

Klimafaktor Mensch – Die Indizien verdichten sich.

Soweit wir wissen, leben wir Menschen auf einem Planeten, der in den riesigen Weiten des Weltraums einzigartig ist. Zu dieser Einzigartigkeit gehören nicht nur Wasser und Boden, sondern auch die Besonderheiten der Atmosphäre. Sie haben auf der Erde ein Klima mit so günstigen Temperatur-, und Niederschlagsbedingungen entstehen lassen, daß sich das Leben in der Vielfalt entwickeln konnte, wie wir es heute kennen.

Doch das Klima ist nicht unveränderlich. Natürliche Vorgänge wie Vulkanausbrüche, die Sonnenaktivität oder das El-Niño-Phänomen, das sich in episodischen Erwärmungen der tropischen Ozeane äußert, haben immer wieder zu klimatischen Veränderungen geführt. Im Laufe des Industriezeitalters, das heißt den letzten 100-150 Jahren, ist aber auch der Mensch als globaler Klimafaktor hinzugekommen: Er bringt vermehrt Kohlendioxid sowie andere klimawirksame Spurengase in die Atmosphäre und bewirkt dadurch zusätzlich zum natürlichen einen anthropogenen (also vom Menschen verursachten) Treibhauseffekt.

In welcher Art und Weise wird dadurch das Klima verändert? Ist der Klimafaktor Mensch womöglich schon bedeutsamer als die natürlichen Klimaänderungen? – Es liegt nahe, diese überaus schwierige Frage mit Hilfe der aufwendigsten Klimamodellrechnungen zu beantworten, die es gibt: Modelle, die Bewegungsvorgänge in der Atmosphäre und im Ozean gekoppelt simulieren. In der Fachsprache heißen sie gekoppelte atmosphärisch-ozeanische Zirkulationsmodelle.

Mit solchen Computermodellen sind Veränderungen des Klimas aufgrund erhöhter Mengen an Treibhausgasen in der Atmosphäre berechnet worden.

Da aber kein Modell die Wirklichkeit exakt wiedergeben kann, sondern immer nur die eine oder andere Annäherung erreicht wird, ist es wichtig, sich nicht nur auf die Ergebnisse eines einzigen Computermodells zu verlassen.

Trotzdem sind die Ergebnisse dieser Rechnungen zumindest qualitativ eindeutig: So ist bis zum Ende dieses Jahrhunderts mit einer globalen Erwärmung um einige Grad Celsius zu rechnen, deren Grund der vom Menschen verstärkte Treibhauseffekt ist; darin sind sich die Experten einig.

Aber herrscht auch Einigkeit bei der Frage, ob eine globale vom Menschen verursachte Erwärmung bereits in den Beobachtungsdaten sichtbar ist? Dazu wurde der gemessene Temperaturverlauf an zahlreichen über den Globus verteilten Meßstationen zu Hilfe gezogen. Die Übereinstimmungen zwischen den Beobachtungen und den Modellergebnissen sind dabei so gut, daß sie nur sehr unwahrscheinlich dem Zufall entspringen, obwohl der natürliche Anteil dabei nicht genau festgelegt werden kann.

Wenn wir also davon ausgehen, daß der Mensch das globale Klima bereits verändert hat, bleiben aber genaue quantitative Aussagen noch offen. Wird die Erwärmung

überall auf der Erde gleich ausfallen, oder gibt es Regionen, die sich stärker erwärmen und andere, die sich weniger stark erwärmen? Gibt es vielleicht sogar Regionen, die sich aufgrund des menschlichen Einflusses abkühlen werden und wo wird es zum Beispiel mehr, wo weniger Niederschlag geben?

Nicht zuletzt bleibt offen, wie stark die vom Menschen hervorgerufene Klimaänderung im Vergleich zu den natürlichen Klimaschwankungen ist. Alle diese Fragen können zur Zeit auch mit den kompliziertesten zur Verfügung stehenden Computermodellen nicht eindeutig beantwortet werden. Dennoch sind die Antworten von großer ökologischer, wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und politischer Bedeutung.

Wir können es uns daher nicht leisten, auf Antworten zu warten, bis die globalen Zirkulationsmodelle gut genug entwickelt sind, um hier weiterzuhelfen.

Am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt wurde deshalb eine vom Umweltbundesamt geförderte neue Studie angefertigt. Sie geht der Frage nach, welcher Anteil der beobachteten Klimavariationen auf welche der bekannten natürlichen oder anthropogenen Ursachen zurückgeführt werden kann.

Die Wissenschaftler sind dabei davon ausgegangen, daß die verschiedenen Ursachen der Klimavariationen in den beobachteten Zeitreihen deutliche Spuren hinterlassen haben.

Einerseits sind das die Wirkungen der bekannten natürlichen Einflüsse:

- Wie die solaren Schwankungen,
- der Vulkanismus,
- das El-Niño-Phänomen,
- und hinsichtlich Europa kommt noch die Nord-Atlantik-Oszillation hinzu. Sie beschreibt die atmosphärische Zirkulationsstruktur in diesem Gebiet.

Demgegenüber stehen zwei bekannte menschliche Einflüsse:

- Zum einen der Zusatztreibhauseffekt; er führt durch das Rückstrahlen der von der Erde ausgehenden Wärmestrahlung zu einer globalen Erwärmung
- und zum andern der im globalen Mittel kühlende Effekt von kleinen Sulfatkristallen, die aus schwefelhaltigen Abgasen entstehen.

Ein dritter Anteil an den Gesamtvariationen weist zwar eine Struktur auf, ist also die Wirkung einer oder mehrerer Ursachen, ist aber nicht durch die uns bekannten Einflüsse zu erklären.

Letztendlich wird ein Teil der beobachteten Variationen rein zufällig sein und müßte an seiner Strukturlosigkeit erkennbar sein.

Die Aufgabe, die die Wissenschaftler zu lösen hatten, bestand also darin, möglichst viele Zeitreihen in Anteile zu zerlegen, die den verschiedenen bekannten Ursachen zugeordnet werden können und solchen die unerklärte bzw. zufällige Strukturen aufweisen.

Die Arbeitsgruppe aus Frankfurt hat dazu eine spezielle Strategie entwickelt. Sie erlaubt, mit Hilfe von allgemein anerkannten statistischen Methoden die einzelne wie auch die gemeinsame Wirkung verschiedener Ursachen zu untersuchen.

Die Vorgehensweise geht direkt von den beobachteten Zeitreihen der Temperatur, des Niederschlags und des Luftdrucks aus.

Führt man die Zerlegung zum Beispiel mit der global gemittelten Lufttemperatur durch, wie sie aus Beobachtungen seit 1900 vorliegt, so erhält man einen Anteil der Variationen,

- der auf menschliche Einflüsse zurückgeht,
- einen Anteil, der durch die bekannten natürlichen Ursachen hervorgerufen ist,
- einen zeitlichen Verlauf, der nicht auf die bekannten Ursachen zurückgeführt werden kann und
- eine Jahr-zu-Jahr-Variabilität, die wir als „Klimarauschen“ bezeichnen.

Die Variationskomponenten, denen sich Ursachen zuordnen lassen, heißen dagegen „Klimasignale“.

Diese Anteile können nun miteinander kombiniert und verglichen werden. So können z.B. die natürlichen und die menschlich verursachten Anteile zu dem erklärbaren Anteil an der Variabilität zusammengefasst werden.

Andererseits können auch die natürlichen Anteile und das Klimarauschen zusammengefasst werden.

Durch einen Vergleich dieser beiden Zeitreihen ist es möglich, auszusagen, welcher Anteil des Klimarauschens weniger stark von den erklärten natürlichen Variationen abweicht als der durch den Menschen verursachte Anteil.

Damit hat man ein Maß dafür, wie deutlich das menschliche Signal in den Beobachtungen zu erkennen ist.

Am Beispiel der global gemittelten Lufttemperatur können wir sehen, welcher Anteil des Klimarauschens in bestimmten Grenzen liegt.

99% der zufälligen Schwankungen liegen innerhalb dieser Grenzen.

Das bedeutet, dass nur in einem von hundert Jahren durch Zufall eine Abweichung vom bekannten natürlichen Temperaturverlauf auftritt, die diese Grenze überschreitet.

Die 99,9%-Schwelle wird durch Zufall nur in einem von 1000 Jahren überschritten. Zeichnen wir nun den Temperaturverlauf ein, der auf den vom Menschen verursachten Treibhauseffekt zurückgeht.

Wir sehen, dass dieser im Jahr 1966 bereits zu einer Abweichung vom natürlichen Temperaturverlauf führt, wie er durch Zufall nur einmal in 100 Jahren stattfindet. Seit 1973 ist der erklärbare beobachtete Temperaturverlauf sogar so weit vom natürlichen Anteil entfernt, wie es durch Zufall nur einmal in 1000 Jahren vorkommt. Somit ist der anthropogene Treibhauseffekt im Jahr 1973 mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9% entdeckbar.

Zusätzlich zu den Treibhausgasen bringt der Mensch wie erwähnt auch schwefelhaltige Gase in die Atmosphäre. Diese wandeln sich dort in kühlende Sulfatpartikel um, deren Einfluss zum blau eingezeichneten Temperaturverlauf führt. Betrachtet man beide menschlichen Einflüsse gemeinsam, so erkennt man, dass die Gesamtwirkung des Menschen seit 1990 die 99%- und seit 1994 die 99,9%-Schwelle der Zufallsvariationen überschritten hat. Der Einfluss des Menschen auf das globale Klima ist also deutlich sichtbar.

Betrachten wir nun die Temperaturverteilung auf der Erde, die hier in Form von 80 flächengleichen Gebietsmitteln aufgelöst ist. Hiervon liegen in 72 Gebieten die Temperatur-Jahresmittel für den Zeitraum von 1894 bis 1995 vor. Die Messungen im Bereich der Antarktis haben erst später begonnen.

Durch zusätzliche statistische Techniken, die Empirische Orthogonale Funktionen genannt werden, ist es möglich, das Treibhaus-Signal in diesem sogenannten

Datenfeld zu identifizieren und gleichzeitig die Beziehungen zwischen den einzelnen Gebieten zu berücksichtigen. Hier ist nun der zeitliche Verlauf der Temperaturänderungen in Grad Celsius zu sehen, die durch den menschengemachten Treibhauseffekt hervorgerufen werden, also das anthropogene Treibhausignal.

In fast allen Gebieten ist eine Erwärmung festzustellen, die 1995 in Zentralasien mit fast 1,7 Grad Celsius am stärksten ist. Jedoch gibt es auch vereinzelt Abkühlungen, z.B. im Bereich des Nordatlantiks.

Die entscheidende Frage ist aber nun, wie stark sich diese Erwärmungen von den zufälligen Klimaschwankungen abheben bzw. wie wahrscheinlich der menschliche Einfluß zu einem Klimawandel in den einzelnen Gebieten geführt hat. Im Jahr 1967 steigt diese Wahrscheinlichkeit in einem Gebiet das erste Mal über 90%.

Für das Jahr 1995 zeigt sich ein deutlicheres Bild: In 19 von 72 Gebieten ist die Wahrscheinlichkeit für einen menschengemachten Klimawandel auf über 99% gestiegen, in 42 Gebieten beträgt sie noch über 95%. Interessanterweise läßt sich der Klimawandel nicht in den Gebieten stärkster Erwärmung am besten nachweisen, sondern dort, wo **zusätzlich** die zufälligen Klimaschwankungen gering sind. Aus diesem Grund befinden sich die höchsten Wahrscheinlichkeiten für einen Klimawandel über den großen Ozeanen und in den Tropen.

Nun soll die europäische Region unter die Lupe genommen werden. Das Temperaturfeld wurde in den hier abgebildeten 52 Gebieten für den Zeitraum von 1899 bis 1998 untersucht.

Die zeitliche Entwicklung der durch den Menschen verursachten Temperaturänderungen zeigt eine sich großflächig verstärkende Erwärmung im Jahresmittel.

Sie ist in Nordosteuropa am deutlichsten und beträgt dort 1998 fast 1,7 Grad Celsius. Wiederum finden sich auch Gebiete mit Abkühlungen im Bereich des Nordatlantiks.

Wie stark heben sich nun diese menschengemachten Erwärmungen in Europa von den zufälligen Schwankungen ab?

Die 90%-Schwelle wird erstmals im Jahre 1985 überschritten.

1998 schließlich beträgt in 11 Gebieten die Wahrscheinlichkeit für einen menschlichen Einfluß über 90%, und in 4 Gebieten über 95%. Somit ist auf der europäischen Skala ein menschengemachter Klimawandel im Temperaturfeld sichtbar, jedoch nicht so deutlich wie im globalen Maßstab.

Werfen wir zum Schluß noch einen Blick auf den Niederschlag in Europa. Dieser wurde in Form von 83 Gebietsmitteln der jährlichen Niederschlagssummen für den Zeitraum von 1900 bis 1998 untersucht.

In der zeitlichen Entwicklung erkennt man Niederschlagszunahmen in weiten Teilen Nordeuropas. Im Gegensatz hierzu ist es aufgrund dieses Zusatz-Treibhauseffektes im Bereich des westlichen Mittelmeers trockener geworden.

Da jedoch beim Niederschlag die zufälligen Schwankungen einen sehr großen Anteil ausmachen, kann man statistisch nicht nachweisen, dass diese vom Menschen verursachten Niederschlagsumverteilungen bis heute zu einem deutlichen Klimawandel geführt haben – lediglich in zwei Gebieten steigt die Wahrscheinlichkeit hierfür im Jahr 1998 über 90%. Dies kann leicht auch durch Zufall geschehen.

Trotz aller Schwierigkeiten und noch verbleibenden Problemen ist festzustellen: Der Klimafaktor Mensch ist in den Beobachtungsdaten der Vergangenheit mit hoher Wahrscheinlichkeit nachweisbar. Daraus ergeben sich sehr ernst zu nehmende Risiken für die Zukunft. Die Konsequenz aus alledem kann nur lauten: Baldige, international abgestimmte und wirkungsvolle Klimaschutzmaßnahmen. Das sind wir unserer Erde und den kommenden Generationen schuldig.