

Gibt es noch Zweifel am anthropogenen Klimawandel ?

Anders Levermann und Hans Joachim Schellnhuber

Bei der Analyse und Bewertung des anthropogenen Klimawandels ist es hilfreich, zwei wesentliche Aspekte zu unterscheiden. Da ist zum einen die Frage, ob der Mensch bereits das globale Klima spürbar verändert hat. Und da ist die andere – noch wichtigere - Frage, wie stark wir das Klima der Zukunft transformieren werden, wenn wir weiter Treibhausgase wie Kohlendioxid in die Atmosphäre emittieren. Auf beide Fragen hat die Wissenschaft mittlerweile eindeutige Antworten. Interessanterweise ist die vermeintlich problematischere der beiden, nämlich die über die zukünftige Entwicklung, wesentlich klarer formulierbar und schon seit Jahren, wenn nicht Jahrzehnten, wissenschaftlich unumstösslich begründet. Diese Antwort ist für unser politisches und ökonomisches Handeln hoch relevant und ergibt sich aus den folgenden Tatsachen:

Wir kennen die Absorptionsspektren der wichtigsten Treibhausgase (wie Kohlendioxid und Methan) aus quantenmechanischen Berechnungen und Laboruntersuchungen. Diese Gase spielen bereits beim natürlichen Treibhauseffekt eine entscheidende Rolle und trugen deshalb schon in vorindustrieller Zeit massgeblich zur lebensfreundlichen globalen Mitteltemperatur von etwa 15°C bei. Ihre Wirkung auf die Strahlungsbilanz der Erde kann auf dieser Grundlage mit hoher Genauigkeit berechnet werden, und es ist seit langem unumstritten, dass eine weitere atmosphärische Anreicherung zu einer Erhöhung der Erdoberflächentemperatur führen wird.

Die exakte Höhe der Erwärmung hängt entscheidend von klimatischen Rückkopplungen ab, insbesondere der Zunahme an Wasserdampf durch verstärkte Verdunstung aus dem wärmeren Ozean. Wasserdampf ist ein ausserordentlich potentes Treibhausgas und liefert den bei weitem wichtigsten Selbstverstärkungseffekt. Es gibt auch abschwächende Effekte („negative Rückkopplungen“). Dennoch lässt der diesjährige IPCC-Sachstandsbericht keinen Zweifel daran, dass das Vorzeichen der Reaktion des Klimasystems auf die Erhöhung der Treibhausgase in der Summe eindeutig ist: Die klimatischen Rückkopplungen verstärken den direkten anthropogenen Treibhauseffekt, so dass wir eine Erwärmung von etwa 2°C bis 4°C erwarten, wenn die Kohlendioxid-Konzentration gegenüber dem vorindustriellen Wert verdoppelt wird (auf 560 ppm). Entsprechend kommt der IPCC zu dem Schluss: „Fortgesetzter Ausstoss von Treibhausgasen auf oder über dem derzeitigen Niveau würde eine weitere Erwärmung zur Folge haben und während des 21. Jahrhunderts

viele Änderungen im globalen Klimasystem induzieren, die sehr wahrscheinlich grösser wären als die im 20. Jahrhundert beobachteten.“

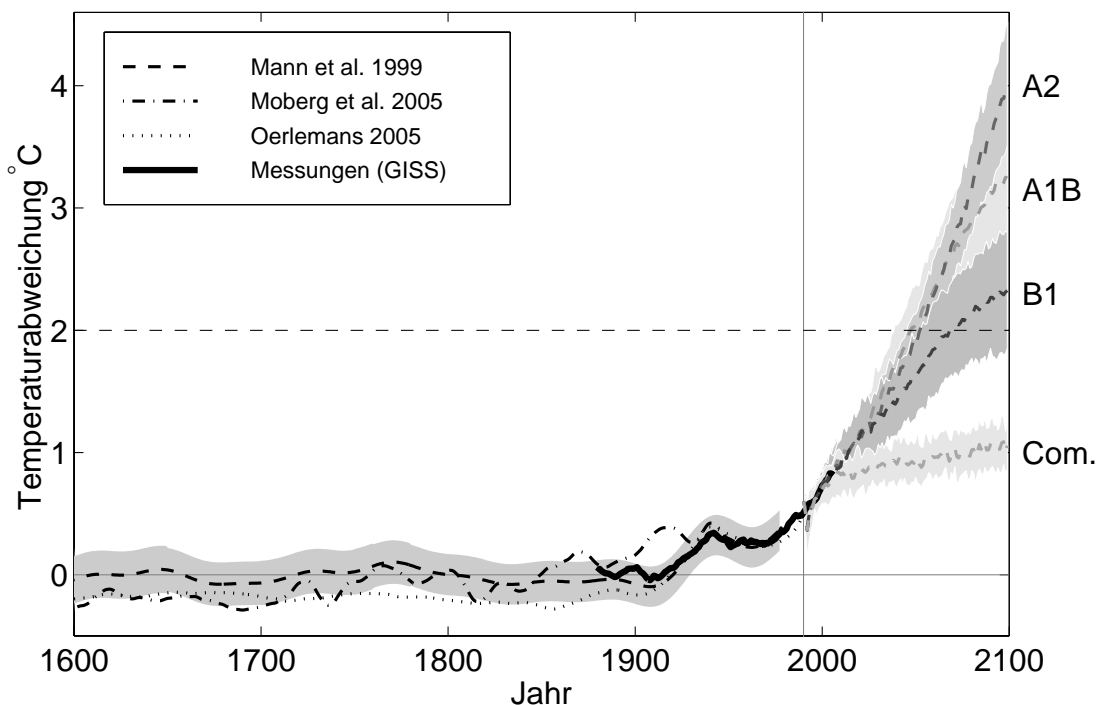
Warum ist es nun schwieriger, Aussagen über den vermeintlich schon verursachten Klimawandel zu treffen? Ein Grund hierfür lässt sich an der nebenstehenden Grafik verdeutlichen. Sie zeigt u.a. die Temperaturänderung der Nordhemisphäre in den vergangenen 400 Jahre – rekonstruiert nach drei völlig unterschiedlichen Methoden auf der Grundlage unterschiedlicher Daten. Die Zeitverläufe zeigen klar, dass es natürliche Klimaveränderungen in der Vergangenheit gegeben hat und entsprechend auch heute gibt. Diese Schwankungen haben sehr unterschiedliche Ursachen – von veränderten Orbitalparametern der Erde über Variationen in der Strahlungskraft der Sonne bis hin zu Vulkanausbrüchen. Zudem ist jede der unterschiedlichen Temperatur-Rekonstruktionen mit inhärenten Unsicherheiten behaftet. In weiten Teilen ist diese Unsicherheit (graue Schattierung) sogar grösser als die rekonstruierte natürliche Klimavariabilität der letzten 400 Jahre. Die Temperaturentwicklung der letzten 140 Jahre kann jedoch aus direkten Thermometermessungen abgeleitet werden (breite schwarze Kurve) und zeigt einen mittleren Temperaturanstieg von etwa 0.8°C während der letzten 100 Jahre. Dieses Erwärmungssignal ist von der Grössenordnung her vergleichbar mit der natürlichen Schwankungsbreite der Vergangenheit und auch mit der Methodenunsicherheit. Das ist der Grund, weshalb Aussagen über einen bereits erfolgten anthropogenen Klimawandel schwierig sind. Dennoch macht der IPCC die Aussage: „Der grösste Teil der Erhöhung der globalen Mitteltemperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist sehr wahrscheinlich auf den beobachteten Anstieg an anthropogenen Treibhausgasen zurückzuführen.“

Die Begründung dieser Aussage ist komplex. Zum einen ist die anthropogene Anreicherung der Atmosphäre mit Treibhausgasen seit ca. 1750 unbestritten. Aufgrund der oben aufgezeigten Wirkung auf die Strahlungsbilanz ist eine Erwärmung zu erwarten, die quantitativ völlig konsistent mit der beobachteten ist. Die derzeitige Kohlendioxidkonzentration von 380 ppm entspricht in etwa einer Temperaturerhöhung von 1.4°C . Die fehlenden, d.h. noch nicht beobachteten, 0.6°C sind auf die Trägheit des Klimasystems, vor allem des Ozeans zurückzuführen. Dieses sogenannte „warming commitment“ (in der Grafik als „Com.“ bezeichnet) wird erst mit Zeitverzögerung realisiert. Auch wenn die zugrunde liegende Überschlagsrechnung etwas grob ist, da sie z.B. den Einfluss der anderen Treibhausgase mit der entgegengesetzten Wirkung der Aerosole kompensiert (eine legitime Vereinfachung bei der derzeitigen Datenlage), zeigt sie doch, dass die

Größenordnungen von beobachtetem Kohlendioxidanstieg und beobachteter Erwärmung übereinstimmen.

Ein weiteres gewichtiges Argument ist, dass alle anderen möglichen natürlichen Einflussfaktoren seit wenigstens 65 Jahren keinen eindeutigen Trend mehr zeigen, der die Temperaturentwicklung erklären könnte. Folglich können Modelle die Klimageschichte der letzten 100 Jahre ohne Einbeziehung von anthropogenen Treibhausgasen nicht wiedergeben. Bei Berücksichtigung des anthropogenen Einflusses sind die Modelle heute dagegen in der Lage, die Temperaturentwicklung des letzten Jahrhunderts hervorragend zu reproduzieren.

Während das Erwärmungssignal derzeit erst marginal aus dem Hintergrund der natürlichen Schwankungen heraustritt, ist für die Zukunft ein wesentlich deutlicheres Bild zu erwarten. Die Projektionen für die globale Mitteltemperatur (Grafik) zeigen einen Anstieg gegenüber vorindustriellen Temperaturen von etwas unter 2°C bis über 4°C im Jahr 2100. Die grösste Unsicherheit für die Zukunft liegt hier nicht bei den Modellen, sondern in unseren politischen und ökonomischen Entscheidungen.



Rekonstruktionen der Nordhemisphärentemperaturänderung der letzten 400 Jahre im Vergleich zu direkten Thermometermessungen (fette Kurve) und Projektionen für die kommenden 100 Jahre. Die Projektionen folgen drei verschiedenen Szenarien (A2 entspricht z.B. dem „Business As Usual“-Fall) und wurden mit jeweils wenigstens 16 Modellen berechnet, was zu den grauen Unbestimmtheitsfächern führt.