

Ändert der Mensch das Klima?

von Christian-D. Schönwiese

e-mail schoenwiese@meteor.uni-frankfurt.de

Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Die Frage, ob und wenn ja, in welchem Ausmaß der Mensch das Klima ändert, global wie regional, beschäftigt nicht nur die Wissenschaft, sondern auch die Öffentlichkeit; denn wir alle sind vom Klima abhängig und tragen für unser Tun Verantwortung. Dabei sind die Indizien für die Klimaänderungen der Vergangenheit ebenso deutlich wie vielfältig: Es hat im Laufe der Jahrtausenden sowohl allmähliche als auch immer wieder abrupte natürliche Klimaänderungen gegeben. Die letzten rund 10000 Jahre, nach dem Ende der letzten Eiszeit, waren aber

relativ stabil, auch wenn die Auswirkungen zunächst gering erscheinender Klimaänderungen keinesfalls unterschätzt werden dürfen. Im Industriezeitalter ist jedoch eine so markante globale Erwärmung eingetreten, daß zumindest auf der nördlichen Halbkugel das Jahr 1998 das wärmste der letzten 1000 Jahre gewesen ist. Allerdings ist diese Erwärmung regional-jahreszeitlich sehr unterschiedlich abgelaufen, war von vielfältigen Fluktuationen überlagert und auch von regional begrenzten Abkühlungen begleitet. Entsprechend vielfältig sind die Ursa-

chen, wobei der Klimafaktor Mensch in Konkurrenz zu natürlichen Änderungen steht. Gerade für das Industriezeitalter haben sich aber die Indizien dafür verdichtet, daß der Klimafaktor Mensch beherrschend geworden ist. Die daraus erwachsenden Risiken für die Zukunft betreffen zudem nicht nur die Temperatur, sondern auch die Meeresspiegelhöhe, den Niederschlag und - trotz erheblicher Unsicherheiten - Extrem-Ereignisse wie z.B. Überschwemmungen, Dürren und Stürme. Klimaschutzmaßnahmen erscheinen aus dieser Sicht als dringend notwendig.

Ändert der Mensch das Klima?

von [Christian-D. Schönwiese](#)

e-mail schoenwiese@meteor.uni-frankfurt.de

Hier die Fakten - Langfassung

Motivation und Begriffsklärung: Um was geht es eigentlich?

Klima ist nicht nur eine ausgeprägt interdisziplinäre und hochaktuelle Herausforderung an die wissenschaftliche Forschung, sondern auch in der Öffentlichkeit Anlaß für heiße, nicht selten kontroverse Diskussionen. Dies erklärt sich daraus, daß der Mensch und mit ihm alles Leben auf unserem Planeten hochgradig von der Gunst des Klimas abhängen, es uns daher nicht gleichgültig sein kann, was mit unserem Klima geschieht. Zudem nimmt die Menschheit auch selbst Einfluß auf das Klima, und daraus erwächst uns eine besondere Verantwortung.

Im Gegensatz zum Wetter, das uns aufgrund täglicher Erfahrung und im Rahmen der "Wetterberichte" der Medien vertraut ist, entzieht sich das Klima einer solchen persönlichen Erfahrung. Es ist nämlich als das atmosphärische Geschehen definiert, das sich in wesentlich längeren Zeitspannen abspielt, in etwa von Jahren an aufwärts über Jahrzehnte

und Jahrhunderte bis hin zu Jahrtausenden und Jahrmillionen und Jahrmilliarden; denn eine "Eiszeit" dauert eben länger als ein Regenschauer und beides hat ganz unterschiedliche Ursachen. Allerdings können Wetterereignisse, wie beispielsweise ein Regenschauer oder auch die relative milde Witterung eines Winters, wie sie an irgendeinem Ort irgendwann auftreten, durchaus auch zu Klimabetrachtungen führen, beispielsweise bei der Frage, ob solche Ereignisse im Laufe der Jahrzehnte häufiger bzw. seltener werden.

Dies ist identisch mit der Frage nach relativ langzeitlichen Änderungen der Häufigkeitsverteilungen der Klimaelemente (Temperatur, Niederschlag, Wind usw.), die sich nicht nur in Mittelwert-Trends, sondern auch in der Häufigkeit von Extrem-Ereignissen äußern. Da solche Aspekte typisch für statistische Analysen sind, wird Klima oft als Langzeit-Statistik des Wetters bezeichnet. Weiterhin wird Klima nicht nur an einzelnen Orten, sondern auch

in räumlichen Mittelwerten und Strukturen betrachtet, bis hin zur globalen Dimension. Beides, zeitliche und räumliche Integration, führt dazu, daß die Schwankungsbreiten i.a. relativ klein, Klimaänderungen hinter Wetteränderungen geradezu versteckt sind. Dabei dürfen aber zunächst relativ gering erscheinende Klimaänderungen nicht unterschätzt werden; denn sie können unter Umständen wesentlich wirkungsvoller sein als die im Vergleich dazu viel größeren Schwankungen des Wetters. So reagieren Gebirgsgletscher schon auf Temperaturänderungen von wenigen Zehntel Grad, wenn sie in Form z.B. jahrzehntelanger Trends in Erscheinung treten, während beispielsweise Tag-/Nacht-Unterschiede von 10 °C und mehr, und somit Wetterereignisse, die gleichen Gletscher im wahrsten Sinne des Wortes kalt lassen. Ähnliches gilt für die Vegetation und andere Auswirkungen von Klimaänderungen.

LANGFASSUNG

Indizien der Vergangenheit: Klimaänderungen in Zeit und Raum

Klimaänderungen gibt es, seit die Erde existiert, zunächst aus rein natürlichen Gründen, und das wird auch in Zukunft so bleiben. Allerdings mischt sich auch der Klimafaktor Mensch mehr und mehr ein. Bereits vor Jahrtausenden hat er mit der Umwandlung von Natur- in Kulturlandschaften und insbesondere Waldrodungen damit begonnen. Jede Veränderung der Erdoberfläche verändert die Stoff- und Energieflüsse Erdoberfläche-Atmosphäre, z.B. hinsichtlich CO_2 (Kohlendioxid), oder den Anteil der Sonneneinstrahlung, der von der Erdoberfläche absorbiert bzw. reflektiert wird (Albedo). Daß mehr oder weniger Sonneneinstrahlung, genauer mehr oder weniger Absorption von Sonneneinstrahlung, zu Temperatureffekten führt, weiß jeder. Und das gilt nicht nur für die Erdoberfläche, sondern auch für die Atmosphäre.

Aber auch die Zusammensetzung der Atmosphäre, insbesondere was die sog. klimawirksamen Spurengase wie H_2O (Wasserdampf), CO_2 (Kohlendioxid), CH_4 (Methan) und andere betrifft, ist für ihre Temperatur von Bedeutung. Denn diese Gase besitzen die physikalische Eigenschaft, weniger die Sonneneinstrahlung, jedoch sehr effektiv die Wärmestrahlung der Erdoberfläche teilweise zu absorbieren, insbesondere in der unteren Atmosphäre, weil diese dort ih-

re größte Dichte aufweist. Je mehr solcher Gase sich daher in der Atmosphäre befinden, um so höher steigt die bodennahe Lufttemperatur. Man spricht vom Treibhauseffekt, der aufgrund der natürlichen Zusammensetzung der Atmosphäre die bodennahe Lufttemperatur nach konventioneller Rechnung im globalen Mittel von theoretisch -18 °C auf den beobachteten Wert von $+15\text{ °C}$ anhebt.

Greift der Mensch in diese Klimasituation durch einen anthropogenen, also auf ihn selbst zurückzuführenden zusätzlichen Treibhauseffekt ein? Tatsächlich wird im Vergleich zu beispielsweise den schon genannten Waldrodungen in historischer Zeit oder zum wohlbekanntem "Stadtklima" mit Recht in diesem anthropogenen Treibhauseffekt ein großes Problem gesehen. Zur Zeit bringt der Mensch jedes Jahr zusätzlich rund 30 Gt (Milliarden Tonnen) CO_2 in die Atmosphäre, wovon etwa 75 % auf die Nutzung fossiler Energieträger (Verbrennen von Kohle, Öl und Gas, einschließlich Verkehr) zurückgehen, etwa 20 % auf Waldrodungen (derzeit vor allem in den Tropen) und der Rest auf die Brennholznutzung (vorwiegend der Entwicklungsländer; dagegen werden ca. 75-80 % der fossilen Energieträger in den Industrieländern genutzt). Hinzu kommen noch der Ausstoß von CH_4 (Methan), den FCKW (Fluorchlorkohlenwasserstoffen), N_2O (Distickstoffoxid) usw., in-

direkt auch von O_3 (Ozon). Dabei ist wichtig, daß die Beteiligung dieser Gase am natürlichen bzw. anthropogenen Treibhauseffekt ganz unterschiedlich ist: Bei ersterem überwiegt mit rund 60 % H_2O , bei letzterem mit zufällig in etwa dem gleichen Betrag CO_2 . Weiterhin ist wichtig, daß der Energiehunger der Welt, der weitgehend fossil gedeckt wird, zu einem gewaltigen Anstieg insbesondere der anthropogenen CO_2 -Emission geführt hat (z.B. waren es im Jahr 1900 nur etwa 2 Gt CO_2).

Ändert der Mensch nun dadurch das Klima? Diese Frage ist nicht so leicht zu beantworten, einerseits weil die Klimaänderungen der Vergangenheit zeitlich und räumlich sehr unterschiedlich abgelaufen sind, andererseits weil bei ihrer Interpretation auch eine ganze Reihe von natürlichen Klimafaktoren zu berücksichtigen sind. In aller Kürze sei dazu festgestellt, daß es im Laufe der Jahrtausenden neben allmählichen zum Teil auch sehr drastische Klimaänderungen gegeben hat, in relativ junger Zeit, nämlich vor ca. 11 000 bis 10 000 Jahren den Übergang von der letzten "Eiszeit" (eigentlich Kaltzeit des derzeitigen Eiszeitalters, da über sehr lange Zeitspannen gesehen der eisfreie Zustand der Erde der häufigere war), in die derzeitige Warmzeit, verbunden mit einem Anstieg der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur um rund $4\text{--}5\text{ °C}$ (was für das Klima sehr viel ist).

LANGFASSUNG

Seitdem ist unser Klima - relativ gesehen - bemerkenswert stabil.

Damals hat es auch die letzte, überaus abrupte natürliche Klimaschwankung gegeben, die sog. Jüngere Dryaszeit, als nämlich innerhalb weniger Jahrzehnte das schon erreichte Warmzeitklima, unser heutiger Klimazustand, vorübergehend in das Eiszeitklima zurückkippte. Während für das Kommen und Gehen der Eiszeiten primär die Schwankungen der Erdumlaufbahn um die Sonne (mit Zeitskalen zwischen rund 20 000 und 100 000 Jahren) verantwortlich sind - was übrigens auch zu Änderungen der Zusammensetzung der Erdatmosphäre führt - und die Dryas-Klimaschwankung wahrscheinlich von einem vorübergehenden Erlahmen des Golf-/Nordatlantikstroms herrührt, sind für die Klimaschwankungen der letzten 100-1000 Jahre ganz andere Mechanismen von Bedeutung.

Seit 1850 ist die global gemittelte Lufttemperatur, überlagert von vielfältigen kürzerfristigen Variationen, um etwa 0,6 °C angestiegen (Unschärfe ca. ±0,15 °C), mit der stärksten Erwärmung in den letzten 20 Jahren, wobei das Jahr 1998, zumindest was den Mittelwert auf der nördlichen Halbkugel betrifft, das wärmste mindestens der letzten 1000 Jahre gewesen ist. Obwohl diese Erwärmung regional und jahreszeitlich sehr unterschiedlich abgelaufen ist und dabei auch von regional-zeitlich begrenzten Abkühlungen beglei-

tet war, hat sie seit ca. 1850 etwa die Hälfte des Volumens der Alpengletscher verschwinden lassen. In Deutschland lag der Erwärmungstrend seit 1900 sogar bei knapp 1 °C, war das Jahr 2000 das bisher wärmste seit 1761, dem Beginn der regelmäßigen Messungen. Gleichzeitig hat es enorme Niederschlagsumverteilungen gegeben, wobei in Deutschland vor allem ein starker Anstieg im Winter (vorwiegend West- und Südwestdeutschland), mit entsprechend häufigerem Hochwasser, und eine moderate Abnahme im Sommer (vorwiegend Nordostdeutschland) erwähnenswert sind, in Europa und über das ganze Jahr gesehen eine drastische Abnahme im Mittelmeerraum (insbesondere im östlichen) und eine Zunahme in Skandinavien (was dort regional zu Gletschervorstößen geführt hat). Bei den Stürmen lassen sich keine eindeutigen Trends erkennen. Aber der Meeresspiegel ist in den letzten 100 Jahren global gemittelt um etwa 20 cm (Unschärfe ca. ±10 cm) angestiegen.

Es ist nun wichtig, daß beim Zusammenspiel der vielfältigen Ursachen je nach zeitlicher Größenordnung andere Mechanismen dominant sind. Die primäre Ursache der Eiszeiten ist schon genannt worden; mit Hilfe entsprechender Modellsimulationen wird der Tiefpunkt der kommenden Eiszeit in etwa 50 000 bis 60 000 Jahren erwartet. Dagegen hat in den letzten 1000 Jahren, so beim Eintreten der "Mittelalterlichen

Warmphase" und anschließenden sog. "Kleinen Eiszeit", die durch die genannte jüngste Erwärmung beendet worden ist, neben dem Vulkanismus die Sonnenaktivität die führende Rolle gespielt. Für die letzten Jahrzehnte aber kommt eine Vielzahl von Modellsimulationen und empirisch-statistischen Abschätzungen zu dem Ergebnis, daß mit großer Wahrscheinlichkeit und größtenteils der Mensch für die in dieser Zeit aufgetretenen Klimatrends verantwortlich ist und natürliche Faktoren (wie Sonnenaktivität, Vulkanismus, El Niño usw.) im wesentlichen lediglich die überlagerten Fluktuationen um den Trend herum erzeugt haben.

Perspektiven der Zukunft: Risikofaktor Mensch

Aufgrund dieser Indizien und Interpretationen der Vergangenheit gewinnen die Klimamodell-Projektionen für die Zukunft erheblich an Brisanz. Auch wenn es sich dabei nicht um echte Vorhersagen wie z.B. beim Wetter handelt, u.a. weil die natürlichen Klimavariationen dabei ausgeblendet bleiben, und die Zukunftsszenarien menschlichen Handelns, insbesondere was die Energiepfade betrifft, einen großen Unsicherheitsbereich umfassen, bestehen aufgrund heutigen Wissens folgende Risiken:

- In den kommenden 100 Jahren könnten, jeweils global gemittelt, die bodennahe Lufttemperatur um weitere (jeweils gerundet) 1,5 - 6 °C, mit den Haupteffekten im Winter der gemäßigten

LANGFASSUNG

- und subpolaren Breiten, und die Meeresspiegelhöhe um 10 - 90 cm ansteigen.
- Es sind weitere Niederschlagsumverteilungen zu erwarten, wobei Zunahmen im Winter der mittleren und hohen Breiten der Nordhemisphäre sowie der Antarktis und Abnahmen in den kontinentalen Bereichen der Subtropen (z.B. Mittelmeerregion) am wahrscheinlichsten sind.
- Bei Extremereignissen wie Stürmen, Hagel usw. besteht noch große Unsicherheit über die künftige Entwicklung, was aber keinesfalls bedeutet, daß es hier kein Risiko gäbe.

· Ähnliches gilt für alle Auswirkungen künftiger Klimaänderungen, wobei Risiken sowohl hinsichtlich regional-jahreszeitlich begrenzter Überschwemmungen bzw. Dürren, Hitzewellen, Stürmen und nicht zuletzt hinsichtlich der Ausbreitung von Pflanzenschädlingen und Krankheitserregern bestehen, die warm-feuchte Bedingungen bevorzugen.

Außerdem ist zu bedenken, daß diese Klimaänderungen und ihre Auswirkungen um einige Jahrzehnte hinter der Ursache, nämlich dem Klimafaktor Mensch, nachhinken, somit nicht sofort und ohne weiteres

aufgehalten werden können. Angesichts dieser Risiken gebietet das Verantwortungsprinzip gegenüber den kommenden Generationen, auch wenn wissenschaftlich noch nicht alle Details geklärt sind, baldige und effektive Klimaschutzmaßnahmen. ■

Literaturhinweise:
Weiterführende Informationen und Literatur auf der Homepage des Autors unter "Öffentlichkeit":
<http://www.rz.uni-frankfurt.de/IMGF/meteor/klima>