleichzeitigen Anstieg der Treibhausgas-Konzentration (aufheizend). Verändert sich gleichzeitig ein dritter Faktor, z.B. die Sonneneinstrahlung, in bedeutendem Mass, so entwickelt sich die Temperatur über eine gewisse Zeit parallel zu diesem Faktor.

Den in einer bestimmten Periode grössten Einfluss auf die Temperaturentwicklung hat meist derjenige Faktor, dessen absoluter Einfluss sich in der betrachteten Zeitskala am stärksten verändert. In den letzten paar Jahrzehnten ist dies offensichtlich die wachsende Treibhausgaskonzentration. Solange sich nicht ein natürlicher Faktor plötzlich sehr stark ändert, wird dies bei weiterhin steigenden menschlichen Emissionen in nächster Zukunft wahrscheinlich auch so bleiben.

Verschiedene Zeitskalen

Auch die Zeitskala spielt bei der Betrachtung der verschiedenen Einflüsse eine Rolle. Je nach betrachtetem Zeitraum können verschiedene externe Faktoren bestimmend sein. In der Zeitskala von Millionen von Jahren spielen beispielsweise die Verschiebung von Kontinenten, die Gebirgsbildung oder Veränderungen der Erdbahn eine wichtige Rolle. In der Skala von zehn- bis hunderttausend Jahren sind die Form der Erdbahn sowie die Neigung und Schwankung der Erdachse wichtig. Diese werden für die Entstehung von Eis- und Warmzeiten verantwortlich gemacht. Im Bereich von Jahrzehnten bis Jahrhunderten sind



Die **Abbildung** zeigt drei verschiedene Rechnungen eines Klimamodells jeweils im Vergleich mit dem gemessenen globalen Temperaturverlauf: Zuerst wurde nur mit natürlichen Einflussfaktoren gerechnet (a), dann nur mit dem anthropogenen Treibhauseffekt (b) und zuletzt mit allen Einflüssen (c). Es ist klar erkennbar, dass mit der Berücksichtigung aller Faktoren der gemittelte Verlauf ziemlich gut simuliert wird. Ebenso deutlich tritt hervor, dass der Anstieg der letzten Jahrzehnte hauptsächlich durch den Menschen verursacht worden ist (Quelle: Third Assessment Report IPCC 2001).

u.a. Veränderungen der Sonnenaktivität wichtig. So fallen Perioden im 16./17. Jahrhundert während der sogenannten Kleinen Eiszeit mit Zeiten zusammen, während der die Sonne sehr ruhig war und fast keine Sonnenflecken hatte.

Fragen um Satellitenmessungen und Länge der Sonnenzyklen weitgehend gelöst

Grössere Diskussionspunkte waren in den letzten Jahren die Temperaturmessungen in der freien Troposphäre (unterste ca. 8 km der Atmosphäre), welche lange ein anderes Bild zeigten als die Bodentemperaturen sowie der Einfluss der Sonne, welcher von einigen Forschenden als entscheidender Faktor bezeichnet wurde. In beiden Fällen sind wichtige Fragen gelöst worden:

Bezüglich der Satellitenmessungen hat sich gezeigt, dass die in der Troposphäre (im Gegensatz zu den Bodenmessungen) beobachtete Abkühlung mindestens teilweise durch die Verfälschung der Daten wegen des langsamen Absinkens des Satelliten während der Messperiode zustande kam. Nach der entsprechenden Korrektur der Daten und dem Einbezug der neusten Messungen zeigt nun auch die Troposphäre seit 1950 den gleichen ansteigenden Trend wie die Messungen an der Erdoberfläche. Seit Beginn der Satellitenmessungen 1979 hat sich die Erdoberfläche v.a. in den Tropen und Subtropen deutlich schneller erwärmt als die untersten 8 Kilometer der Atmosphäre. Der Grund für diesen Unterschied ist noch nicht völlig geklärt.

Wegen der guten Übereinstimmung der Länge des Sonnenfleckenzyklus mit den Schwankungen der Erdoberflächentemperatur wurde von dänischen Forschern die Sonne als wichtiger Grund für die Erwärmung in den

Vordergrund gerückt. Nach Einbezug der neusten Daten verlaufen die Kurven jedoch nicht mehr parallel. Forschende aus dem gleichen Team kamen vor kurzem zum Schluss, dass der Beitrag der Sonne zur Erwärmung in den 90er Jahren nur gering ist.

Eine weitere Frage, die z.T. für grosses Aufsehen in den Medien gesorgt hat, betrifft die Wolkenbildung. Dänische Forscher postulieren, dass die durch den Sonnenwind verursachten Änderungen der kosmischen Strahlung über Ionenbildung in der Atmosphäre die globale Bewölkung und damit das Klima steuern. Es gibt allerdings verschiedene Hinweise, dass dieser und ähnliche Prozesse zwar existieren, aber keine dominante Rolle spielen.

Fortsetzung der Trends in der Zukunft?

Für die Zukunft können lediglich Szenarien gerechnet werden. Die Entwicklung ist wesentlich abhängig vom zukünftigen Verlauf der menschlichen Emissionen an Treibhausgasen und Aerosolen. Ebenfalls nicht vorausgesagt werden kann die Entwicklung einiger natürlicher Faktoren, z.B. wie sich die Sonne verhält oder wann der nächste grosse Vulkan ausbricht. Dazu kommt die Ungewissheit über die Auslösung von zusätzlichen Prozessen durch die Erwärmung. Diese könnten global oder auch nur für einige Regionen

eine ganz andere Entwicklung bewirken. Ein Beispiel dafür ist die diskutierte Abschwächung der warmen Ozeanströmung im Nordatlantik mit drastischen Folgen für das nordeuropäische Klima. Aber auch Veränderungen in den atmosphärischen Zirkulationsmustern und damit der räumlichen Verteilung von Temperatur und Niederschlag sind möglich. Neben den vielen denkbaren Szenarien sind auch Überraschungen nicht ausgeschlossen.

Kopfzerbrechen bei der Beurteilung der Klimaentwicklung bereiten zur Zeit noch die indirekten Wirkungen von Aerosolen und erhöhter Verdunstung über die Wolkenbildung. Je nachdem, wo und welche Wolken entstehen, ist die Wirkung unterschiedlich: Hohe und dünne Wolken wirken erwärmend (über den Treibhauseffekt), tiefliegende dicke Wolken hingegen tragen wegen der hohen Reflexion der Sonnenstrahlung zur Abkühlung bei. Es ist bisher unklar, welcher Effekt überwiegt.

Mittlerweile scheint klar, dass der heutige Einfluss des Menschen auf das Klima beträchtlich ist. Wir sind Täter; viele von uns, vor allem in den ärmeren Ländern, werden aber auch Opfer sein. Wir haben ein möglicherweise sehr gefährliches globales Experiment gestartet - mit ungewissem Ausgang und, für unsere Handlungsmaximen wichtig, mit für menschliche Zeitmassstäbe sehr langem 'Bremsweg'.

Interessante Tagungen

5. April 2001

2nd Swiss Global Change Day

Ort: Bern (Freies Gymnasium, Beaulieustr. 55)

Info: ProClim, Bärenplatz 2, 3011 Berne,

Tel. 031-328 23 23, Fax: 031-328 23 20

e-mail: neu@sanw.unibe.ch

<http://www.proclim.ch/Events/2CHGCDay/2ndCHGCDay.html>

Globale Veränderungen des Klimas aber auch der Umwelt generell beschäftigen Tausende von Forschenden und Entscheidungsträgern in vielen Bereichen. ProClim organisiert jedes Jahr eine Veranstaltung, welche die Spezialisten aus all den verschiedenen Themenkreisen zusammenbringen soll - Klimaforschende, Humanwissenschaftler(innen), Politiker, usw. Als Vortragende sind sowohl Persönlichkeiten aus dem Ausland, die in internationalen

Forschungsprogrammen eine wichtige Rolle spielen, eingeladen als auch Schweizer Forschende. Sie präsentieren wichtige Ergebnisse aus der Forschung im vergangenen Jahr und werfen auch einen Blick auf zukünftige Schwerpunkte und Herausforderungen. Nach den Vorträgen finden Diskussionen statt mit Vertretern aus Politik, Verwaltung und NGO's.