

KLIMAÄNDERUNG

Festhalten an der vorgefassten Meinung?
Wie stichhaltig sind die Argumente der Skeptiker?



Impressum

Herausgeber: Umweltbundesamt
Fachgebiet „Schutz der Erdatmosphäre“
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Telefax: (030) 8903-2282
E-Mail: uba@stk.de
Internet: www.umweltbundesamt.de
www.klimaschuetzen.de

Redaktion: Rolf Sartorius

Gestaltung: Initiative für Werbung + Gestaltung (IWG)

Gesamtherstellung: Informationszentrum Umwelt

Stand: Mai 2004

Auflage: 30.000 Stück

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100% Altpapier.

INHALT

Klimaänderungen - Was wir heute wissen	3
Was ist überhaupt „das Klima“	4
A) Generelle Einwände	8
Einwand A1) Wir verstehen die Gesetzmäßigkeiten von Klima- änderungen nicht, zudem ist das Wetter chaotisch	8
Einwand A2) Es gibt gar keinen Treibhauseffekt	10
Einwand A3) Moderate Temperaturzunahme wirkt sich positiv aus, die Prognosen gehen inzwischen dahin	11
Einwand A4) Die nächste Eiszeit kommt bestimmt	12
B) Der Klimawandel wird nicht durch den Treibhauseffekt, sondern durch andere Einflüsse ausgelöst	14
Einwand B1) Es ist die Sonne	14
Einwand B2) Es ist der Wasserdampf	16
Einwand B3) Kohlendioxid kann nicht der Auslöser vom Klima- wandel sein, dies zeigt die Klimageschichte	17
Einwand B4) Es ist die Oberflächenbeschaffenheit	18
Fazit	19
C) Unsicherheiten bei Kohlendioxid und dem Kohlenstoffkreislauf	20
Einwand C1) Kohlendioxid-Konzentration kann sich nicht verdoppeln, weil dafür die fossilen Vorräte nicht ausreichen	20
Einwand C2) Kohlendioxid-Emissionen und Konzentrationen verlaufen nicht parallel	21
Einwand C3) Kohlendioxid entstammt Ozeanen oder Vulkanen	22
Einwand C4) Die Ursache des Kohlendioxid-Anstieges ist die Bevölkerungsexplosion	24
Einwand C5) Mehr Kohlendioxid bleibt ohne Klimaeffekt	25
Einwand C6) Der Kohlendioxid-Anstieg ist wegen seines Düngeeffektes positiv zu werten	26

D) Wie zuverlässig ist die Datenlage? 28

- Einwand D1) Kennen wir den tatsächlichen Temperaturtrend? 28
- Einwand D2) Zwischen Satelliten- und Bodenmessung
von Temperaturen besteht Diskrepanz 29
- Einwand D3) Nicht überall schmelzen Gletscher,
nicht überall steigt der Meeresspiegel 31

E) Gesellschaftliche Fragestellungen 32

- Einwand E1) Gesellschaftlicher Sinn und Unsinn 32
- Einwand E2) Priorität von Anpassung 33
- Einwand E3) Gesellschaftliche Fortentwicklung wird durch
höhere Temperaturen begünstigt 34
- Einwand E4) Das Kyoto-Protokoll bringt nichts 35
- Einwand E5) Verschwörung der Klimatologen 36



KLIMAÄNDERUNGEN - WAS WIR HEUTE WISSEN

Wenn es um weltweite Klimaänderungen geht, so liest und hört man zunehmend Widersprüchliches:

- die einen sprechen von abschmelzenden, die anderen von vereisenden Polen,
- die einen warnen vor einer Zunahme von Stürmen, Überschwemmungen, Wüsten, die anderen erwarten einen Garten Eden auf Erden,
- die einen befürchten Einwanderungsheere von Klimaflüchtlingen aus dem Süden, die anderen eine Verarmung des Nordens wegen zu hoher Klimaschutz Ausgaben,
- die Einen sind für sofortiges Handeln, die anderen plädieren für Abwarten oder halten alles für ein abgekartetes Spiel geltungssüchtiger Klimaforscher.

Dem Laien fällt es schwer, sich ein fundiertes Bild zu machen. Die Materie ist schwierig, der Zugang zur Originalliteratur mühsam, das Veröffentlichte oft unverständlich.

Wir haben uns mit den gewichtigsten Argumenten derjenigen auseinander gesetzt, die keinen Handlungsbedarf in Sachen Klimaänderung sehen. Wir hoffen, hiermit eine bessere Orientierung und eine bessere Bewertung des Sachverhaltes zu ermöglichen.

Doch zunächst ein paar Hinweise zur Frage:

Was ist überhaupt „das Klima“?

Unter dem Begriff des Klimas ist die statistische Gesamtheit mittlerer atmosphärischer Zustände und Prozesse über einen längeren Zeitraum in einem bestimmten Gebiet zu verstehen. Darüber hinaus wird es dadurch charakterisiert, wie wahrscheinlich das Auftreten bestimmter Extremwerte in diesem System ist. Aus eigenem Erleben, zum Beispiel von Reisen, wissen wir, dass das Klima in den verschiedenen Gebieten unserer Erde zum Teil stark voneinander abweicht. Auch ist uns bekannt, dass das Klima sich in großen Zeiträumen ändert. Beispielsweise waren während der letzten Eiszeit große Teile des heutigen Deutschlands mit Eis überzogen - mit katastrophalen Folgen für das bis dahin hier vorhandene Leben.

Forscher haben zum Teil gravierende Temperaturschwankungen in den letzten Millionen Jahren nachgewiesen. In diesem Zusammenhang bewegt die Wissenschaft schon lange die Frage nach dem „warum“ solcher Klimaänderungen.

Aus heutiger Sicht lassen sich dafür vor allem folgende Ursachen nennen:

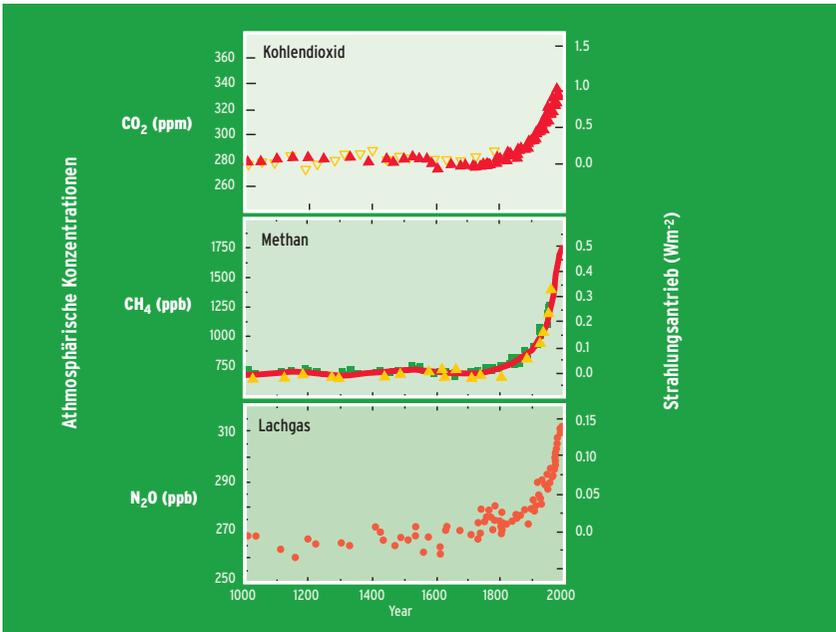
- Veränderungen der Parameter der Erdumlaufbahn oder der Strahlungsaktivität der Sonne (Solarkonstante, Erdbahnelemente) u.a.
- Veränderungen der Erdoberfläche (z.B. durch Kontinentaldrift oder Änderung des Bewuchses)
- Veränderung der Strömungs- und Schichtungsverhältnisse der Ozeane
- Veränderungen des Stoffhaushaltes der Atmosphäre
- Veränderungen des Energiehaushaltes

Bis auf den ersten Punkt können die Veränderungen sowohl natürliche (zum Beispiel Vulkanismus) als auch vom Menschen hervorgerufene Ursachen haben. Bis zum Beginn der Industrialisierung hatten die Menschen zunächst wenig Einfluss auf das Klima. Erst nach Beginn der Industrialisierung werden überregionale oder sogar weltweite Änderungen im Klima sichtbar. Der Grund hierfür liegt im Ausstoß von Gasen, die in den Strahlungshaushalt der Erde eingreifen und hierdurch klimawirksam sind.

So stiegen weltweit die Konzentrationen von Distickstoffoxid (N_2O) um 15 %, von Kohlendioxid (CO_2) um ca. 30 %, und von Methan (CH_4) sogar um 145 % gegenüber den Werten vorindustrieller Zeiten. Die Gründe:

- starker Anstieg der Verbrennung fossiler Energieträger (Öl, Kohle, Erdgas)
- Ausweitung der industriellen Produktion und der Stoffströme
- Änderungen bei der Landnutzung
- Ausweitung der Viehwirtschaft.

ATMOSPHERISCHE KONZENTRATIONEN DER TREIBHAUSGASE KOHLENDIOXID, METHAN, LACHGAS



Quelle: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Third Assessment Report (TAR), Climate Change, 2001

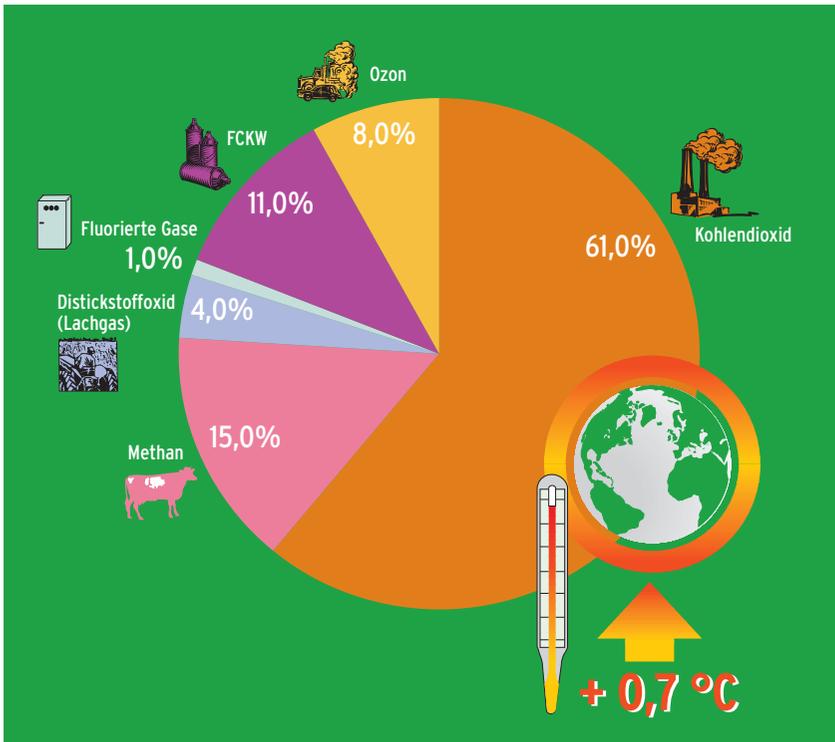
Auch gelangen völlig neue Stoffe, die in der Natur praktisch nicht vorkommen, in die Atmosphäre und beeinflussen das Klima (z.B. Halone, Fluorchlorkohlenwasserstoffe -FCKW-, perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe -FKW-, wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe -HFKW-, Schwefelhexafluorid -SF₆-).

Alle diese Stoffe und Gase haben eine gemeinsame Eigenschaft: Sie lassen die kurzwellige Sonnenstrahlung nahezu ungehindert passieren, behindern aber die Abstrahlung der von der erwärmten Erde ausgehenden langwelligen Strahlung. Dadurch entsteht ein zusätzlicher Treibhauseffekt. Ja, Sie lesen richtig: Es handelt sich hierbei um einen **zusätzlichen** Treibhauseffekt.

Denn es gibt auch einen natürlichen Treibhauseffekt, ausgelöst durch natürlich in der Atmosphäre vorkommende Treibhausgase. Dieser natürliche Treibhauseffekt ist für uns alle überlebenswichtig. Ohne ihn wäre ein Leben auf unserem Planeten gar nicht möglich. Statt einer weltweiten Durchschnittstemperatur von ca. 15 °C, wie wir sie heute haben, würde eine mittlere Temperatur von etwa -18 °C auf der Erde herrschen. Der natürliche Treibhauseffekt ermöglicht also erst unser irdisches Leben. Durch die vom Menschen freigesetzten Treibhausgase

kommt es allerdings zu einer unerwünschten Verstärkung des (natürlichen) Treibhauseffektes und damit zu einem Anstieg der bodennahen Temperatur. Das kann zu weitreichenden und raschen Änderungen im gesamten Klimasystem mit erheblichen Folgen führen. Da die Ökosysteme und auch unsere Zivilisation an die derzeitigen Klimabedingungen angepasst sind, können solche Änderungen bedrohliche Folgen haben, insbesondere wenn die Veränderungen mit großer Geschwindigkeit erfolgen.

VON MENSCHEN VERURSACHTE TREIBHAUSGASE UND IHR ANTEIL AM TEMPERATURANSTIEG

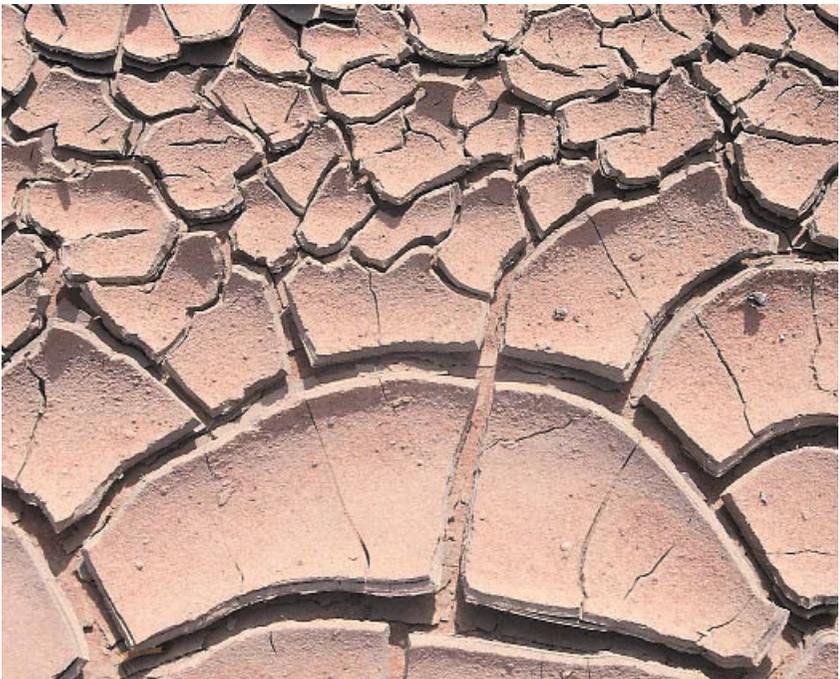


Welche Auswirkung die Zunahme der Treibhausgase nicht nur auf die Temperatur, sondern auf das gesamte Klima hat, ist konkret nicht einfach zu beantworten. Die hier ablaufenden Prozesse und Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Ozeanen, belebter und unbelebter Natur sowie die Rückkopplungseffekte verschiedener Art sind komplex und in ihren derzeitigen und künftigen Auswirkungen schwer zu quantifizieren.

Um die weltweiten Klimaprobleme zu untersuchen, haben das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) den **Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimafragen** (englisch: Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC-) 1988 ins Leben gerufen. Dieses internationale Gremium, in dem die renommiertesten Wissenschaftler der betroffenen Wissenschaftsbereiche zusammenarbeiten, bereitet den wissenschaftlichen Sachstand auf und zeigt weitere Forschungsgebiete auf, die auch zur Untersetzung der Klimaschutzmaßnahmen der Politik erforderlich und notwendig sind. 1992 wurde in Rio de Janeiro das Rahmenabkommen über Klimaänderungen von fast allen Staaten der Welt verabschiedet und inzwischen auch von über 160 Staaten ratifiziert. Die Verhandlungen über verbindlichere und weitergehende Verpflichtungen der Vertragsstaaten führten im Dezember 1997 in Kyoto zur Verabschiedung eines Protokolls. Die Kernaussage des Protokolls enthält die Verpflichtung der Industrieländer, den Ausstoß der Treibhausgase zu mindern.

Trotz des internationalen Problembewusstseins melden sich immer wieder Zweifler, die die Möglichkeit einer durch den Menschen verursachten Klimaänderung entweder generell abstreiten oder die Stichhaltigkeit von Teilen der Argumentation in Abrede stellen.

Mit ihren Argumenten setzen wir uns im Folgenden auseinander.





Einwand A1)

**Wir verstehen die Gesetzmäßigkeiten von
Klimaänderungen nicht, zudem ist das Wetter chaotisch**

Das Klima macht, was es will und schert sich nicht darum, ob und mit welchem Resultat wir uns den Kopf darüber zerbrechen. Uns fehlt der Einblick und das Verständnis, was alles beim Zustandekommen vom Klima und seiner Veränderung zusammenspielt und nach welchen Gesetzen dies verläuft. Darüber hinaus ist das Geschehen in der Atmosphäre auch noch chaotisch - das sehen wir schon daran, dass wir das Wetter schon eine Woche im voraus nicht mehr vernünftig vorhersagen können.

Unsere Antwort:

Es ist keineswegs so, dass die Naturgesetze der Physik (sowie der Chemie und Biologie) im Bereich des Klimas außer Kraft gesetzt würden. Sie gelten ohne jede Einschränkung weiter - das Ganze wird nur außerordentlich komplex durch die vielfachen Wechselwirkungen der Vorgänge in der Atmosphäre, den Ozeanen, der Kryosphäre der belebten Welt und die verschiedensten Rückkopplungen.

Im Grundsatz kennen wir die für das Klima relevanten Größen und Gesetzmäßigkeiten indes recht gut - wir verstehen z. B. die Umstände, die zu den verschiedenen ausgeprägten Klimazonen führen, die Gründe für die Abfolge von Warm- und Eiszeiten, die Mechanismen, die in der Erdvergangenheit zu Änderungen der klimatischen Gegebenheiten (einschließlich der abrupten Sprünge) und der Klimaänderung der Gegenwart geführt haben. Dies gibt uns die Zuversicht, die Reaktionen des klimatischen Systems bei Veränderung relevanter Einflussfaktoren tendenziell zutreffend beschreiben zu können. Genau das ist der eigentliche Inhalt von Modellrechnungen, bei denen das klimatische System mit seinen wesentlichen Eigenschaften und Wechselwirkungen abgebildet wird. In Szenarioläufen können Veränderungen der solaren Strahlung, der Zusammensetzung der Atmosphäre (Konzentrationsänderung von Treibhausgasen) u. a. simuliert werden.

Die nur kurzfristige Möglichkeit der Wettervorhersage ist durch den teilweise chaotischen Charakter des Wettergeschehens bedingt. Chaotisch bedeutet dabei, dass eine kleine Änderung in der Anfangskonstellation im weiteren Ablauf immer größere Unterschiede im Geschehen auslöst. Das besagt aber nicht, dass chaotische Systeme nicht charakterisierbar wären.

Als weiteres Beispiel sei die Gleichzeitigkeit von mikroskopischem Chaos und makroskopischer Gesetzmäßigkeit bei Gasen genannt. Die einzelnen Moleküle führen chaotische kaum vorhersagbare Bewegungsabläufe durch, die äußeren Bedingungen Druck, Volumen und Temperatur hingegen nehmen dabei aber sehr wohl definierte Werte an und sind durch stringente Gesetze miteinander verknüpft.

Analog hierzu gibt es in der Klimatologie Gesetze und Zusammenhänge, die eine Beschreibung des langfristigen Geschehens ermöglichen. Diese erlauben uns z. B. Aussagen über die Häufigkeit von Stürmen, jedoch nicht über den Eintritt einzelner Ereignisse.



Einwand A2)

Es gibt gar keinen Treibhauseffekt

Durch die These vom Treibhauseffekt wird der 2. Hauptsatz der Thermodynamik verletzt, da es keinen Energiefluss von einem kalten zu einem warmen Körper geben kann. Außerdem ist die These vom Treibhauseffekt insgesamt falsch, denn die Erde ist kein geschlossenes System und es gibt kein „Glasdach“ am Himmel.

Unsere Antwort:

Ausschlaggebend für den Treibhauseffekt ist nicht die Existenz eines Glasdaches, sondern dass in der Atmosphäre IR-Strahlung absorbiert wird. Dies kann auch durch Gase geschehen - diese heißen dann Treibhausgase.

Dass der Treibhauseffekt tatsächlich existent ist und funktioniert, ist für jedermann erfahrbar, wenn er/sie in ein vorher in der Sonne geparktes Auto einsteigt. Es ist innen wärmer als draußen - scheinbar hat sich Wärme entmischt, was sie nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik nicht dürfte. In Wirklichkeit handelt es sich aber um einen dynamischen und keinen statischen Vorgang, der von einer starken Energiezufuhr durch sichtbares Licht durch die Fensterscheiben des KfZ angetrieben wird.

Die höhere Temperatur im Inneren des Fahrzeugs resultiert aus der Behinderung der gleichmäßigen Verteilung dieser zugeführten Energie, das Glas ist gegenüber der durch Umwandlung aus Licht entstandenen Wärme intransparent. Wird die Energiezufuhr beendet, so stellt sich das geforderte Gleichgewicht nach einer Weile ein.

In der Atmosphäre nehmen die Treibhausgase die Rolle des Glases ein und behindern den Abtransport der (Wärme)energie - um das Gleichgewicht zwischen aufgenommener (Licht)energie und abgegebener Wärme wieder herzustellen, muss der strahlende Körper Erde ein höheres Temperaturniveau einnehmen.

In der Summe - und hierfür gilt der 2. Hauptsatz der Thermodynamik - fließt netto Energie von der wärmeren Erde zur kälteren Atmosphäre, weil die Wärmeabstrahlung der Erde größer ist als die Rückstrahlung der Atmosphäre. Der Hauptsatz wird somit nicht in Frage gestellt.

Einwand A3)

Moderate Temperaturzunahme wirkt sich positiv aus, die Prognosen gehen inzwischen dahin

Eine moderate Temperaturzunahme kann nur gut sein, weil die Lebens- und Wachstumsbedingungen in diesem Fall besser werden. Auf nur moderate Steigerung weisen auch die Prognosen für den zukünftigen Temperaturanstieg hin, die von 3 - 6 °C in den achtziger Jahren auf jetzt nur noch 1 °C gesunken sind. Ein Anstieg der Temperaturen ist auch deswegen wichtig und richtig, weil turnusgemäß die jetzige Warmzeit sich demnächst verabschieden wird und Gegensteuerung gegen die sich anbahnende Kälte notwendig ist.

Unsere Antwort:

Von einem deutlichen Rückgang der prognostizierten Temperaturen kann gar keine Rede sein. Im 1. Bericht des IPCC (1990) wurde angegeben, dass der globale Temperaturanstieg bei einer Verdopplung der CO₂-Konzentration 1,5 bis 4,5 °C betragen würde, wobei die Spanne von der unterschiedlichen Behandlung der Rückkopplungseffekte (insbesondere im hydrologischen Kreislauf) in den verschiedenen Modellen herrührt. Dieser Bereich für die sog. Klimasensitivität ist bis heute unverändert geblieben.

1995 und 2001 hat das IPCC dann weiterhin Aussagen über mögliche Temperaturanstiege bis zum Ende des 21. Jahrhunderts gemacht, was jedoch eine andere Fragestellung beinhaltet. Dieser Anstieg hängt zusätzlich noch von der **Emissions**¹⁾entwicklung während dieses Zeitraumes ab, wodurch eine erweiterte Spannweite bedingt ist. Im 2. IPCC-Bericht (1995) war die Temperaturzunahme bis 2100 mit 1,5 bis 3,5 °C angegeben, im letzten Sachstandsbericht (2001) wird die Spanne zu 1,4 bis 5,8 °C veranschlagt. Die Temperaturwerte im 2. Bericht sind numerisch niedriger als die im ersten, was teilweise als Entwarnung gewertet worden war. De facto traf dies jedoch nicht zu, weil der Kenntnisstand im 2. Bericht deutlich fundierter und die Zahlen belastbarer sind als im relativ unsicheren ersten Bericht, was die tatsächliche Lage als bedrohlicher ausweist.

Eine leichte Temperaturzunahme kann für Landwirtschaft und Wälder der gemäßigten Klimazone tatsächlich bessere Wachstumsbedingungen bedeuten. Wichtig ist dabei aber, wie sich die zukünftigen Niederschläge verhalten wer-

¹⁾unter „Emission“ wird der Ausstoß oder die Abgabe von Stoffen (z. B. Kohlendioxid) an die Atmosphäre verstanden.

den. Erhebliche Probleme kann der Temperaturanstieg in wärmeren Ländern (z. B. Mittelmeer) mit sich bringen, wo bereits jetzt vielfach Dürre herrscht oder aber im arktischen Bereich, wo der Permafrost im Tauen begriffen ist, was jetzt schon erhebliche Probleme für die Infrastruktur (Gebäude, Straßen, Pipelines usw.) aufwirft.

Auch in unseren Breiten ist schon eine moderate Temperaturzunahme mit negativen Auswirkungen verknüpft, wie Schmelzen von Gletschern, Wandern von Arten, Hitzestress...

Alle Anzeichen weisen jedoch darauf hin, dass wir ohne Gegenmaßnahmen nicht zu einer moderaten, sondern vielmehr zu einer deutlichen Temperatursteigerung mit wahrscheinlich erheblicher Zunahme von Extremereignissen (Starkniederschläge, Dürren, Stürme usw.) kommen werden. Von einer wünschenswerten Verbesserung der Lage kann daher nicht gesprochen werden.

Einwand A4)

Die nächste Eiszeit kommt bestimmt

Da die Abfolge von Kalt- und Warmzeiten durch Variationen des Erdumlaufs um die Sonne gesteuert wird, steht ohnehin eine neue Eiszeit bevor. Dadurch wird der vom Menschen verursachten Erwärmung gegengesteuert.

Unsere Antwort:

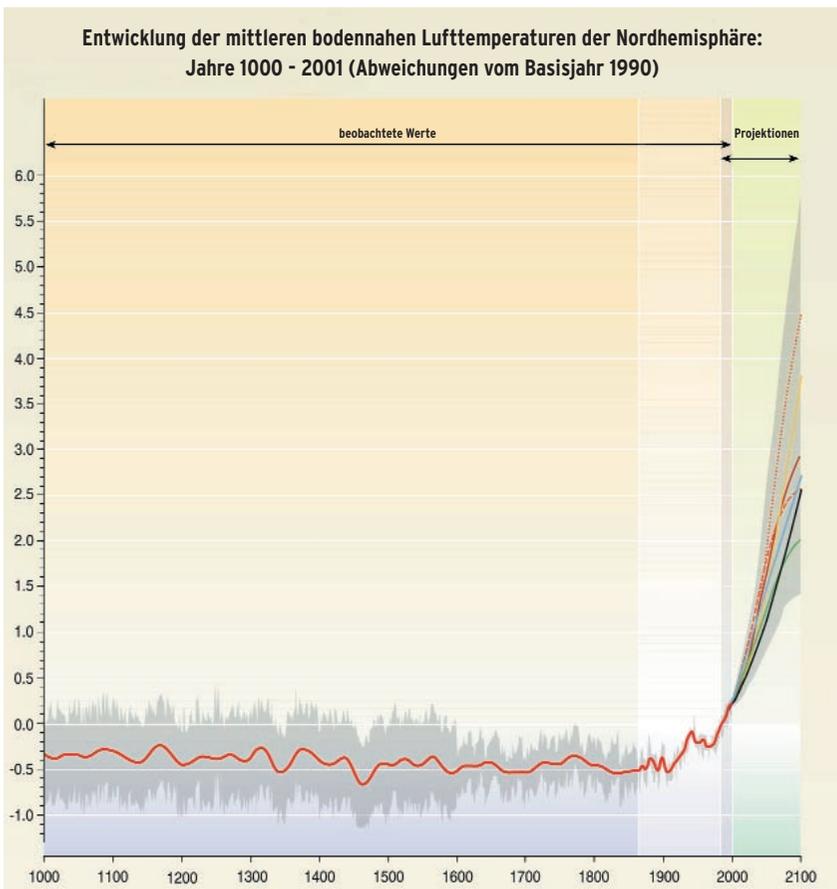
Bei dieser These wird davon ausgegangen, dass entscheidend für die Steuerung der globalen klimatischen Gegebenheiten nicht eine Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre, sondern die Bahnparameter der Erdumlaufbahn seien. Variationen dieser Parameter sind zweifellos eine wichtige, allerdings nicht die einzige Ursache von Klimaänderungen.

Klimawandel ist kein monokausales Geschehen, verschiedene Einflussfaktoren (Bahnparameter, Intensität der Sonnenstrahlung, Treibhauseffekt, Änderungen der Landnutzung usw.) wirken dabei gleichzeitig. Dabei sind jedoch die Zeitskalen, in denen diese Faktoren Wirkungen hervorrufen, höchst unterschiedlich.

Bei der Behauptung, dass ohnehin eine neue Eiszeit bevorstehe, und es keinen Grund zur Sorge vor einer Erwärmung gäbe, wird völlig außer acht gelassen, dass sich Änderungen von Bahnparametern und von Menschen verursachter (anthropogener) Verstärkung des Treibhauseffekts in grundlegend verschiedenen Zeiträumen abspielen. Aufgrund von Erkenntnissen der historischen Klima-

forschung (Paläoklimatologie), insbesondere aus Analysen von Bodenproben (Sedimentkernen) der Tiefsee, gilt es inzwischen als gesichert, dass die (Orbital)-Parameter des Erdumlaufs um die Sonne den Hauptschrittmacher für die quartären Eiszeit-Warmzeit-Zyklen bilden. Diese Erdumlaufparameter verändern sich in Zyklen von etwa 20-, 40- und 100-tausend Jahren Dauer. Aus der Überlagerung dieser Zyklen lässt sich errechnen, dass wir vom voraussichtlichen Höhepunkt der nächsten Eiszeit noch etwa 30.000 Jahre entfernt sind.

Klimaänderungen aufgrund der von Menschen freigesetzten Treibhausgase werden sich aber in einem wesentlich kürzeren Zeitrahmen von 50 bis 100 Jahren und vor allem mit einer sehr hohen Geschwindigkeit abspielen. Es ist schlichtweg unbegründet, darauf zu hoffen, dass sich die Auswirkungen dieser klimatischen Veränderungen durch eine bevorstehende Eiszeit vermeiden lassen, da sich die die Eiszeiten steuernden Prozesse über sehr lange Zeiträume erstrecken.





Einwand B1)

Es ist die Sonne

Die Änderung des Klimas wird nicht durch Treibhausgase, sondern die veränderte Sonnenstrahlung, direkt oder aber indirekt über die Bewölkung gesteuert. Dies beweisen die vorliegenden hervorragenden Korrelationen zwischen diese Größen.

Unsere Antwort:

Die Sonne ist der einzige Energielieferant für das Klimasystem der Erde. Es ist daher fast trivial, dass die Änderung der Strahlungsintensität, d. h. Veränderung der Energiezufuhr, unmittelbare Auswirkungen auf das Klima mit sich bringt.

Die Strahlung der Sonne ist nicht so konstant, wie man ursprünglich einmal dachte. Schon seit langem ist bekannt, dass die Zahl der Sonnenflecken einer quasi 11-jährigen Schwankung unterliegt. Mit diesem Zyklus ist die Intensität der Sonnenstrahlung verknüpft. Möglicherweise stellt auch die konkrete Dauer (zwischen 8 und 17 Jahre) des Zyklus ein Maß für die jeweilige Strahlungsintensität dar.

Seit Ende der 70er Jahre ist eine unmittelbare Beobachtung der solaren Strahlung von Satelliten aus möglich. Diese zeigte, dass die Differenz zwischen Maximum und Minimum der Sonnenstrahlung während eines Zyklus etwa 0,1 % der Strahlungsintensität ausmacht, für einen signifikanten direkten Einfluss auf das Klima zu wenig. Ein darüber liegender zu- oder abnehmender Trend ist für den bisherigen Zeitraum nicht ersichtlich.

Es wird allerdings ein verstärkender Mechanismus ins Feld geführt, nachdem über die Sonnenstrahlung indirekt die Bewölkung beeinflusst werden soll: Je intensiver die Sonne strahlt, desto stärker ist dadurch das interplanetare Magnetfeld ausgeprägt. Dieses bewirkt eine Ablenkung der kosmischen Strahlung und damit eine Abschirmung der Erdatmosphäre vor dieser. Die kosmische Strahlung führt nach diesen Vorstellungen zur Bildung von Kondensationskernen, wodurch Wolkenbildung begünstigt wird. Wolken haben durch Abschattung niedrigere Temperaturen zur Folge, bei hoher Strahlungsaktivität sollen daher infolge geringerer Bewölkung die Temperaturen vergleichsweise erhöht sein und umgekehrt.

Die Argumentation ist a priori nicht unplausibel, fraglich ist aber, welche Bedeutung diesem Prozess in Relation zu anderen Prozessen der Wolkenbildung zukommt. Insbesondere ist nach heutigem meteorologischen Kenntnisstand das Vorhandensein von Kondensationskeimen nicht der auslösende Faktor bei der Wolkenbildung. Ob zusätzliche Kondensationskerne zur Wolkenbildung führen, lässt sich nicht abschließend beurteilen, weil diese ohnehin in genügendem Umfang vorhanden sind.

Eine weitere Frage ist, ob sich bei diesem Prozess vornehmlich niedrige Kumulus-Wolken (abkühlend) oder hoch liegende Cirren bilden, die per saldo zum Treibhauseffekt beitragen und somit Erwärmung (vor allem nachts) bewirken.

Für diesen Ansatz spricht zunächst, dass auf eine hohe Korrelation zwischen der Länge des Sonnenzyklus (als Maß für die Strahlungsintensität) und dem globalen Temperaturmittel für den Zeitraum von 1850 bis 1980 sowie zwischen der Intensität der kosmischen Strahlung und dem Bewölkungsgrad für den Zeitraum 1984 bis 1993 verwiesen werden konnte.

Im hier vorliegenden Fall war jedoch die Korrelation Sonnenzyklusdauer - Temperatur Ergebnis einer nicht zulässigen statistischen Datenbehandlung und wurde daher vom Urheber wieder zurückgezogen. Die Korrelation zwischen kosmischer Strahlung und Bewölkungsgrad war dagegen offensichtlich zufälliger Natur, denn sie hat sich im weiteren Zeitverlauf verflüchtigt.

Dessen ungeachtet bleibt die Sonne das meistgebrauchte Erklärungsmuster der Skeptiker für aktuelle Klimaänderungen - ein Indiz für das Beharrungsvermögen einmal etablierter Argumente.

Zu bedenken ist allerdings, dass gute Korrelationen noch nicht den Beweis für ursächliche Zusammenhänge liefern, sie können z. B. auch auf gemeinsame Ursachen in einem dritten Faktor zurückzuführen oder zufällig sein (bekanntes Beispiel Geburtenrate und Zahl der Störche).

Es wurde auch geltend gemacht, die sich ändernde kosmische Strahlung sei der eigentliche Grund für die Veränderung des Erdklimas, allerdings in Zeiträumen von Hunderten von Jahrmillionen. Abgesehen davon, dass die entsprechende Arbeit sich wegen Unzulänglichkeiten der Methodik eingehender Kritik erfreute, wäre das Argument, selbst wenn es zuträfe, für die klimatische Entwicklung der nächsten Jahrzehnte und Jahrhunderte ohne jegliche Relevanz

Selbst wenn der vorne genannte Verstärkungsmechanismus Gültigkeit besäße, wäre über die letzten 25 Jahre aufgrund der direkten Beobachtung der Sonnenstrahlungsintensität damit kein anhaltender Trend, sondern nur ein zyklisches Auf und Ab der Temperatur zu erwarten, weil sich in der Strahlung nur dieses Muster zeigt. De facto beobachten wir aber mit einem Temperaturanstieg von rund 0,2 %/Dekade über diesen Zeitraum einen sehr ausgeprägten anhaltenden Trend.

Dieses besagt natürlich nicht, dass die Sonne in früheren Zeiten und über längere Zeiträume sich nicht sehr wohl auf die klimatischen Bedingungen ausgewirkt hat. Während des sog. Maunder-Minimums (1650 - 1710) sind z. B. nur sehr wenig Sonnenflecken aufgetreten, und die Temperaturen waren sehr niedrig („kleine Eiszeit“). Statistische Analysen ebenso wie Modellrechnungen ergeben aber für die letzten 25 Jahre eine ganz starke Dominanz des Treibhauseffektes als Ursache des Temperaturanstieges - für zurückliegende Zeiten sieht dies durchaus anders aus.

Einwand B2)

Es ist der Wasserdampf

Nicht Kohlendioxid sondern Wasserdampf ist das entscheidende Treibhausgas.

Unsere Antwort:

Es steht außer Frage, dass dem Wasserdampf beim natürlichen Treibhauseffekt das mit Abstand größte Gewicht zukommt. Ca. 66 % des Treibhauseffektes sind auf den Wasserdampf zurückzuführen. Die Emission von Wasserdampf auf der

Erde trägt dagegen praktisch nicht zur Verstärkung des vom Menschen verursachten Treibhauseffektes bei, weil hierdurch keine bleibende Erhöhung der Wasserdampfkonzentration in der Atmosphäre bewirkt wird. Während Kohlendioxid in der Atmosphäre über 100 Jahre verbleiben kann, kehrt Wasserdampf meist nach wenigen Tagen in Form von Niederschlägen zur Erde zurück. Eine Zunahme des Wasserdampfgehaltes tritt jedoch ein, wenn infolge einer globalen Temperaturerhöhung einerseits die Verdunstung zunimmt und andererseits sich das potenzielle Aufnahmevermögen der Atmosphäre für Wasserdampf erhöht. Dieses ist der wirkungsvollste der verschiedenen Rückkopplungsprozesse, natürlich wird dieser auch bei den Modellrechnungen berücksichtigt, und er macht einen beträchtlichen Anteil des insgesamt resultierenden Temperaturanstiegs aus.

Einwand B3)

Kohlendioxid (CO₂) kann nicht der Auslöser vom Klimawandel sein - dies zeigt die Klimageschichte

In der Klimageschichte zeigt sich eine hohe Parallelität der Verläufe der globalen mittleren Temperatur und des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre. Die genauere Analyse zeigt jedoch, dass die Temperatur einen Vorlauf gegenüber dem CO₂ aufweist, also das auslösende Moment darstellt.

Unsere Antwort:

Wenn man die Verläufe des Kohlendioxid-Gehaltes der Atmosphäre und der mittleren Temperaturen über die letzten 160tausend Jahre vergleichend betrachtet, so ist die weitgehende Übereinstimmung (Parallelität) beider nicht zu übersehen. Hieraus wurde in der Vergangenheit vereinzelt (unzulässigerweise) geschlossen, dass das Klimageschehen in der Erdvergangenheit vom CO₂ gesteuert worden wäre. (Tatsächlich weiß man zunächst nicht, ob sich die Größen ursächlich beeinflussen, ob beide gemeinsam von einer weiteren 3. Größe gesteuert werden oder ob die Übereinstimmung rein zufällig ist).

Die genauere Analyse der Verläufe zeigt, dass die Temperaturen einen kleinen Vorlauf von ca. 8000 Jahren gegenüber den CO₂-Konzentrationen aufweisen. Es ändern sich bei diesen erdhistorischen Abläufen als erstes die Temperaturen, hauptsächlich aufgrund von Variationen der Erdbahnparameter. Die Erhöhung der Temperatur bewirkt durch die Erhöhung der Wassertemperatur der Ozeane eine Freisetzung von gelöstem CO₂ (und umgekehrt). Möglicherweise reagiert

auch die Zersetzung von Biomasse stärker auf die Temperaturänderung als ihre Bildung. Hierdurch ergibt sich mit steigender Temperatur auch ein steigender CO_2 -Gehalt der Atmosphäre. Dieser Rückkopplungseffekt bewirkt, dass die an sich geringfügigen Änderungen der der Erde zugeführten Sonnenstrahlung derart verstärkt werden, dass hieraus Warm- und Kaltzeiten resultieren.

Einwand B4)

Es ist die Oberflächenbeschaffenheit

Der Treibhauseffekt wird überstrapaziert. Durch menschliches Handeln wurde über die letzten Jahrhunderte ganz massiv durch Änderung der Landnutzung in die natürliche Vegetation eingegriffen. Hierdurch ändert sich zunächst das lokale und regionale Klima, was sich wegen der Großflächigkeit aufsummiert zu großräumiger Änderung. Die Änderung der Albedo (Anteil des reflektierten Lichtes) z. B. bei der großflächigen Abholzung von Wäldern wirkt sich ebenfalls auf das Klima aus.

Unsere Antwort:

Die Beschaffenheit der Erdoberfläche und Veränderung der Landnutzung müssen als Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Es stellt sich allerdings die Frage, welches Gewicht diesen Einflüssen bei dem multifaktoriellen Geschehen zukommt. Nach den bisherigen Modellrechnungen bleibt dieses gegenüber dem Treibhauseffekt deutlich zurück.

Ein Argument in diesem Zusammenhang lautet, dass es die zunehmende Begrünung der Erde ist, die über stärkere Lichtabsorption zur Klimaveränderung führt. Zunächst ist einmal fraglich, ob angesichts der Waldvernichtung in den Tropen das Bild einer Begrünung global zutreffend ist. Wenn es so wäre, dann wäre es zumindest teilweise auf den Düngeneffekt des CO_2 zurückzuführen. Ob Treibhaus- oder Düngeneffekt, der Auslöser wäre damit aber der gleiche.

FAZIT:

Wie auch an anderer Stelle schon festgehalten,: Klimawandel ist kein generell monokausales Geschehen, die verschiedensten Einflussfaktoren wie Erdbahnparameter, Sonne, Treibhauseffekt, Vulkanismus, Änderung der Oberflächenbeschaffenheit wirken gleichzeitig, aber mit unterschiedlichen charakteristischen Zeitskalen der Veränderung ein. Sowohl Modelle als auch statistische Auswertung der Messdaten weisen aus, dass für den rapiden Temperaturanstieg der letzten dreißig Jahre der Treibhauseffekt dominant war.

Argumente und Indizien, die für das Wirken des von Menschen verursachten Treibhauseffektes in der aktuellen Lage sprechen, sind u.a.

- es handelt sich um elementare physikalische Grundgesetze
- die gemessenen und unter Zuhilfenahme von Modellen berechneten Temperaturverläufe der Vergangenheit stimmen recht gut überein
- das Muster der Erwärmung (besonders hoch in hohen Breiten und über Kontinenten) stimmt mit den Vorstellungen von Treibhauseffekt (und Eis-Albedo-Rückkopplung) überein
- die statistische Analyse der beobachteten globalen Daten zeigt, dass seit der 2. Hälfte des letzten Jahrhunderts der anthropogene Einfluss dominiert
- die beobachtete Temperaturerhöhung erfolgte überwiegend im Winter und nachts - zu Zeiten, in denen der Treibhauseffekt in der Bilanz mit Sonneneinstrahlung besonders ins Gewicht fällt
- die Messungen der Infrarotstrahlung an der Atmosphärenobergrenze bestätigen die Modellrechnungen
- die durch die IR-Absorption der Treibhausgase hervorgerufenen Gegenstrahlung von der Atmosphäre zur Erdoberfläche hin wurde gemessen und liegt in der erwarteten Größe.



Eine Reihe von Einwänden und Unsicherheiten rankt sich um das atmosphärische Kohlendioxid (CO_2) und den Kohlenstoffkreislauf.

Einwand C1)

Kohlendioxid (CO_2)-Konzentration kann sich nicht verdoppeln, weil dafür die fossilen Vorräte nicht ausreichen

Eine Verdopplung der Kohlendioxid-Konzentration kann schon aufgrund der begrenzten fossilen Brennstoffreserven (Kohle, Erdöl, Erdgas) nicht eintreten.

Unsere Antwort:

Die Behauptung stimmt allenfalls für die derzeit gesicherten (Vorräte der gesamten) fossilen Reserven, da diese bei ihrer Verbrennung zwar rechnerisch eine Verdopplung der Kohlendioxid-Konzentration gegenüber dem vorindustriellen Wert von 280 ppm in der Atmosphäre bewirken würden, das Kohlendioxid aber nur etwa zur Hälfte in der Atmosphäre verbleibt (rund ein Drittel des freigesetzten Kohlendioxids wird durch die Ozeane aufgenommen, etwa 1/5 durch die terrestrische Biosphäre). Somit

wäre eine Verdopplung des Kohlendioxid-Gehaltes in der Atmosphäre nicht möglich.

Zu bedenken ist jedoch, dass die tatsächlich vorhandenen Mengen an fossilen Brennstoffen weit größer sind als die heute als gesichert geltenden Vorräte. Bei Kohle beispielsweise rechnet man aufgrund neuer Erkundungs- und Erschließungstechniken mit etwa der zehnfachen Menge und mit weiteren technischen Fortschritten wurde und wird dieser Wert ständig nach oben korrigiert. Darüber hinaus gibt es weitere fossile Brennstoffe wie Methanhydrat, Schieferöle u.a.. Langfristig kann deshalb mit wesentlich höheren Brennstoffmengen gerechnet werden. Diese reichen aus, um den Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre tatsächlich weit mehr als zu verdoppeln.

Auch ist zu bedenken, dass nur rund die Hälfte des vom Menschen verursachten Treibhauseffekts auf Kohlendioxid zurückgeht. Bei Berücksichtigung der übrigen Treibhausgase würde ohne Gegenmaßnahmen die Verdopplung wahrscheinlich bereits deutlich vor Mitte dieses Jahrhunderts erreicht werden. Darüber hinaus ist schwer voraussehbar, ob auch in Zukunft bei steigender Kohlendioxid-Konzentration und der zu erwartenden Erwärmung der Ozeane Kohlendioxid im gleichen Umfang wie bisher von den Ozeanen und der Vegetation aufgenommen werden kann. Schließlich kann bei steigenden Temperaturen die bislang als Senke für CO_2 wirkende Biosphäre zur Quelle werden und CO_2 freisetzen.

Einwand C2)

Kohlendioxid (CO_2)- Emissionen und Konzentrationen verlaufen nicht parallel

Emissionen und Konzentrationszunahme von CO_2 gehen nicht Hand in Hand, die Emission nimmt zu, der Konzentrationsanstieg ist praktisch gleichbleibend.

Unsere Antwort:

Dies ist in der Tat der Fall, ist aber darauf zurückzuführen, dass die Aufnahme des CO_2 durch Ozeane und Biosphäre je nach den sich ändernden Bedingungen variiert und insgesamt die Aufnahme in den letzten zwei Jahrzehnten deutlich zunehmend war.

Fraglich ist allerdings, ob dies so bleiben oder gar sich umkehren wird. Mit steigender Wassertemperatur nimmt die Aufnahmefähigkeit der Ozeane gegenüber CO_2 ab und bei der Biosphäre (insbes. Wälder) nimmt die Abbaurrate von abgestorbener Biomasse mit steigender Temperatur schneller zu als die Produktion von Biomasse - die Biosphäre kann also von einer Senke zu einer Quelle werden.

Einwand C3)

Kohlendioxid (CO₂) entstammt Ozeanen oder Vulkanen

Das atmosphärische CO₂ stammt zu großen Anteilen aus anderen Quellen, z. B. aus den Ozeanen als Folge (natürlicher) Erwärmung, aus Vulkanen oder Gesteinsausgasung.

Unsere Antwort:

Die jährliche CO₂-Konzentrationszunahme (im Schnitt 1,5 ppm/a mit erheblicher Variation) und der Konzentrationsverlauf seit vorindustrieller Zeit sind gut bekannt und inzwischen auch unbestritten.

Vereinzelt wird geltend gemacht, das CO₂ entstamme im wesentlichen den Ozeanen, aus denen es in Folge (natürlicher) Erwärmung entweiche (ähnlich wie aus sich erwärmendem Sprudelwasser).

Die Stichhaltigkeit dieser Behauptung kann experimentell überprüft werden, indem der Kohlendioxid-Gehalt in der Atmosphäre über dem Ozean und die im Wasser der Ozeane gelöste Kohlendioxid-Menge parallel gemessen werden. Hierbei zeigt sich, dass die im Wasser gelöste Kohlendioxid-Menge überwiegend geringer ist, als es dem Gehalt von CO₂ in der Atmosphäre entspricht. Ozeane sind daher, was ihren Gehalt an Kohlendioxid angeht, global mehrheitlich „untersättigt“. Kohlendioxid geht deshalb in der Bilanz überwiegend von der Atmosphäre in die Ozeane über; Ozeane wirken insgesamt als „Kohlendioxid-Senke“.

Diese Tatsache wird auch durch Messung des Kohlenstoff-Isotops C¹⁴ bestätigt. C¹⁴Messungen erlauben, zwischen Kohlendioxid aus natürlichen (biogenen) Quellen und solchem, das durch Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas) entstanden ist, zu unterscheiden. Durchgeführte C¹⁴-Messungen bestätigen, dass der Kohlendioxid-Anstieg in der Atmosphäre auf die Verbrennung fossiler Brennstoffe und nicht auf Freisetzungen aus den Ozeanen zurückzuführen ist.

Umfangreiche Messprogramme erlauben inzwischen ein zeitlich und räumlich differenziertes Bild über CO₂-Flüsse aus der Atmosphäre zu den Ozeanen und umgekehrt. Der Fluss zur Atmosphäre überwiegt im äquatorialen Bereich und heißen Jahreszeiten, der zu den Ozeanen in den höheren Breiten und den kälteren Jahreszeiten, wobei letzterer deutlich überwiegt.

Die CO₂-Emission durch Verbrennung von Kohle, Öl und Gas ist recht genau bekannt, weil man die Brennstoffmengen kennt. Weniger genau bekannt ist der Einsatz von Brennholz und der Umfang der Waldzerstörung. Insgesamt haben wir aber ein recht gutes Bild, welche Mengen an die Atmosphäre abgegeben werden. Es ist als günstiger Umstand anzusehen, dass nicht die gesamte in die Atmosphäre abgegebene Menge (z. Zt. 30 Mrd t jährlich) in dieser verbleibt und klimawirksam ist. Etwa die Hälfte davon geht in die Ozeane und Biosphäre. Hierbei bestehen jedoch viele Unsicherheiten und bei der Quantifizierung verbleibt eine mit den uns bekannten Mechanismen nicht erklärbare „verschwundene“ CO₂-Menge (sog. „missing sink“), von etwa 1/6 der Emission.

Bislang waren wir aufgrund vorliegender Messungen von vergleichsweise sehr geringen CO₂-Emissionen durch Vulkane ausgegangen. Inzwischen wird geltend gemacht, dass die durch Vulkane freigesetzten Mengen wesentlich höher liegen und dass auch aus Gesteinen, hauptsächlich in vulkanischen Gebieten, CO₂ abgegeben würde. Die angeführten Mengen liegen z.B. bei 600 Mio. t CO₂/a, was etwa 2 % der anthropogenen Emissionen entsprechen würde.

Auch wenn diese - messtechnisch schwer erfassbare - Menge zutreffend sein sollte, so würde dies an der anthropogenen Emission überhaupt nichts ändern. Einer relativ gut bekannten großen anthropogenen Menge würde eine schlecht bekannte geringere natürliche Menge hinzugefügt. Als Hauptresultat würde die Unsicherheit bei der „missing sink“ vergrößert, denn diese Stoffmenge müsste von der nicht bekannten Senke mit aufgenommen werden.

Eine hohe Emissionsrate aus Vulkanen und Gesteinen ist schon insofern unwahrscheinlich, da vor der Industrialisierung die CO₂-Konzentration der Atmosphäre relativ konstant war. Wäre der Vulkanismus der Hauptemittent, hätte die Konzentration auch in dieser Zeit schon ansteigen müssen.



Einwand C4)

Die Ursache des Kohlendioxid (CO₂)-Anstieges ist die Bevölkerungsexplosion

Da der Mensch mit der Atemluft Kohlendioxid an seine Umwelt abgibt, ist die wesentliche Ursache des beobachteten Kohlendioxid-Konzentrationsanstiegs die wachsende Weltbevölkerung. Auch die Verbrennung von Holz führt zu einer Erhöhung der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre.

Unsere Antwort:

Es ist richtig, dass bei der Atmung Kohlendioxid freigesetzt wird. Um die Problematik korrekt beurteilen zu können, ist es jedoch wichtig, zu wissen, dass sich der auf der Erde vorhandene Kohlenstoff in einem (biogeochemischen) Kreislauf bewegt. Die Entstehung von Kohlendioxid bei der Atmung von Mensch und Tier stellt nur einen kleinen Bruchteil des gesamten Kohlenstoffkreislaufs dar, dessen wichtigste Prozesse die Einbindung von CO₂ durch die Photosynthese und die Veratmung von Kohlehydratmolekülen unter Abgabe von Kohlendioxid darstellen. Mensch und Tier sind in diesen natürlichen Kreislauf eingebunden. Sie atmen Kohlendioxid aus, welches das Oxidationsprodukt der im Körper erfolgten Verbrennung von Nahrungsmitteln ist. Die Atmung setzt also Kohlendioxid frei, welches vorher der Atmosphäre durch die Photosynthese entzogen wurde. Damit schließt sich ein Teilstück des großen Kohlenstoff-Kreislaufes. Selbst unter der Berücksichtigung einer wachsenden Weltbevölkerung bleibt diese Kohlendioxid-Bilanz, über längere Zeiträume betrachtet, ausgeglichen.

Ähnlich verhält es sich bei der Verbrennung von Holz: Ein Baum nimmt im Laufe seines Lebens durch die Photosynthese Kohlendioxid aus der Atmosphäre auf und baut daraus Biomasse auf. Stirbt der Baum oder wird er abgeholzt, wird der jetzt in Kohlenhydraten gebundene Kohlenstoff entweder über einen längeren Zeitraum durch Verwesung (mikrobielle Atmung) oder sofort durch Verbrennung wieder zu Kohlendioxid umgesetzt und an die Atmosphäre abgegeben. Der Kohlenstoff durchläuft in beiden Fällen Teile des natürlichen Kreislaufs (Bindung durch Photosynthese, Freisetzung durch mikrobielle Veratmung/sofortige Oxidation).

Wird nun immer genauso viel Holz aufgeforstet wie eingeschlagen und verbrannt, trägt die Holzverbrennung nicht zum zusätzlichen Treibhauseffekt bei, da das durch die Verbrennung freiwerdende Kohlendioxid wieder durch die Photosynthese in aufwachsenden Bäumen in Form von Biomasse (Holz) gebunden wird. Somit ist die Bilanz von verbrannter und aufwachsender Biomasse un-

ter der Voraussetzung gleichbleibenden Waldbestandes über die Jahre hinweg ausgeglichen. Es kommt nicht, wie bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe, zu einer langfristigen Anreicherung von Kohlendioxid in der Atmosphäre.

In diesem Zusammenhang ist auch das immer wieder vorgebrachte Argument zu sehen, die fossilen CO₂-Emissionen betragen nur wenige Prozent der natürlichen biogenen Emissionen. Letztere stellen nur einen ständigen Austausch von Kohlenstoff hauptsächlich zwischen Biosphäre und Atmosphäre ohne Trend dar, erstere führen zu steter Zufuhr und damit zu einer Konzentrationszunahme in der Atmosphäre.

So werden jährlich zwischen Atmosphäre und Vegetation 60 GtC hin und her ausgetauscht (zwischen Atmosphäre und Ozean sogar 90 GtC), die anthropogene Zufuhr beträgt Jahr für Jahr 8 GtC, wodurch der beobachtete Konzentrationsanstieg des CO₂ zustande kommt.

Einwand C5)

Mehr Kohlendioxid (CO₂) bleibt ohne Klimaeffekt

Die Infrarot-Absorptionsbanden von CO₂ sind schon gesättigt, mehr CO₂ kann keinen weiteren Effekt bringen und damit auch den Treibhauseffekt nicht verstärken.

Unsere Antwort:

Dieses Argument ist für einige Spektralbereiche (insbesondere die Zentralbereiche der Absorptionsbanden bei 4,5 und 14,7 mm Wellenlänge) zutreffend, aber nicht für alle Bereiche, insbesondere nicht für die Flanken der Absorptionsbanden. Diese Sachlage bedingt, dass CO₂ durchaus klimawirksam ist, wegen der weitgehenden Sättigung jedoch im Vergleich zu voll absorbierenden Stoffen (ungesättigte Infrarot-Banden) ein sehr viel geringeres Erwärmungspotential besitzt. Die Bedeutung des CO₂ resultiert aus den enormen Mengen, in denen es emittiert wird.

Einwand C6)

Der Kohlendioxid (CO₂)-Anstieg ist wegen seines Düngeeffektes positiv zu werten

Eine erhöhte Kohlendioxid-Konzentration hat düngende Wirkung, weshalb wiederum mehr Kohlendioxid über ein verstärktes Pflanzenwachstum (Bildung von Biomasse) aus der Atmosphäre entnommen wird.

Unsere Antwort:

Pflanzen benötigen Kohlendioxid, um es mittels der Photosynthese in Biomasse (hauptsächlich Kohlenhydrate) umzusetzen. Eine höhere Kohlendioxid-Konzentration begünstigt die Photosyntheseleistung der Pflanzen. Allerdings stellt sich die Frage, in welchem Umfang diese Beeinflussung erfolgt.

Zur Schätzung der Größenordnung dieses Kohlendioxid-Düngeeffekts werden Labor- und Felduntersuchungen sowie Modellstudien durchgeführt. In der Regel wird dabei eine künstliche Atmosphäre mit zum Beispiel doppeltem Kohlendioxid-Gehalt erzeugt oder den Modellen zugrunde gelegt. Meist versorgt man die Pflanzen in diesen Untersuchungen optimal mit den notwendigen Nährstoffen und Wasser.

Diese Untersuchungen und Studien kamen zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen. Abhängig von der Pflanzenart wird sowohl von mehr als verdreifachtem als auch von einem nahezu halbierten Pflanzenwachstum berichtet. In mehreren Fällen wurde zunächst eine Zunahme der Biomasseproduktion beobachtet, die sich dann aber in den Folgejahren abschwächte und sich teilweise auch ins Gegenteil verkehrte. Untersuchungen in Ökosystemen ergaben für gemäßigte Feuchtgebiete stärkere und für Tundragebiete sehr geringe Steigerungen im Pflanzenwachstum.

Viele Fragen im Zusammenhang mit dem Kohlendioxid-Düngeeffekt sind noch ungeklärt - so zum Beispiel die Frage, wie sich dabei die Zusammensetzung der Ökosysteme ändert, da aufgrund (physiologischer) Unterschiede nicht alle Pflanzen in gleicher Weise vom Kohlendioxid-Düngeeffekt profitieren können. Darüber hinaus ist wahrscheinlich, dass der Effekt in Regionen, in denen Nährstoff- oder Wassermangel oder Wetter- und Klimafaktoren das Wachstum begrenzen, deutlich geringer ausfällt.

Neuere Schätzungen zeigen, dass die jährliche Nettoaufnahme von Kohlendioxid durch die Biosphäre in den Jahren 1989 - 1998 über der der Jahre 1980 - 1989 liegt. Die Ursache dieser erhöhten Nettoaufnahme lässt sich nicht eindeutig bestimmen, weil neben dem erhöhten Angebot von Kohlendioxid auch die Temperaturerhöhung in diesem Zeitraum, erhöhte Stickstoffdeposition und die Wirkung von Forstbewirtschaftungsmaßnahmen zur Erhöhung der Photosynthese und damit zur Erhöhung der Kohlendioxidfestlegung in der Biosphäre führten.

Forschungsergebnisse zeigen weiterhin, dass mit weiter steigenden Kohlendioxid-Konzentrationen und Temperaturen die Möglichkeit der Pflanzen mehr Kohlendioxid einzulagern, stark abnimmt, so dass die Atmungsprozesse, d.h. die Freisetzung von Kohlendioxid, überwiegen. Die Biosphäre würde sich dann von einer Kohlenstoffsenke zu einer Quelle entwickeln.

Selbst unter der allerdings unrealistischen Annahme, dass die Erde wie in historischen Zeiten mit Wald bedeckt sei und bei Außerachtlassung der obigen Erkenntnisse kann der für 2100 erwartete Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre auf 540 - 960 ppm nur um maximal 40 - 70 ppm gemindert werden.

Es ergibt sich als Fazit, dass die erwartete, jedoch schnell vorübergehende Erhöhung der gespeicherten Kohlenstoffmenge in der Biomasse infolge des Kohlendioxid-Düngeeffektes in keinem Fall ausreichen wird, die Zunahme der Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre zu stoppen.



Einwand D1)

Kennen wir den tatsächlichen Temperaturtrend?

Die Feststellung, die globale Lufttemperatur habe sich seit dem Ende des letzten Jahrhunderts um 0,4 bis 0,8 °C erhöht, ist zweifelhaft. Der Temperaturdatensatz, der die Basis für diese Feststellung bildet, ist überhaupt nicht repräsentativ bzw. verfälscht.

Unsere Antwort:

Die Erstellung eines globalen Temperatur - Datensatzes, der bis ins letzte Jahrhundert zurückreicht, wirft Probleme auf. So haben die Messstationen oft ihren Ort gewechselt, die Beobachtungspraxis hat sich verändert und auch die Aufstellung und die Art der Messinstrumente haben gewechselt. Weiterhin ist die räumliche Verteilung der Stationen unregelmäßig und variiert stark zwischen Land und Meer, von Kontinent zu Kontinent und im Zeitverlauf. Nicht zuletzt ist auch die Stationsumgebung Veränderungen unterworfen, insbesondere durch die zunehmende Verstädterung.

Diese Probleme sind bekannt und wurden insbesondere im ersten IPCC-Bericht ausführlich behandelt. Es wurde sehr genau dargestellt, wie die sich aus der Ver-

änderung des Stationsortes und der Beobachtungspraxis ergebenden Sprünge in den Temperaturreihen korrigiert wurden (dazu existieren langjährige Erfahrungen aus der meteorologischen Praxis).

Um dem Einfluss der Dichte des Messnetzes auf die Bestimmung der globalen Mitteltemperatur nachzugehen, wurden Testrechnungen mit variierenden Stationsdichten vorgenommen. Es wurde festgestellt, dass der Einfluss unterschiedlicher Stationsdichten auf die Werte der mittleren Lufttemperaturen der Nord- und Südhemisphäre sehr gering ist. Um valide globale Temperaturmittelwerte zu erhalten, werden für die N-Hemisphäre 100 Messstationen und für die S-Hemisphäre 60 Messstationen benötigt, tatsächlich gibt es weit mehr.

Die Frage der Vortäuschung eines Temperaturanstieges durch die zunehmende Verstädterung wurde von mehreren Klimaforschern untersucht. Für den Zeitraum der letzten 100 Jahre ist der Einfluss dieses Effekts auf die globale mittlere Lufttemperatur geringer als $0,05\text{ °C}$. Gegen diesen Einwand spricht zudem, dass nach dem 2. Weltkrieg viele Messstationen aus dem Stadtinnern hinaus zu den Flughäfen verlegt wurden und dass weiterhin die außerhalb der Städte liegenden Messstationen für sich alleine ebenfalls ansteigende Temperaturen aufweisen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der vorhandene Datensatz zur Bestimmung der mittleren globalen Lufttemperatur eine anerkannte und valide Grundlage für Aussagen zum globalen Temperaturtrend an der Erdoberfläche darstellt.

Einwand D2)

Zwischen Satelliten- und Bodenmessung von Temperaturen besteht Diskrepanz

Es gibt eine Diskrepanz zwischen den Boden- und den Satellitendaten, die mit den Vorstellungen zur Wirkungsweise des Treibhauseffektes nicht im Einklang stehen.

Unsere Antwort:

Lange Zeit war eines der Hauptargumente der „Skeptiker“, dass zwischen den Trends bodennaher Messstationen (mit Zunahme von $0,6\text{ °C}$ über die letzten 100 - 160 Jahre) und den allerdings nur über die letzten 25 Jahre verfügbaren Satellitendaten mit keinem oder sogar nicht abnehmendem Trend ein Widerspruch bestünde, der eine Verständnislücke aufzeigt.

Die durch verschiedene Methoden (die Bodenmessungen sind direkte Messungen der Lufttemperatur, die Satelliten messen die Temperatur indirekt über die Strahlung) gewonnenen Datensätze sind nur bedingt vergleichbar. Auf die sehr unterschiedliche zeitliche Dimension beider Messreihen wurde bereits verwiesen. Dies bedeutet auch, dass die Erfahrung bei der Erhebung der Bodendaten viel größer und die Entwicklung und Vereinheitlichung der Messtechnik viel weiter fortgeschritten ist als bei den Satellitenmessungen, wo zum Beispiel sehr verschiedene Messgeräte und -verfahren zum Einsatz kamen und kommen. Besondere Schwierigkeiten wirft die Kombination der Daten verschiedener Satelliten auf, weil zwischen diesen erhebliche Sprünge bestehen.

Sehr gravierend sind auch die Unterschiede der Beobachtungsgröße: Die bodennahen Messungen sind Punktmessungen in einer Höhe von 2 m über dem Boden, bei den Satelliten dagegen wird ein Integral der Temperatur über die untersten 6 Kilometer der Troposphäre erfasst (die Temperaturen können in diesem Höhenbereich eine Bandbreite von über 30 °C überstreichen). Für Aussagen über einen langjährigen Temperaturtrend sind aus all diesen Gründen die Bodendaten deutlich besser geeignet. Darüber hinaus sind die bodennahen Temperaturen entscheidend im Hinblick auf Auswirkungen auf die belebte wie die un belebte Natur.

Später konnte gezeigt werden, dass die Satellitendaten inkorrekt registriert worden sind, weil man den Höhenverlust der Satelliten von 1,2 km pro Jahr, der sich auf das Messergebnis auswirkt, nicht berücksichtigt hatte. Nach Ausführung der Korrektur zeigen auch die Satellitendaten einen leicht ansteigenden Trend (von ca. 0,05 °C pro Jahrzehnt).

Ganz aufgelöst hat sich der Widerspruch nach einer neuerlichen Veröffentlichung, die mit den gleichen Satellitendaten unter Anwendung eines anderen statistischen Verfahrens zu den praktisch gleichen Temperaturtrends wie die Bodendaten gelangte.

Einwand D3)

Nicht überall schmelzen Gletscher, nicht überall steigt der Meeresspiegel

Die gängige Vorstellung, überall seien die Eismassen im Schmelzen begriffen, ist unzutreffend. Gerade die mit Abstand größten Eisvolumina in der Antarktis und in Grönland schmelzen nicht - teilweise findet in der Antarktis sogar Zunahme statt - und der Meeresspiegel steigt auch nicht überall an.

Unsere Antwort:

Die Antarktis ist der kälteste Teil der Erde, die Temperaturen sind so niedrig, dass (von der antarktischen Halbinsel abgesehen) bis jetzt kein Tauprozess eingesetzt hat. Durch die Erwärmung der Ozeane ergibt sich eine höhere absolute Feuchte der Atmosphäre, so dass durch Niederschlag und Kondensation an dieser Kältefalle die Menge des Eises sogar zunehmen kann.

Die Bilanz des Gletschervolumens resultiert aus Verlusten infolge von Tauprozessen aus Zuwachs und infolge zunehmendem Niederschlags. Generell ist aber die Schmelze vorherrschend und die Gletscher sind nicht nur in Europa, sondern auch im Himalaja, den Rocky Mountains und Anden im Schwinden und auch der Schnee am Kilimandscharo ist bald nur noch ein Roman von Hemingway.

Im Einzelfall kann in der Bilanz aufgrund der lokalen Gegebenheiten auch ein Zuwachs resultieren.

Auch die Veränderung des Meeresspiegels ist das Resultat verschiedener Einflüsse. Zunächst ist schon wichtig, ob die Landmasse sich hebt wie an der italienischen Westküste oder sich senkt wie an der italienischen Adria. Auch die Reaktion auf die Beendigung der letzten Eiszeit spielt hierbei eine Rolle. Zum Anstieg des globalen Meeresspiegels führt die thermische Ausdehnung des sich erwärmenden Wassers der Ozeane, das Schmelzen von Gletschern und der verstärkte Abfluss von Frischwasser. Weiterhin können aber auch lokale Gegebenheiten wie sich ändernde Strömungsverhältnisse und Wind die Pegelmessungen beeinflussen.

Insgesamt ist ein Anstieg des Meeresspiegels zu verzeichnen.



Es gibt eine ganze Reihe skeptischer Darstellungen und Argumente, die wenig oder nichts mit den verschiedenen wissenschaftlichen Aspekten des Klimawandels zu tun haben, sondern mehr nach der gesellschaftlichen Sinnhaftigkeit des Klimaschutzes fragen oder die Motivation der Menschen, die dafür eintreten, zum Gegenstand haben.

Einwand E1)

Gesellschaftlicher Sinn und Unsinn

Klimaschutz im Sinne einer umfassenden Problemlösung durch Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen ist ohne Zweifel eine gewaltige Herausforderung, die tief greifende Änderungen des energetischen Systems, unserer Wirtschaftsweise und unserer Verhaltens- und Konsummuster mit sich bringen wird. Es ist allerdings keine Aufgabe, die in den nächsten fünf Jahren zu lösen ist, sondern die uns noch viele Jahrzehnte beschäftigen wird.

Bei dieser Sachlage ist es nicht verwunderlich, dass unabhängig von den wissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels die Sinnhaftigkeit der Unternehmung grundsätzlich in Frage gestellt wird.

Zunächst wird die technische Unlösbarkeit des Umbaus in erforderlichem Umfang herausgestellt, insbesondere in Verbindung mit dem Ausstieg aus der Kernenergie (der sicherlich eine zusätzliche Herausforderung darstellt). Hier ist auf die Langfristigkeit der Aufgabe zu verweisen - Lösungen werden sich allerdings nur einstellen, wenn man sich der Aufgabe auch rechtzeitig stellt und daran arbeitet. Darüber hinaus sind bereits jetzt eine Vielzahl von Optionen zur Energieeinsparung und damit Emissionsminderung verfügbar, insbesondere durch Erhöhung der Energieeffizienz (z. B. bei der Angebots- und Nachfrageseite für Elektrizität, bei Heiz- und Kühlenergie oder im Verkehr) mit nur geringen Kosten oder sogar mit Kosteneinsparung. Längerfristig wird die Problemlösung in einem Übergang auf regenerative Energiequellen liegen, wobei noch nicht absehbar ist, welche Optionen sich noch zusätzlich zu den bereits jetzt verfügbaren durch Forschung und Entwicklung ergeben werden.

Einwand E2)

Priorität von Anpassung

Bei manchen Ökonomen ist es gerne geübte Praxis, die Kosten für den Klimaschutz extrem hoch und seinen Nutzen im Ausgleich dafür extrem niedrig anzusetzen. Dies ist dadurch möglich, dass man z. B. bei den Kosten ausschließlich als Maßnahme die Besteuerung von CO₂ ansetzt, bei den Auswirkungen dagegen nur die Monetarisierbaren berücksichtigt. Veränderung der Artenvielfalt, Aussterben von Arten (soweit nicht Handelsware) oder Niedergang nicht ökonomisch genutzter Landschaften fallen dann nicht weiter ins Gewicht.

In einer ganzen Reihe von Arbeiten werden so die Schäden ausgesprochen moderat, die Kosten des Klimaschutzes aber sehr hoch angesetzt. Damit kommt man zu dem Schluss, dass es doch viel sinnvoller sei, die Ökonomie zu entwickeln, weil mit dem dann reichlich verfügbaren Geld die geringfügigen Schäden leicht kompensierbar seien und wir damit insgesamt besser fahren würden.

Bei den Kosten des Klimaschutzes ist zu berücksichtigen, dass es eine ganze Reihe von Optionen gibt, die mit wenig Geld erschließbar sind oder sogar Einsparungen mit sich bringen. Darüber hinaus stellt der mittel- bis langfristige Übergang auf regenerative Energiequellen eine Modernisierung unseres Energie- und Wirtschaftssystems dar und ermöglicht eine nachhaltige Entwicklung, wir müssen nicht mehr von der Substanz leben. Im Hinblick auf die Endlichkeit der Vorräte an fossilen Brennstoffen muss dieser Weg früher oder später ohnehin gegangen werden - durch den Klimawandel und die Begrenztheit der Kapazität der Atmosphäre als Deponie für CO₂ wird er vorgezogen.

Des weiteren enthalten die meisten einen systematischen Fehler, da sie die absehbaren Kostensenkungen durch Innovation und Marktdurchdringung nicht ausreichend abbilden.

Bei den Schäden deuten alle Indizien darauf hin, dass selbst im klimatisch relativ stabilen Mitteleuropa diese heute schon erheblich sind, wobei wir ja erst am Anfang der Entwicklung stehen. Als reiche Industrienationen verfügen wir dabei über Möglichkeiten und Mittel, Anpassung und Kompensation materieller Schäden im gewissen Umfang vorzunehmen – für viele Regionen der dritten Welt besteht diese Möglichkeit angesichts der herrschenden Armut nicht. Darüber hinaus gibt es auch Schäden, bei denen eine Anpassung nicht möglich ist.

Das wesentliche Argument dagegen, sich nur auf die Anpassung zu verlassen, liegt darin, dass ohne Beseitigung der Ursachen der Klimawandel immer weiter voranschreitet, die Anpassung den wachsenden Schäden hinterherläuft und im Laufe der Zeit auch immer schwieriger und teurer wird.

Die einzige eigentliche, an der Ursache angreifende Problemlösung liegt in einer über die Jahrzehnte drastischen Senkung der Emissionen, um die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre zu stabilisieren und damit auch den Klimawandel zu begrenzen. Die Anpassung ist daneben zur Schadensbegrenzung unentbehrlich, weil der Klimawandel bereits eingesetzt hat und erst über einen längeren Zeitraum zum Stehen gebracht werden kann.

Einwand E3)

Gesellschaftliche Fortentwicklung wird durch höhere Temperaturen begünstigt

Es wird geltend gemacht, dass die Entwicklung der früheren Hochkulturen wie im Zweistromland und Ägypten sich erst infolge der günstigen klimatischen Bedingungen entwickeln konnte und dass das Klimaoptimum im 11. Jahrhundert ebenfalls besonders günstige Voraussetzungen für die gesellschaftliche Entwicklung geboten hat (Grönland als Grünland, Besiedelung von Hochlagen in den Alpen).

Ob die Gegebenheiten des Klimaoptimums tatsächlich so außergewöhnlich positiv waren, mag dahin gestellt sein. Grönland ist in seinen südlichen Bereichen heute genauso grün, wie es damals beschrieben war und die Zersiedelung der Alpen, auch in hohen Lagen, ist weit fortgeschritten.

In diesem Kontext wird auch geltend gemacht, die Temperaturen während des Klimaoptimums hätten über den heutigen gelegen. Die meisten Auswertungen kommen jedoch nicht zu diesem Ergebnis. Selbst wenn es so wäre, wäre es ohne Relevanz, denn Grund unserer Besorgnis sind nicht die heutigen, sondern die künftigen wesentlich höheren Temperaturen.

Die seit etwa 12 000 Jahren bei uns herrschende Warmzeit zeichnet sich durch eine außerordentliche Konstanz der klimatischen Gegebenheiten aus. Diese (und die günstigen Temperaturen) waren sicherlich eine Voraussetzung für die beispiellose Entwicklung der Menschheit in dieser Zeit. Mit abrupten Klimaänderungen, wie sie z. B. während der letzten Eiszeit zu verzeichnen waren, wäre die Entwicklung kaum möglich gewesen. Auch ein schneller Temperaturanstieg in der Zukunft würde die Lebensgrundlage für die Menschheit gefährden, weil wir an die bestehenden Gegebenheiten angepasst sind und hier Klimaverhältnisse auftreten würden, die in der Menschheitsgeschichte ohne Beispiel sind.

Einwand E4)

Das Kyoto-Protokoll bringt nichts

Es wird geltend gemacht, das Kyoto-Protokoll (KP) koste viele Milliarden \$ und bringe am Ende nur, dass die Temperaturen um 0,1 °C weniger anstiegen als ohne das Protokoll.

Unabhängig davon, dass die Kostenschätzungen weit differieren, ist unbestritten, dass die Umsetzung des KP nur einen geringen Effekt auf die Temperaturentwicklung haben wird. Auch wird dabei unterstellt, dass das KP in seiner momentanen Form das einzige Klimavertragswerk des 21. Jahrhunderts bliebe.

Dies ist in keiner Weise beabsichtigt. Ähnlich wie das Montreal-Protokoll zum Schutz der Ozonschicht ist das KP nur ein erster Schritt, der der ständigen Fortschreibung in Richtung der Zielerreichung bedarf. Dies ist schon daraus ersichtlich, dass das Protokoll Ziele nur bis zum Jahr 2012 beinhaltet. Der erste Schritt, der gemessen an den eigentlichen Notwendigkeiten sicherlich zu kurz war, sollte im wesentlichen die Trendumkehr bei den Emissionen der Industrieländer veranlassen. Dass dem weitere folgen müssen, will man die globale Emission deutlich senken, ist unausweichlich.

Einwand E5)

Verschwörung der Klimatologen

Besonderer Kritik erfreuen sich bei den Skeptikern die Klimawissenschaftler. Im wesentlichen wird unterstellt, diese Wissenschaftler würden aus Geldgier und Ruhmsucht Angst und Schrecken verbreiten, um an die Fördertöpfe der wissenschaftlichen Forschung heranzukommen. Natürlich gibt es unter Wissenschaftlern Konkurrenz um Fördergelder und auch Wissenschaftler sind Menschen - die Argumentation geht aber an der Realität des Wissenschaftsbetriebes vorbei. Das kostbarste Gut des Wissenschaftlers ist seine fachliche Kompetenz und Reputation, und die ist schnell dahin, wenn man gewagte Aussagen trifft, die sich später nicht bestätigen. Daher pflegen Wissenschaftler sich unter Darlegung von Unsicherheiten und Einschränkungen zu äußern.

Das Thema der weltweiten Klimaänderungen hat viele Facetten und eignet sich für umfassende Untersuchungen, tief gehende Diskussionen und breit angelegte Maßnahmen. Für Unterstellungen, Verdächtigungen, Spekulationen oder Sensationsberichte ist es hingegen völlig ungeeignet.

Kontakt:
Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Telefax: (0 30) 89 03 22 85
Internet: www.umweltbundesamt.de
E-Mail: uba@stk.de
Gedruckt auf Recyclingpapier auf 100% Altpapier.
©2004 Umweltbundesamt