

Bundeszentrale für  
politische BildungURL: <http://www.bpb.de/apuz/29838/der-menschliche-einfluss-auf-das-klima>

Pfad: Aus Politik und Zeitgeschichte | Aus Politik und Zeitgeschichte 2006 | 20 Jahre Tschernobyl | Der menschliche Einfluss auf das Klima

## Der menschliche Einfluss auf das Klima

Zur Person

**Mojib Latif**

Dr. rer. nat., geb. 1954; Professor für Meteorologie  
am Leibniz-Institut für Meereswissenschaften  
(IFM-GEOMAR) an der Universität Kiel.  
Düsternbrooker Weg 20, 24105 Kiel.  
E-Mail: [mlatif@ifm-geomar.de](mailto:mlatif@ifm-geomar.de)  
Internet: »[www.ifm-geomar.de](http://www.ifm-geomar.de)«

Mojib Latif

21.3.2006

**Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Erdatmosphäre war seit Jahrhunderttausenden nicht mehr so hoch wie heute. Dass der Mensch für diesen Anstieg verantwortlich ist, kann nicht mehr ernsthaft bestritten werden.**

### Einleitung

Die sich weltweit häufenden Wetterextreme während der vergangenen Jahrzehnte haben die Klimaproblematik in den Blickpunkt des öffentlichen Interesses gerückt. So war das Jahr 2005 nicht nur das wärmste Jahr, seit es direkte Temperaturmessungen gibt, sondern auch das Jahr mit den bisher meisten Hurrikanen und der geringsten arktischen Eisausdehnung.

Es gibt kaum noch Zweifel darüber, dass der Mensch Einfluss auf das weltweite Klima ausübt und dass sich das Weltklima in den nächsten Jahrzehnten infolge dieses Einflusses noch weiter erwärmen wird. In einer wärmeren Welt kann mehr Wasser verdunsten, wodurch sich individuelle Wetterphänomene verstärken können. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit die bereits heute zu beobachtende Zunahme von Wetterextremen, beispielsweise von Starkniederschlägen in **Deutschland** oder die Häufung und Intensivierung tropischer Wirbelstürme (Hurrikane, Taifune), schon Anzeichen der globalen Erwärmung sind.

Das Klimaproblem hat seinen Ursprung darin, dass der Mensch durch seine vielfältigen Aktivitäten bestimmte klimarelevante Spurengase in die Atmosphäre entlässt. Diese führen zu einer zusätzlichen Erwärmung der Erdoberfläche und der unteren Luftschichten, dem vom Menschen verursachten, "anthropogenen" Treibhauseffekt. Von größter Bedeutung ist dabei das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), das vor allem durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Erdöl, Kohle, Erdgas) in die Atmosphäre entweicht. Der weltweite CO<sub>2</sub>-Ausstoß ist eng an den Welt-Energieverbrauch gekoppelt, da die Energiegewinnung vor allem auf fossilen Energieträgern basiert. Andere wichtige Spurengase sind vor allem Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) und die Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW). Das Kohlendioxid hat einen Anteil von etwa 50 Prozent an dem durch den Menschen verursachten Treibhauseffekt. Vom Menschen in die Atmosphäre emittiertes CO<sub>2</sub> hat eine typische Verweildauer von rund 100 Jahren, was die Langfristigkeit des Klimaproblems verdeutlicht.

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Erdatmosphäre war seit Jahrhunderttausenden nicht mehr so hoch wie heute. Messungen belegen zweifelsfrei, dass sich die **Konzentration** von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre seit Beginn der Industriellen **Revolution** rasant erhöht hat. Lag der CO<sub>2</sub>-Gehalt um 1800 noch bei ca. 280 ppm (parts per million), so liegt er heute schon bei fast 380 ppm. Dass der Mensch für diesen Anstieg verantwortlich ist, kann nicht mehr ernsthaft bestritten werden. Ein Blick in die Vergangenheit zeigt, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt heute schon so hoch ist wie seit etwa 450 000 Jahren nicht mehr (vgl. Abbildung 1 der PDF-Version). Dabei hat man die Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung der Erdatmosphäre aus Eisbohrkernen der Antarktis rekonstruiert, indem die im Eis eingeschlossenen Luftbläschen analysiert wurden.

### Der anthropogene Treibhauseffekt

Bei einer Erde ohne Atmosphäre wäre die Oberflächentemperatur ausschließlich durch die Bilanz zwischen eingestrahelter Sonnenenergie und der vom Boden abgestrahlten Wärme-(Infrarot-)Strahlung festgelegt. Diese Oberflächentemperatur würde im globalen Mittel etwa -18°C betragen. Selbst eine Atmosphäre aus reinem Sauerstoff und Stickstoff, die ja die Hauptkomponenten unserer Atmosphäre (ca. 99 Prozent) bilden, würde daran nichts Wesentliches ändern. Dagegen absorbieren bestimmte Spurengase wie Wasserdampf und Kohlendioxid die von der Erdoberfläche ausgehende Wärmestrahlung und emittieren ihrerseits auch in Richtung der Erdoberfläche langwellige Strahlung. Dies führt zu einer zusätzlichen Erwärmung der Erdoberfläche (vgl. Abbildung 2 der PDF-Version). Die Temperatur der Erdoberfläche beträgt daher im globalen Mittel etwa +15°C. Dieser natürliche Treibhauseffekt ist dafür mitverantwortlich, dass es Leben auf unserem Planeten gibt. Die beteiligten Gase werden als "Treibhausgase" bezeichnet.

Die Konzentration der langlebigen Treibhausgase nimmt systematisch zu: seit Beginn der Industrialisierung im 18. Jahrhundert bis heute bei Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) um rund 30 Prozent, bei Methan (CH<sub>4</sub>) um 120 und bei Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) um ca. zehn Prozent. Hierdurch wird eine langfristige zusätzliche Erwärmung der unteren Atmosphäre und der Erdoberfläche angestoßen. Ein verstärkter Treibhauseffekt führt zu Veränderungen des Niederschlags, der Bewölkung, der Meereisausdehnung, der Schneebedeckung und des Meeresspiegels sowie der Wetterextreme, letzten Endes also zu einer globalen Klimaveränderung. Für die Menschheit besonders wichtig ist hierbei die mögliche Änderung der Extremwertstatistik, was anhand der Elbe-Flut 2002 und der Dürre des Sommers 2003 in **Europa** deutlich geworden ist.

Aber auch die Veränderungen in den Gebirgsregionen können dramatische Ausmaße annehmen. Dies erkennt man vor allem am Rückzug der Gebirgsgletscher in den Alpen, die bereits etwa die Hälfte ihres Volumens seit 1850 verloren haben. Die Gletscher werden sich noch weiter zurückziehen. Die meisten Alpengletscher wären schon in etwa fünfzig Jahren unter Annahme eines business as usual (BAU)-Szenariums verschwunden, wenn keine Maßnahmen unternommen werden, um den anthropogenen Treibhauseffekt abzumildern. Die Permafrostgebiete - Regionen, in denen die Böden praktisch das ganze Jahr über gefroren sind und nur oberflächlich im Sommer leicht antauen - werden sich ebenfalls zurückziehen. Die Folgen im Gebirge wären unübersehbar, da der Rückzug des Permafrostes die **Stabilität** ganzer Berglandschaften gefährden könnte. Bis jetzt nicht gekannte Hangabruptungen und Murenabgänge - das sind Schlamm- und Gerölllawinen - könnten die Folgen sein.

Als Folge der globalen Erwärmung wird der Meeresspiegel ansteigen, zum einen infolge der Wärmeausdehnung der Meere (thermische Expansion) und zum anderen infolge der Eisschmelze. Der Anstieg des Meeresspiegels infolge der thermischen Expansion kann bis zum Jahr 2100 bis zu 80 Zentimeter betragen. Falls die großen Eispanzer Grönlands oder der Antarktis schmelzen sollten, wären noch deutlich stärkere Anstiege zu erwarten. So würde beispielsweise ein komplettes Abschmelzen des grönländischen Eispanzers den Meeresspiegel um weltweit sieben Meter ansteigen lassen. Allerdings wird die Frage der Stabilität der großen Eisschilde innerhalb der Klimaforschung noch kontrovers diskutiert.

Es drängt sich 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. Die globale Mitteltemperatur der Erde zeigt bereits einen offensichtlichen Erwärmungstrend in den vergangenen hundert Jahren (vgl. Abbildung 3 der PDF-Version), wobei das Jahr 2005 das wärmste Jahr seit mindestens tausend Jahren war. Zusammen mit weiteren statistischen und auf Modellen basierenden Analysen (Fingerabdruckmethoden) kann man heute bereits sagen, dass der beobachtete Temperaturanstieg der vergangenen Jahrzehnte mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit vor allem auf den Menschen zurückgeht. Es hat zwar in der Vergangenheit immer wieder Klimaschwankungen gegeben, die nicht auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind, beispielsweise die mittelalterliche Warmzeit oder die kleine Eiszeit. Diese waren im Vergleich zum Anstieg der Temperatur der vergangenen Jahrzehnte allerdings deutlich schwächer, zumindest im globalen Maßstab.

Es wird immer wieder die Frage nach der Rolle der Sonne für die Erderwärmung gestellt. Die Sonneneinstrahlung unterliegt Schwankungen, die auch mit der Sonnenfleckenaktivität zusammenhängen. Gemittelt über die vergangenen 100 Jahre stieg die Solarkonstante an: Nach Schätzungen liegt sie zurzeit um etwa 0,25 Prozent höher als vor 100 Jahren. Klimamodellsimulationen zeigen, dass in den vergangenen 100 Jahren durch den Anstieg der Sonnenintensität ein Teil der beobachteten Erwärmung erklärt werden kann, allerdings mit etwa 0,2°C nur ungefähr ein Viertel der Gesamterwärmung. Die Sonnenvariabilität allein kann also nicht für den beobachteten Temperaturanstieg der vergangenen 100 Jahre von ca. 0,8°C verantwortlich sein. Der überwiegende Anteil an der Erderwärmung ist anthropogen, vom Menschen verursacht. Dies ist **Konsens** in der internationalen Klimaforschung. Es gibt einen erkennbaren Einfluss des Menschen auf das Klima. Es kann heute nicht mehr darum gehen, ob der Mensch das Klima beeinflusst, sondern nur noch darum, inwieweit wir die Klimaveränderung noch minimieren können.

## Ist das Klima vorhersagbar?

Inwieweit reagieren chaotische Systeme wie das Klima auf menschliche Einflüsse? Können sie überhaupt berechnet werden? Am besten vergleicht man den Einfluss des Menschen auf das Klima mit einem gezinkten Würfel. Das Zinken besteht darin, dass wir die Temperatur der Erde infolge des Ausstoßes bestimmter klimarelevanter Gase erhöhen. Dies führt zu mehr Wetterextremen, so wie der gezinkte Würfel mehr Sechsen hervorbringt. Wir können aber nicht sagen, wann genau die nächste Sechse kommt, denn die Reihenfolge der Zahlen bleibt zufällig. Ähnlich verhält es sich mit den Wetterextremen: Wir können zwar ihre Statistik berechnen, beispielsweise, dass sie sich infolge der globalen Erwärmung häufen werden, wir wissen aber nicht, wann genau die Wetterextreme eintreten werden. Dies erklärt auch, warum längerfristige Klimavorhersagen möglich sind, obwohl Wettervorhersagen prinzipiell auf kurze Zeiträume beschränkt sind.

Das Beispiel des gezinkten Würfels verdeutlicht auch, dass die Beobachtung eines bestimmten Ereignisses keinerlei Rückschlüsse auf die Eigenschaften des Würfels zulässt: Der Würfel hat auch vor dem Zinken schon Sechsen geliefert. Auf das Wetter übertragen bedeutet dies, dass die Beobachtung einer schweren Überschwemmung oder einer langanhaltenden Trockenperiode in der Vergangenheit nicht unbedingt bedeutet, dass sich auch die Statistik des Wetters verändert hat.

In der Tat zeigen jedoch Beobachtungen der vergangenen hundert Jahre, dass sich extreme Wetterereignisse weltweit häufen, wie von den Klimamodellen vorhergesagt. Und es ist genau diese Häufung extremer Wetterereignisse, die man der globalen Erwärmung zuordnen kann. Die Analogie zum gezinkten Würfel verdeutlicht darüber hinaus, dass es prinzipiell nicht möglich ist, einzelne Wetterextreme wie die Elbeflut des Jahres 2002 oder den Rekordsommer 2003 der globalen Erwärmung zuzuschreiben, genauso wenig wie man eine bestimmte Sechse dem Zinken des Würfels zuordnen kann. Man muss immer die Statistik der Ereignisse betrachten, etwa die Anzahl von Wetterextremen über einen längeren Zeitraum, wenn man den Zusammenhang zwischen Wetterextremen und der globalen Erwärmung beleuchten möchte.

Die Folgen für das Klima der Erde können mit Hilfe von Computersimulationen abgeschätzt werden. Dazu werden globale Klimamodelle entwickelt, welche die Wechselwirkung zwischen den physikalischen Prozessen in Atmosphäre, Ozean, Meereis und Landoberflächen quantitativ beschreiben. Mit einem am Max-Planck-Institut für Meteorologie entwickelten Modell wurde das Klima von 1860 bis zum Ende des 21. Jahrhunderts simuliert. Dabei wurden die wichtigsten Treibhausgase und Sulfat-Aerosole berücksichtigt, inklusive deren Einfluss auf die Wolkenbildung. Für die Vergangenheit (1860 bis heute) wurden die beobachteten Konzentrationen bzw. Emissionen vorgeschrieben, während für die Zukunft angenommen wurde, dass sich die heute beobachteten Trends unverändert fortsetzen. In dieser Simulation wird bis heute eine globale Erwärmung seit Ende des 19. Jahrhunderts von etwa 0,8°C berechnet, was mit den Beobachtungen übereinstimmt. Die globale Erwärmung bis zur Mitte dieses Jahrhunderts, 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 demnach je nach angenommenem Szenarium bis zu 4°C im globalen Mittel betragen. Zusammen mit der heute bereits realisierten globalen Erwärmung von etwa 0,8°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.

Die globale Erwärmung hat eine Zunahme des atmosphärischen Wasserdampfs zur Folge sowie einen verstärkten 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 vorhergesagt, mit einer Abnahme im niederschlagsarmen Südeuropa und einer Zunahme im niederschlagsreichen Mittel- und Nordeuropa. Diese Zunahme hängt zusammen mit intensiverer 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. Die Anzahl von Frosttagen wird in Europa bis zur Mitte dieses Jahrhunderts deutlich abnehmen, während sich die Anzahl von Hitzetagen (Temperaturen über 30°C) um etwa dreißig Tage stark erhöhen wird. Nach neuesten Berechnungen mit hochauflösenden regionalen Klimamodellen wird sich die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von sehr trockenen und sehr warmen Sommern in Europa dramatisch erhöhen. Hitzesommer wie der des Jahres 2003 würden im Jahr 2070 im Mittel alle zwei Jahre auftreten.

Tropische Wirbelstürme wird es trotz der globalen Erwärmung bei uns nicht geben. Dies liegt daran, dass für die **Entwicklung** von Hurrikanen oder Taifunen eine Meerestemperatur von mindestens 26,5°C erforderlich ist. Derart hohe Meerestemperaturen sind für den Nordatlantik nicht zu erwarten.

## Das Kyoto-Protokoll

Die Klimaproblematik steht inzwischen an oberster Stelle auf der Agenda der Weltpolitik. Am 10. Dezember 1997 haben die Vertragsstaaten der Rahmenkonvention der Vereinten Nationen zu Klimaänderungen einstimmig das so genannte Kyoto-Protokoll angenommen. Die Industrieländer verpflichten sich mit ihm, ihre Treibhausgasemissionen um im Mittel 5,2 Prozent (bezogen auf die Emission im Jahre 1990) bis zur Periode 2008 bis 2012 zu mindern. Mit der Ratifizierung durch **Russland** im Februar 2005 ist das Protokoll völkerrechtlich verbindlich. Die **Europäische Union** muss im Mittel um acht Prozent reduzieren, stärker als die **USA** mit sieben oder **Japan** mit sechs Prozent. 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. Die **USA** haben sich allerdings inzwischen vom Kyoto-Protokoll losgesagt. Und auch die **Schwellenländer**, wie etwa **China** oder Indien, sind im Protokoll nicht berücksichtigt. Dabei haben die USA und China zusammen einen Anteil an den weltweiten Kohlendioxid-Emissionen von etwa 40 Prozent.

Den aus Sicht der Klimaforschung notwendigen Klimaschutz liefert das Kyoto-Protokoll in der gegenwärtigen Form keineswegs. Um gravierende Klimaänderungen in den nächsten hundert Jahren zu vermeiden, müsste der Ausstoß von Treibhausgasen auf einen Bruchteil (< 20 Prozent) des heutigen Ausstoßes bis zum Jahr 2100 reduziert werden. In der Zukunft muss daher der Einführung regenerativer Energien mehr Gewicht beigemessen werden, denn nur diese, insbesondere die Sonnenenergie, stehen unbegrenzt zur **Verfügung**. Da das Klima nur auf langfristige Strategien reagiert, kann der Umbau der Wirtschaft in Richtung der Erneuerbaren Energien allmählich innerhalb der nächsten hundert Jahre erfolgen. Wichtig ist aber, dass wir heute bereits alle Energiesparpotenziale ausschöpfen und den Weg der Reduzierung der Treibhausgasemissionen beschreiten. Insofern ist das Kyoto-Protokoll ein erster, wichtiger Schritt in die richtige Richtung.

Wenn heute die Weichen für eine nachhaltige Entwicklung gestellt werden, dann ist dies auch in ökonomischer und energiepolitischer Hinsicht sinnvoll, denn es ist insgesamt billiger, Vorsorge zu treffen, als die sich in der Zukunft 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 beispielsweise das Ozonloch über der Antarktis von keinem Wissenschaftler vorhergesagt, obwohl die ozonschädigende Wirkung des FCKW damals bekannt war. Das Klimasystem ist ein nichtlineares **System**, das bei starken Auslenkungen verblüffende Lösungen bereithalten kann. So war der Rekordsommer 2003 so außergewöhnlich, dass er selbst unter Berücksichtigung der durch den Menschen verursachten globalen Erwärmung immer noch ein Ereignis mit einer extrem geringen Eintrittswahrscheinlichkeit gewesen ist.