

Die Klimaproblematik

Mojib Latif

Der überwiegende Anteil an der Erderwärmung ist vom Menschen verursacht. Dies ist Konsens in der internationalen Klimaforschung. Insofern kann es heute nicht mehr darum gehen, ob der Mensch das Klima beeinflusst, sondern nur noch darum, inwieweit die Klimaveränderung noch minimiert werden kann.

Das Kioto Protokoll liefert den aus Sicht der Klimaforscher notwendigen Klimaschutz allerdings in der gegenwärtigen Form nicht. Es dürfte auch ein Irrglaube sein, die notwendige Reduzierung der Treibhausgase allein durch Effizienzsteigerungen erreichen zu können. Langfristig hilft nur ein Umbau der Wirtschaft in Richtung der regenerativen Energien.

Jahrhundertflut und Klimaproblematik

Die Jahrhundertflut des Jahres 2002 in Deutschland hat die Klimaproblematik in den Blickpunkt des öffentlichen Interesses gerückt. Das Klimaproblem hat seinen Ursprung darin, dass der Mensch durch seine vielfältigen Aktivitäten bestimmte klimarelevante Spurengase in die Atmosphäre entlässt. Diese Spurengase führen zu einer zusätzlichen Erwärmung der Erdoberfläche und der unteren Luftschichten, dem "Treibhauseffekt". Von größter Bedeutung ist dabei das Kohlendioxid (CO₂), das vor allem durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Erdöl, Kohle, Erdgas) in die Atmosphäre entweicht. Der weltweite CO₂-Ausstoß ist eng an den weltweiten Energieverbrauch gekoppelt, da die Energiegewinnung vor allem auf fossilen Energieträgern basiert. Andere wichtige Spurengase sind Methan (CH₄), Distickstoffoxid (N₂O) und die Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW). Das Kohlendioxid hat einen Anteil von ca. 50 % an dem durch den Menschen verursachten (anthropogenen) Treibhauseffekt. Vom Menschen in die Atmosphäre emittiertes CO₂ hat eine typische Verweildauer von ca. 100 Jahren, was die Langfristigkeit des Klimaproblems verdeutlicht.

Der CO₂-Gehalt war seit Jahrhundertausenden nicht mehr so hoch wie heute

Messungen belegen zweifelsfrei, dass sich die Konzentration von CO₂ in der Atmosphäre seit Beginn der industriellen Revolution rasant erhöht hat (Abb.1). Lag der CO₂-Gehalt um 1800 noch bei ca. 280 ppm, so liegt er heute schon bei ca. 370 ppm. Dass der Mensch für diesen Anstieg verantwortlich ist, ist unstrittig. Ein Blick in die Vergangenheit zeigt, dass der CO₂-Gehalt heute schon so hoch ist wie seit ca. 400.000 Jahren nicht mehr. Dabei hat man die Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung der Erdatmosphäre aus Eisbohrkernen rekonstruiert, indem die im Eis eingeschlossenen Luftbläschen analysiert wurden. Der CO₂-Ge-

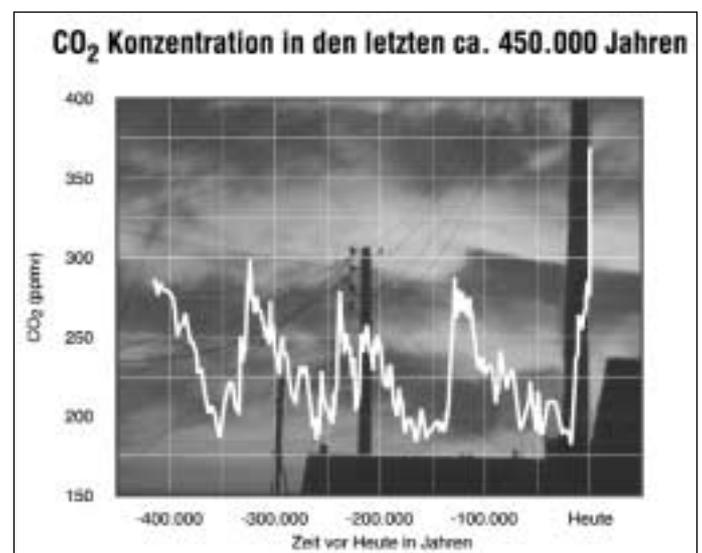


Abb. 1: CO₂-Konzentration in den letzten ca. 450.000 Jahren (Quelle: Max-Planck-Institut für Meteorologie 2002)

Kontakt:

Dr. Mojib Latif
Max-Planck-Institut für Meteorologie
Bundesstr. 55
D-20146 Hamburg
Tel.: 040/41173-248
Fax: 040/41173-173
latif@dkrz.de

halt war zwar immer Schwankungen unterlegen, die CO₂-Konzentration hat sich aber zwischen ca. 200 und 300 ppm bewegt. Während der letzten Eiszeit vor etwa 20.000 Jahren lag der CO₂-Gehalt bei etwa 200 ppm, während der letzten Warmzeit vor ca. 120.000 Jahren bei ca. 300 ppm. Wir befinden uns also heute bereits außerhalb der natürlichen Schwankungsbreite.

Der Treibhauseffekt, der Garant für Leben

Hätte die Erde keine Atmosphäre, würde sich die Oberflächentemperatur ausschließlich aus der Bilanz zwischen eingestrahelter Sonnenenergie und der vom Boden abgestrahlten Wärme (Infrarot)-Strahlung ergeben und im globalen Mittel etwa -18 °C betragen. Selbst eine Atmosphäre aus reinem Sauerstoff und Stickstoff, die ja die Hauptkomponenten unserer Atmosphäre (zu ca. 98 %) bilden, würde daran nichts Wesentliches ändern. Dagegen absorbieren bestimmte Spurengase, darunter auch CO₂, die von der Erdoberfläche ausgehende Wärmestrahlung und emittieren ihrerseits langwellige Strahlung in Richtung der Erdoberfläche. Dies führt zu einer zusätzlichen Erwärmung, so dass die Temperatur der Erdoberfläche im globalen Mittel ca. +15 °C beträgt. Dieser natürliche "Treibhauseffekt" ist daher mitverantwortlich dafür, dass auf unserem Planeten überhaupt Leben möglich ist.

Die Konzentration der langlebigen Treibhausgase nimmt systematisch zu: seit Beginn der Industrialisierung bis heute bei Kohlendioxid (CO₂) um ca. 30 %, bei Methan (CH₄) um 120 % und bei Distickstoffoxid (N₂O) um ca. 10 %. Hierdurch wird eine langfristige Erwärmung der unteren Atmosphäre und der Erdoberfläche angestoßen, die mit der Konzentration zunimmt, aber auch stark von der Reaktion des Wasserkreislaufs bestimmt wird. Der Wasserkreislauf kann sowohl verstärkend wie dämpfend eingreifen, weil viele seiner Zweige u. a. stark temperaturabhängig sind. Ein verstärkter Treibhauseffekt führt damit auch zu Veränderungen des Niederschlags, der Bewölkung, der Meereisausdehnung, der Schneebedeckung und des Meeresspiegels sowie der Wetterextreme, d. h. letzten Endes zu einer globalen Klimaveränderung. Für die Menschheit besonders wichtig ist hierbei die mögliche Änderung der Extremwertstatistik, was anhand der Elbe-Flut deutlich geworden ist.

Die Wissenschaft hat die Bringschuld erbracht

Wie oben beschrieben, beobachten wir einen starken Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen, vor allem des CO₂, in der Atmosphäre (IPCC 2001). Dieser Anstieg verstärkt den Treibhauseffekt und führt zu einer globalen Erwärmung an der Erdoberfläche. Es drängt sich daher die Frage auf, was man schon heute an Klimaänderung beobachten kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Klima auf äußere Anregungen immer mit einer Zeitverzögerung von einigen Jahrzehnten reagiert. Wir können also nicht davon ausgehen, heute schon die volle zu erwartende Erwärmung zu beobachten. Rekonstruktionen der Temperatur der Nordhalbkugel der letzten 1.000 Jahre zeigen aber bereits einen offensichtlichen Erwärmungstrend in den letzten 100 Jahren.

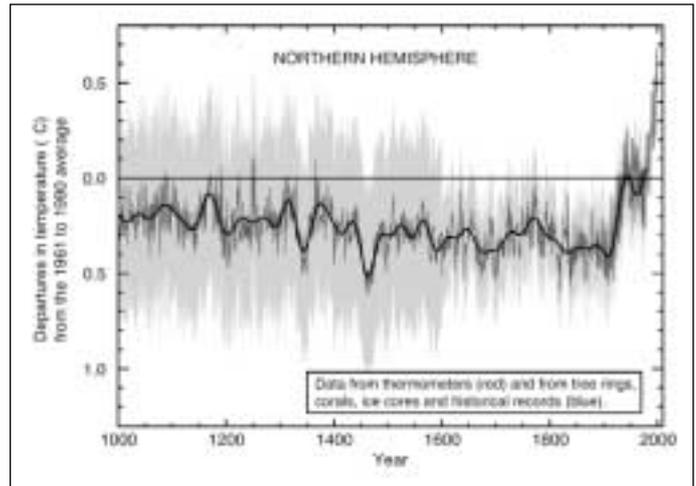


Abb. 2: Temperatur der Nordhalbkugel in den letzten 1000 Jahren (Quelle: IPCC 2001)

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Temperaturen vor 1900 vor allem aus indirekten Verfahren (wie z. B. der Baumringanalyse) abgeleitet wurden, was zu einer recht großen Unsicherheit in der Bestimmung der Temperatur führt. Selbst wenn man aber die maximale Unsicherheit zu Grunde legt, war das Jahrzehnt 1990-1999 das wärmste in den letzten 1.000 Jahren. Zusammen mit weiteren statistischen und auf Modellen basierenden Analysen (Fingerabdruckmethode) kann man heute bereits sagen, dass der beobachtete Temperaturanstieg der letzten Jahrzehnte mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf den Menschen zurückgeht. Es hat zwar in der Vergangenheit immer wieder Klimaschwankungen gegeben, die nicht auf menschliche Aktivität zurückgehen, wie z. B. die mittelalterliche Warmzeit oder die kleine Eiszeit, diese waren aber im Vergleich zum Anstieg der Temperatur der letzten Jahrzehnte deutlich schwächer, zumindest im globalen Maßstab.

Es wird immer wieder die Frage nach der Rolle der Sonne bei der Erderwärmung gestellt (siehe CUBASCH et al. 1996). Die Sonneneinstrahlung unterliegt Schwankungen, die auch mit der Sonnenfleckenaktivität zusammenhängen. So bedeutet eine hohe Sonnenfleckenzahl eine Zunahme der Sonneneinstrahlung, gleichzeitig verbunden mit einer leichten Verschiebung des Sonnenspektrums in den kurzwelligen (UV) Bereich. Es gibt dabei zwei bekannte Zyklen. Erstens den sogenannten Schwalbe-Zyklus, mit einer Periode von 11 Jahren und einer direkt gemessenen Amplitude von ca. 0,1 %, und zweitens den sogenannten Gleissberg-Zyklus, mit einer Periode von ca. 80 Jahren und einer geschätzten Amplitude von ca. 0,2-0,3 % der gesamten Einstrahlung. Es können daher Schwankungen des Angebots der Sonne von ca. 0,6 W/m² auftreten (zum Vergleich: der zusätzliche Treibhauseffekt durch erhöhte Konzentration von Kohlendioxid, Methan, Fluorchlorkohlenwasserstoffe und Distickstoffoxid beträgt zur Zeit ca. 2,4 W/m²). Gemittelt über die letzten 100 Jahre stieg die Solarkonstante an: Nach Schätzungen liegt sie zur Zeit etwa 0,25 % höher als vor 100 Jahren. Klimamodellsimulationen zeigen, dass ein Teil der beobachteten Erwärmung in den letzten 100 Jahren durch den Anstieg der Sonnenintensität erklärt werden kann, allerdings mit etwa 0,2 °C nur ungefähr ein knappes Drittel der Gesamterwärmung. Die Sonnenvariabilität allein kann also nicht für den beobachteten Temperaturanstieg von ca. 0,7 °C in den letzten 100 Jahren verantwortlich sein, der überwiegende

Anteil an der Erderwärmung ist daher vom Menschen verursacht. Dies ist Konsens in der internationalen Klimaforschung und in dem sogenannten IPCC-Bericht (Intergovernmental Panel on Climate Change) dokumentiert.¹ Es gibt also einen erkennbaren Einfluss des Menschen auf das Klima. Insofern kann es heute nicht mehr darum gehen, ob der Mensch das Klima beeinflusst, sondern nur noch darum, inwieweit wir die Klimaveränderung noch minimieren können (IPCC 2001).

Wie wird das Klima in Europa im 21. Jahrhundert aussehen?

Die Folgen für das Klima der Erde können mit Hilfe von Computersimulationen abgeschätzt werden. Dazu werden globale Klimamodelle entwickelt, die die Wechselwirkung zwischen den physikalischen Prozessen in Atmosphäre, Ozean, Meereis und Landoberflächen quantitativ beschreiben. Als Eingabeparameter benötigt das Modell u.a. die Konzentrationen der wichtigsten langlebigen Treibhausgase, während die Konzentration kurzlebiger Aerosolteilchen, die eng mit internen Prozessen wie Wolken- und Niederschlagsbildung verbunden ist, innerhalb des Klimamodells berechnet wird.

Mit einem am Max-Planck-Institut für Meteorologie entwickelten Modell wurde das Klima von 1860 bis zum Ende des 21. Jahrhunderts simuliert. Für die Vergangenheit (1860 bis heute) wurden die beobachteten Konzentrationen bzw. Emissionen der relevanten Spurengase vorgeschrieben, während für die Zukunft angenommen wurde, dass sich die heute beobachteten Trends unvermindert fortsetzen (IPCC Szenarium IS92a in IPCC 1992). In dieser Simulation wird eine globale Erwärmung von etwa 0,7 °C seit Ende des 19. Jahrhunderts bis heute berechnet, was gut mit den Beobachtungen übereinstimmt. Die globale Erwärmung bis zur Mitte dieses Jahrhunderts, d. h. die Differenz der Dekadenmittel (2040 bis 2049) minus (1990 bis 1999), liegt bei etwa 0,9 °C. Die Erwärmung der Kontinente ist mit 1,4 °C etwa doppelt so groß wie die der Ozeane. Bis zum Jahr 2100 kann die globale Erwärmung je nach angenommenem Szenarium bis zu 3 °C betragen. Zusammen mit der heute bereits realisierten globalen Erwärmung von etwa 0,7 °C entspräche dies fast dem Temperaturunterschied von der letzten Eiszeit bis heute. Es würde sich also um eine für die Menschheit einmalig rasante globale Klimaänderung handeln, für die es in der letzten Million Jahre kein Analogon gäbe.

Aber selbst in einem Szenarium, in dem der Ausstoß der Treibhausgase bis zum Ende dieses Jahrhunderts auf einen Bruchteil des heutigen Ausstoßes zurückgefahren wird, steigt die globale Mitteltemperatur der Erde immer noch um ein knappes Grad an. Dies ist auf die Trägheit des Klimasystems, vor allem der Weltmeere, zurückzuführen, aber auch auf die Tatsache, dass sich bereits große Mengen von Treibhausgasen in der Atmosphäre befinden, die nur langsam im Verlauf von vielen Jahrzehnten entfernt werden.

¹ Das IPCC wurde 1988 durch die Weltorganisation für Meteorologie (WMO - World Meteorological Organization) und das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP - United Nations Environment Programme) 1988 gegründet. Die Ergebnisse der Arbeiten des IPCC sind die Basis für die internationalen Klimaverhandlungen im Rahmen der Vereinten Nationen. Der IPCC Bericht des Jahres 2001 ist im Internet unter www.ipcc.ch oder im Buchhandel erhältlich.

Folgen der globalen Erwärmung sind eine Zunahme des atmosphärischen Wasserdampfs sowie ein verstärkter Wasserdampftransport von den Ozeanen zu den Kontinenten und damit eine Zunahme des Niederschlags über den Landgebieten. Regional sind die Niederschlagsänderungen jedoch sehr verschieden. Dabei fällt generell mehr Niederschlag in hohen Breiten und in Teilen der Tropen, während die regenärmeren Subtropen noch weiter austrocknen. Damit vergrößern sich die Unterschiede zwischen den feuchten und den trockenen Klimaten auf der Erde. Diese Aussage gilt auch für das Klima in Europa. Allerdings sind die Niederschlagstendenzen in den Winter- bzw. Sommermonaten sehr unterschiedlich. Während der Sommerniederschlag fast überall in Europa abnimmt, wird im Winter ein ausgeprägtes Nord-Süd-Gefälle mit einer Abnahme im niederschlagsarmen Südeuropa und einer Zunahme im niederschlagsreichen Mittel- und Nordeuropa vorhergesagt. Diese Zunahme hängt zusammen mit intensivierter winterlicher Sturmaktivität über dem Nordostatlantik und verstärkten Westwinden, die feuchte Luft vom Atlantik heranzuführen. Auffällig ist eine Häufung von Starkniederschlägen sowohl im Winter wie auch im Sommer und damit eine erhöhte Wahrscheinlichkeit von Überschwemmungen. Dies gilt zum Teil sogar für den Mittelmeerraum, in dem die mittlere Niederschlagsmenge abnimmt. Ursache ist vermutlich der infolge der Erwärmung höhere Wasserdampfgehalt der Atmosphäre, der bei extremen Wetterereignissen höhere Niederschlagsmengen ermöglicht als im heutigen Klima. Danach ist in der Zukunft häufiger mit extremen Überschwemmungen zu rechnen (u.a. VOSS et al. 2002).

Die Unsicherheiten in der Berechnung des zukünftigen Klimas

Die Ergebnisse hängen u. a. entscheidend vom jeweiligen Szenarium ab, d. h. von den Annahmen über die zukünftige Entwicklung der Weltbevölkerung, der Industrialisierung, des Verbrauchs fossiler Brennstoffe etc. Klimamodelle können außerdem immer nur eine angenäherte Simulation des sehr komplexen realen Klimasystems liefern. Generell gilt, dass die Aussagekraft der Modelle umso schwächer wird, je kleiner das betrachtete Gebiet ist. So können z.B. regionale Details innerhalb Deutschlands weniger genau erfasst werden als Unterschiede zwischen Nord- und Südeuropa. Der Hauptgrund liegt in der noch relativ groben Maschenweite der globalen Klimamodelle von einigen hundert Kilometern, die es nicht erlaubt, Gebirge wie z.B. die Alpen gut aufzulösen oder auch kleinräumige Prozesse, wie die Wolken- und Niederschlagsbildung, adäquat darzustellen. Hinzu kommt, dass die Modelle derzeit noch unvollständig sind. So bleiben mögliche Änderungen sowohl in der Vegetation als auch in der Masse des Inlandeises im zukünftigen Klima unberücksichtigt. Als Folge der oben skizzierten Klimaänderungen könnte sich z.B. die Vegetation ändern und dies wiederum auf die Temperatur der Landoberfläche zurückwirken. Derartige vegetationsdynamische Rückkopplungen werden vermutlich in der nächsten Generation der Klimamodelle ebenso berücksichtigt werden wie die Wechselwirkung mit chemischen Prozessen in der Atmosphäre. Es sollte aber festgehalten werden, dass die Modellsimulationen die großskaligen und langfristigen Veränderungen des Klimas trotz der oben beschriebenen Unsicherheiten relativ zuverlässig

berechnen können. Dies konnte anhand von Simulationen vergangener Klimazustände dokumentiert werden (VOSS et al. 2001).

Das Kioto-Protokoll, ein erster wichtiger Schritt

Die Klimaproblematik steht inzwischen auch an oberster Stelle auf der Agenda der Weltpolitik. Am 10. Dezember 1997 haben 159 Vertragsstaaten der Rahmenkonvention der Vereinten Nationen zu Klimaänderungen einstimmig das so genannte Kioto-Protokoll angenommen. Wie von der ersten Vertragsstaatenkonferenz im April 1995 im so genannten Berliner Mandat gefordert, war damit die erste Ausführungsbestimmung zur Klimakonvention wenigstens formuliert. In ihr werden die Industrieländer (zur Zeit sind es 39) gezwungen, ihre Treibhausgasemissionen bis zur Periode 2008 bis 2012 um durchschnittlich 5,2 Prozent (bezogen auf die Emission im Jahre 1990) zu mindern, wenn die Parlamente das Protokoll ratifizieren oder die Regierungen dem Protokoll beitreten. Völkerrechtlich verbindlich wird das Kioto-Protokoll, wenn mindestens 55 der zur Zeit 175 Vertragsstaaten, die mindestens 55 Prozent aller CO₂-Emissionen des Jahres 1990 umfassen, ratifiziert haben. Neben dem Kohlendioxid (CO₂) kann auch die Minderung der Emissionen anderer Treibhausgase durch Umrechnung in CO₂-Äquivalente angerechnet werden.

Die Europäische Union muss im Mittel um 8 Prozent reduzieren, stärker als die USA mit 7 Prozent oder Japan mit 6 Prozent. Allerdings ist fraglich, ob die USA das Protokoll ratifizieren werden. Russland soll nur stabilisieren und Norwegen darf sogar zulegen. Diese unterschiedlichen Minderungssätze sind Resultat nachweislich unterschiedlicher Bedingungen, aber auch teilweise Folge des Verhandlungsgeschicks einzelner Länder.

Mit dem Kioto-Protokoll beginnt die Menschheit, nachdem ihre Wirkung auf das Weltklima offensichtlich geworden ist, Erdsystemmanagement. Die Verfahrensregeln müssen aber noch eindeutig festgelegt werden. Beispielsweise muss klar sein, wie viel Prozent der Minderung ein Land durch Kauf von Emissionsrechten von einem anderen Land, das über die Verpflichtung hinaus gemindert hat, begleichen darf. Weiterhin muss z.B. festgelegt werden, wie viel CO₂ von einem neu aufgeforsteten Waldgebiet gebunden wird und von den Emissionen durch Nutzung fossiler Brennstoffe abgezogen werden darf.

Den aus Sicht der Klimaforscher notwendigen Klimaschutz liefert das Kioto Protokoll in der gegenwärtigen Form keineswegs. Um gravierende Klimaänderungen in den nächsten hundert Jahren zu vermeiden, müsste der Ausstoß von Treibhausgasen bis zum Jahr 2100 auf einen Bruchteil des heutigen Ausstoßes reduziert werden. Die jährlichen Vertragsstaatenkonferenzen bieten jedoch die Chance für Nachbesserungen, so wie es auch bei dem Montrealer Protokoll, der Ausführungsbestimmung zur Wiener Konvention zum Schutz der Ozonschicht, der Fall war.

Die Zukunft liegt bei den regenerativen Energien

In der Zukunft muss der Einführung der regenerativen Energien mehr Gewicht beigemessen werden, denn nur diese, insbesonde-

re die Sonnenenergie, stehen unbegrenzt zur Verfügung. Es ist ein Irrglaube, die notwendigen Emissionsreduzierungen bei den Treibhausgasen durch Effizienzsteigerungen allein erreichen zu können. Wir müssen die Energiewirtschaft langfristig in Richtung der regenerativen Energien umbauen, insbesondere auch vor dem Hintergrund, dass die fossilen Energieträger begrenzt sind und der Energiebedarf der Menschheit wachsen wird. Da das Klima immer nur auf die langfristige Strategie reagiert, kann der Umbau der Wirtschaft allmählich innerhalb der nächsten hundert Jahre erfolgen. Wichtig ist aber, dass wir heute bereits alle Energiesparpotentiale ausschöpfen und den Weg der Reduzierung der Treibhausgasemissionen beschreiten. Insofern ist das Kioto Protokoll ein erster, wichtiger Schritt in die richtige Richtung.²

Wenn wir heute die Weichen für eine nachhaltige Entwicklung stellen, dann ist dies auch in ökonomischer Hinsicht sinnvoll, denn es ist insgesamt billiger, Vorsorge zu treffen, als die sich in der Zukunft möglicherweise häufenden klimabedingten Schäden zu begleichen. Die Dimension der Schäden der Elbe-Flut hat uns dies nur zu deutlich vor Augen geführt. Darüber hinaus sollten wir nicht mit unserem Planeten experimentieren, da die Vergangenheit immer wieder gezeigt hat, dass vielerlei Überraschungen möglich sind. So wurde z. B. das Ozonloch über der Antarktis von keinem Wissenschaftler vorhergesagt, obwohl die ozonschädigende Wirkung der FCKWs bekannt war. Das Klimasystem ist ein nichtlineares System, das bei starken Auslenkungen für uns alle verblüffende Lösungen bereithalten kann.

² Zusammenfassung z.B. unter <http://www.mpimet.mpg.de/Ausbildung-FAQs-Was-will-das-Kioto-Protokoll>

Nachweise

- CUBASCH, U., G.C. HEGERL, R. VOSS, J. WASZKEWITZ & T.C. CROWLEY (1996): Simulation with an O-AGCM of the influence of variations of the solar constant on the global climate. *Climate Dynamics* 13: 757-767
- IPCC (1992): *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Hrsg. J.T. Houghton, B.A. Callander, S.K. Varney. Cambridge University Press, UK.
- IPCC (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the IPCC Third Assessment Report 2001*.
- MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR METEOROLOGIE (2002): unveröffentlicht
- VOSS, R. & U. MIKOLAJEWICZ (2001): The climate of 6000 years BP in near-equilibrium simulations with a coupled AOGCM. *Geophysical Research Letters* 28(11): 2213-2216
- VOSS, R., MAY, W. & E. ROECKNER (2002): Enhanced Resolution Modelling Study on Anthropogenic Climate Change: Changes in Extremes of the Hydrological Cycle. *International Journal of Climatology* 22: 755-777