**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 80 (1989)

**Heft:** 2

**Artikel:** Globale Umweltprobleme und Folgerungen für die Energiepolitik

**Autor:** Oeschger, H.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-903624

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 09.12.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Globale Umweltprobleme und Folgerungen für die Energiepolitik

H. Oeschger

***Um die sich abzeichnenden Veränderungen der Atmosphäre in einem minimalen Rahmen zu halten, sind Wissenschaft, Technik und Gesellschaft mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Der Autor legt dar, dass es viel einfacher ist, die Vorgänge in technischen Systemen wie Kernreaktoren zu kontrollieren, als den komplexen Organismus Erde zu verstehen und sich laufend an seine Veränderung anzupassen.***

***Le maintien des changements atmosphériques prévus à un minimum pose un nouveau défi à la science, la technique et la société. L'auteur explique qu'il est bien plus facile de contrôler les processus se déroulant dans les systèmes techniques tels que les réacteurs nucléaires que de comprendre l'organisme complexe qu'est la Terre et de s'adapter continuellement à ses changements.***

Vortrag, gehalten anlässlich der SVA-Informationstagung am 17. Oktober 1988 in Zürich.

**Adresse des Autors**
Prof. Dr. *Hans Oeschger*, Physikalisches Institut, Universität Bern, Sidlerstrasse 5, 3012 Bern.

## Einleitung

Die Frage der Klimasteuerung durch die atmosphärische $CO_2$-Konzentration wird in der Wissenschaft seit rund einem Jahrhundert diskutiert. Am Ende des letzten Jahrhunderts schätzte S. Arrhenius ab, dass eine Verdoppelung der atmosphärischen $CO_2$-Konzentration eine globale Erwärmung um 4–6 °C bewirken würde.

Die $CO_2$-Forschung trat Ende der 50er Jahre, als D. Keeling und R. Revelle auf Mauna Loa, Hawaii, und am Südpol kontinuierliche präzise Messungen der atmosphärischen $CO_2$-Konzentration begannen, in eine neue Phase. Sie stellten eine eindeutige Zunahme fest. Betrug 1958, bei Beginn der Messungen, die Konzentration noch 315 $ppm_v$, so liegen die heutigen Werte um 350 $ppm_v$.

In den 60er und 70er Jahren wurde die Theorie des Treibhauseffekts verfeinert. Vor allem wurde gezeigt, dass die Energiebilanz auf der Erdoberfläche durch das gekoppelte System Erdoberfläche – Troposphäre – Stratosphäre bestimmt wird. In dieser Periode wurden auch die komplexen dreidimensionalen Klimamodelle entwikkelt. Ein wesentlicher Schritt war sodann die Beobachtung, dass neben dem $CO_2$ auch Spurengase, wie $CFCl_3$ (CFC-11) und $CF_2Cl_2$ (CFC-12), in der Atmosphäre steigende Konzentrationen zeigen und auf der Basis Molekül zu Molekül stärker zum Treibhauseffekt beitragen als $CO_2$. Eine grössere Zahl weiterer Treibhausgase, deren Konzentration ansteigt, wurde identifiziert, darunter auch $CH_4$ und $N_2O$, sowie troposphärisches $O_3$.

In den letzten Jahrzehnten fand die $CO_2$- und Klimafrage immer stärkere Beachtung der wissenschaftlichen Institutionen. Beispiele sind das $CO_2$-Programm des US Department of Energy, das Weltklimaprogramm (seit 1979), das Klimaprogramm der EG, aber auch eine grössere Anzahl nationaler Klimaprogramme. Von der mehr physikalischen Betrachtung des Klimasystems ist man heute zur Vorstellung des «Systems Erde» gekommen, in dem auch die biogeochemischen Prozesse eine wesentliche Rolle spielen. Das vom International Council of Scientific Unions geplante «International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global Change» hat die Zielsetzung: «To describe and understand the interactive physical, chemical and biological processes that regulate the total Earth system, the unique environment that it provides for life, the changes that are occurring in this system, and the manner in which they are influenced by human actions.»

Internationale Beurteilungen der $CO_2$- und Klimaproblematik fanden in den letzten zwei Jahren in zunehmendem Mass statt, wobei immer auch die Auswirkungen auf die Gesellschaft zur Sprache kamen. Spezielle Bedeutung ist dem «International Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts» von Villach/Österreich (9.–15.10. 1985) und der Konferenz «The Changing Atmosphere; Implications for Global Security», Toronto/Canada (27.–30.06. 1988) zuzumessen.

In diesem Beitrag wird vorerst kurz der Strahlungshaushalt der Erde im Hinblick auf eine Veränderung des Treibhauseffekts diskutiert. Dann folgt eine Übersicht über den heutigen Stand des Wissens um die $CO_2$- und Klimaproblematik, die sich weitgehend auf die Ergebnisse der Villach-Konferenz abstützt. Zum Schluss kommen sodann die Auswirkungen auf die Gesellschaft, inklusive Vermeidungs- und Anpassungsstrategien zur Sprache.

## Klimasystem und Treibhauseffekte

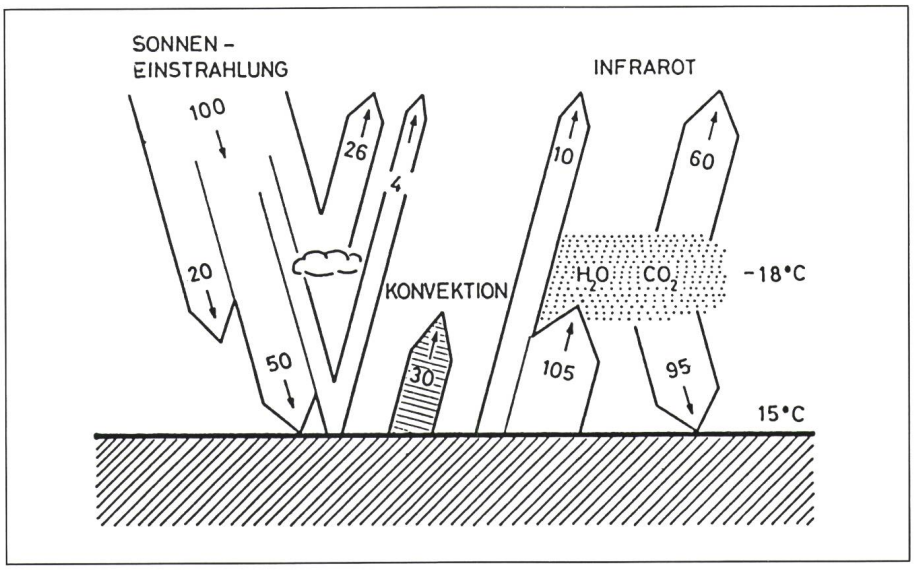
Der Energiehaushalt der Erde wird bestimmt durch die einfallende Sonnenstrahlung und die von der Erde emittierte Wärmestrahlung. Rund 30% der einfallenden Sonnenenergie wird reflektiert, 20% in der Atmosphäre und 50% von der Erdoberfläche absorbiert. Entsprechend ihrer mittleren Temperatur von 15 °C (288 K) emittiert die Erdoberfläche Wärmestrahlung im Infrarotbereich zwischen etwa 4 und 40 µm Wellenlänge. Während die wolkenfreie Atmosphäre für das Sonnenlicht annähernd tranparent ist, wird die Infrarotstrahlung von Wasserdampf, $CO_2$ und Spurengasen absorbiert und reemittiert. Wie Figur 1 zeigt, erfolgt die Reemission sowohl nach oben wie nach unten und erhöht damit die Temperatur der Erdoberfläche über den Wert, der der Absorption und Reemission der Sonnenstrahlung allein entspräche.

Dieser Erwärmungseffekt wird als Treibhauseffekt bezeichnet. Um ein Strahlungsgleichgewicht zu erreichen, müssen sich die Erdoberfläche und die unteren Atmosphärenschichten auf eine Temperatur erhöhen, die die Emission von Wärmestrahlung entsprechend 115% des einfallenden Sonnenlichts ermöglicht, obschon – wie oben erwähnt – nur 70% des Sonnenlichts von der Erde absorbiert wird.

Wird nun die Konzentration von $CO_2$ und Spurengasen in der Atmosphäre erhöht, wird zunächst weniger Wärmestrahlung in den Weltraum emittiert. Die Erdoberfläche und die unteren Atmosphärenschichten erwärmen sich und senden mehr Wärmestrahlung aus, bis sich das Gleichgewicht mit der Sonneneinstrahlung wieder neu einstellt.

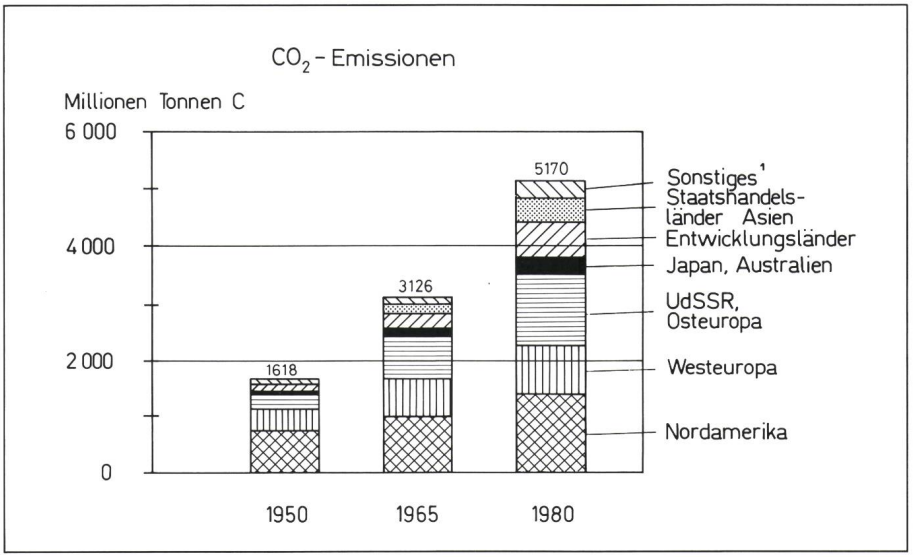
Detaillierte Rechnungen ergeben, dass bei einer $CO_2$-Verdoppelung die Wärmeabstrahlung um etwa 4,4 W/m² verringert wird. Um diesen Abstrahlungsverlust zu kompensieren, muss sich die Temperatur um 1,2 K erhöhen.

Eine Reihe von Rückkopplungseffekten verstärkt die Temperaturerhöhung. So nimmt bei einer Erwärmung die Wasserdampfkonzentration zu, da die Atmosphäre die Tendenz hat, die relative Luftfeuchtigkeit konstant zu halten. Eine weitere positive Rückkopplung liefert das Abschmelzen von Schnee und Eis, die im Vergleich zu den Oberflächen der Kontinente und der Ozeane eine hohe Albedo besitzen und wenig Sonnenlicht absorbieren. Weitere Rückkopplungseffekte betreffen u.a. die Wolken. Entsprechend der heutigen Vorstellung dominieren die positiven Rückkopplungseffekte und verstärken die primäre Erwärmung (1,2 K) um etwa einen Faktor zwei bis vier.




**Figur 1 Energiehaushalt der Erde**

Durch Erdatmosphäre und Erdoberfläche werden insgesamt 70% des einfallenden Sonnenlichtes absorbiert. Die von der Erdoberfläche emittierte Wärmestrahlung (Infrarot) wird zu einem beträchtlichen Teil von der Atmosphäre absorbiert und teilweise reflektiert. Um die Strahlungsbilanz aufrecht zu erhalten, muss die Erdoberfläche eine Temperatur annehmen, die eine Wärmeabstrahlung ermöglicht, die 115% der einfallenden Sonnenstrahlung entspricht.




**Figur 2 Aufteilung der $CO_2$-Emissionen auf Länder bzw. Kontinente**

[1] Inkl. weltweites Abfackeln von Gas; Bunkeröle; Oxidation von Erdölprodukten, die keine Brennstoffe sind

## Die Anstiege der Treibhausgase

$CO_2$ wird einerseits bei Rodungen und neuen landwirtschaftlichen Methoden, andererseits durch die Nutzung fossiler Brennstoffe in die Atmosphäre emittiert. Die Emission durch Nutzung fossiler Energien wird heute auf etwa 5 Gt C, diejenige durch Eingriffe in die Biosphäre auf etwa 1–2 Gt C geschätzt. Figur 2 zeigt die Aufteilung der $CO_2$-Emissionen 1950, 1965 und 1980 auf die verschiedenen Länder und Kontinente. Auffallend ist die Zunahme der relativen Anteile der Länder mit zentralgeplanter Wirtschaft Asiens und der Entwicklungsländer. Während sich in den westli-

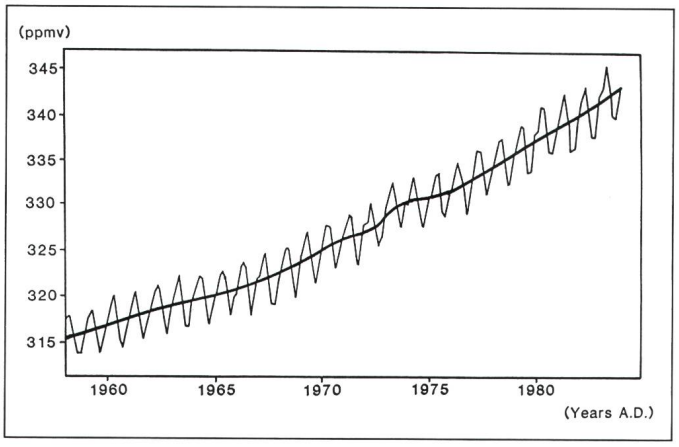
chen Ländern die Emissionen seit anfangs der 70er Jahre stabilisiert haben, zeigen die zentral geplanten Länder Europas und Asiens wie auch die Entwicklungsländer starke Aufwärtstrends. Extrapolationen lassen erkennen, dass die gegenwärtige Stagnation der weltweiten $CO_2$-Emission wahrscheinlich bald wieder durch ein starkes Wachstum abgelöst wird.

Figur 3 zeigt den auf Mauna Loa seit 1958 gemessenen $CO_2$-Anstieg. Die Zunahme entspricht etwa der halben Menge des emittierten fossilen $CO_2$. Das emittierte $CO_2$ wird im $CO_2$-austauschenden System Atmosphäre – Biosphäre – Ozean (– Sedimente) (Fig. 4) verteilt. Die Hauptsenke ist der Ozean. Aufgrund von Tracermessungen, wie z.B. $^{14}C$ von Nuklearwaffentests, lässt sich das Eindringen einer atmosphärischen Störung in den Ozean verfolgen und in Modellen quantitativ beschreiben. Eine solche Abschätzung zeigt, dass der Ozean je nach Wachstumsrate der Emission etwa 40 bis 50% des überschüssigen $CO_2$ aufnehmen kann.

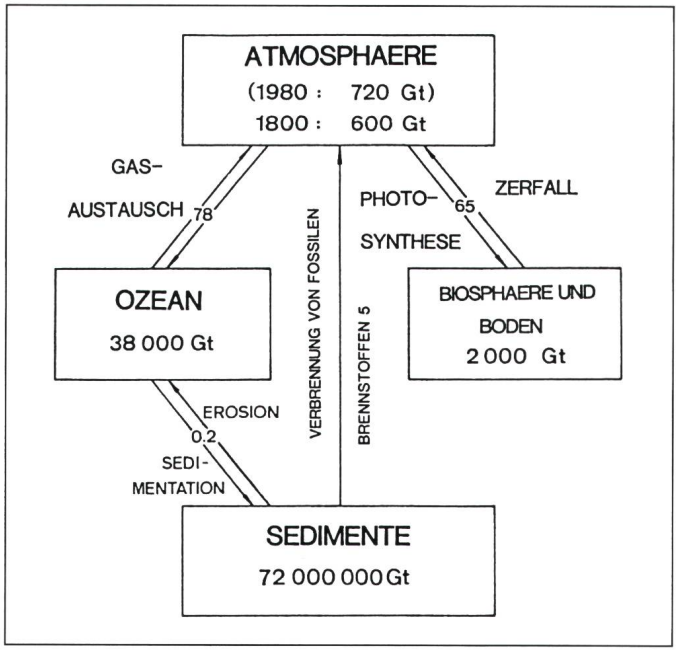
Bei der Betrachtung der C-Gehalte der Reservoire und Austauschflüsse des $CO_2$-Systems fällt auf, dass die $CO_2$-Emission durch Nutzung fossiler Energien ($\approx$ 5 Gt pro Jahr) nur etwa 4% der Austauschflüsse der Atmosphäre mit den anderen Reservoiren beträgt. Verständlicherweise wird daher die Frage gestellt, warum das System diesen relativ geringen Input nicht ohne eine signifikante Veränderung des atmosphärischen $CO_2$-Gehaltes aufnehmen kann. Dass es sich beim beobachteten $CO_2$-Anstieg nicht um eine zufällige Schwankung des atmosphärischen $CO_2$-Pegels handelt, lässt sich aufgrund der in Polareis bekannten Alters eingeschlossenen Luftproben nachweisen.

In Figur 5 ist der Anstieg des atmosphärischen $CO_2$, der seit 1958 an Luftproben gemessen und für frühere Epochen an der in Polareisproben eingeschlossenen Luft rekonstruiert wurde, wiedergegeben. Hier nicht gezeigte Messungen weisen auf $CO_2$-Gehalte im Bereich von 280 ±5 ppm während der vorindustriellen letzten Jahrtausende hin. Im 18. Jahrhundert setzte der $CO_2$-Anstieg ein, vorerst durch Rodungen und andere Eingriffe in die Biomasse; gegen Mitte des 20. Jahrhunderts begann die $CO_2$-Emission als Folge der Nutzung von fossilen Brennstoffen zu dominieren. Aus dem beobachteten $CO_2$-Anstieg seit 1750 lässt sich die totale $CO_2$-Emission durch menschliche Aktivitäten rekonstruieren. Die Hauptsenke für in die Atmosphäre emittiertes $CO_2$ ist der Ozean, der überschüssiges $CO_2$ lösen und in grössere Tiefen hinuntermischen kann. Basierend auf $^{14}C$ lässt sich die Aufnahme des überschüssigen $CO_2$ durch den Ozean simulieren und somit aus dem beobachteten $CO_2$-Anstieg die anthropogene $CO_2$-Produktion zurückrechnen. Die totale Produktion setzt sich aus durch menschliche Eingriffe in die Biomasse freigesetztem $CO_2$ und durch Nutzung der

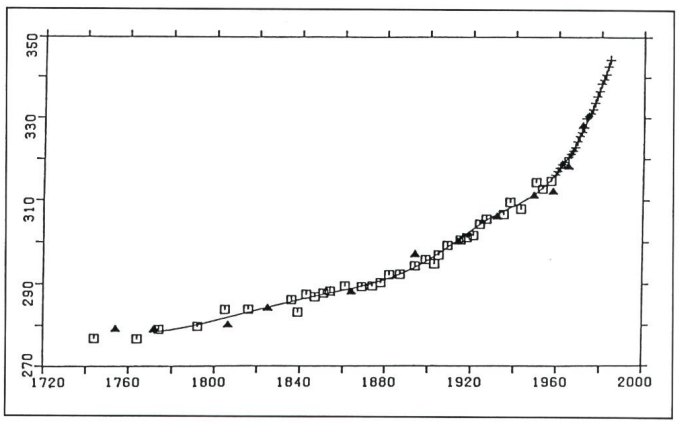
**Figur 3**
**$CO_2$-Messungen auf Mauna Loa**




**Figur 4**
**Vereinfachte Darstellung des $CO_2$-Austausches zwischen Atmosphäre, Biosphäre und Sedimenten. Die $CO_2$-Gehalte der Reservoire sind in Gt C, die Austauschflüsse in Gt C pro Jahr ausgedrückt**




**Figur 5**
**Atmosphärischer $CO_2$-Anstieg während der letzten 200 Jahre aufgrund von Messungen an Luft aus einem Eisbohrkern von der SIPLE-Station in der Antarktis. Ab 1958 Werte von Messungen an Luftproben vom Mauna Loa-Observatorium, Hawaii**



fossilen Energie emittiertem $CO_2$ zusammen. Letztere ist mit einiger Genauigkeit bekannt. Die Produktion durch Zerstörung von Biomasse wird als Differenz «totale Produktion» minus «fossile Produktion» berechnet. Ihre Abschätzung ist speziell im Bereich der letzten Jahrzehnte (Differenz zweier ähnlicher Grössen) mit starken Unsicherheiten behaftet. Auch ist zu berücksichtigen, dass die so berechnete «Biosphärenproduktion» auf der Nettoabnahme der Biomasse beruht, d.h. auf der Differenz aus der Bruttoabnahme der Biomasse und dem als Folge der $CO_2$-Düngung eintretenden verstärkten Biomassenwachstum. Auffallend ist die relativ grosse $CO_2$-Produktion durch Eingriffe in die Biomasse schon im 19. Jahrhundert.

Diese Entfaltung der $CO_2$-Produktion aus dem $CO_2$-Anstieg setzt voraus, dass das System während der letzten Jahrhunderte gleich funktioniert hat, wie es dies heute tut. Auch Prognosen des $CO_2$-Anstiegs stützen sich auf diese Annahme. Wie Messungen an Eisbohrkernen zeigen, hat bei starken klimatischen Änderungen der $CO_2$-Gehalt der Atmosphäre geschwankt. Dies ist auch bei Prognosen des zukünftigen atmosphärischen $CO_2$-Gehalts zu berücksichtigen. Er kann schneller oder langsamer ansteigen, als basierend auf dem heutigen Systemverhalten abgeschätzt wird.

Ähnlich wie der $CO_2$-Anstieg verlief der Anstieg von weiteren Gasen, die, wie $CO_2$, den Treibhauseffekt und damit das Klima der Erde verändern. Die Anstiege und Quellen der wichtigsten dieser Gase sind in Tabelle I zusammengestellt.

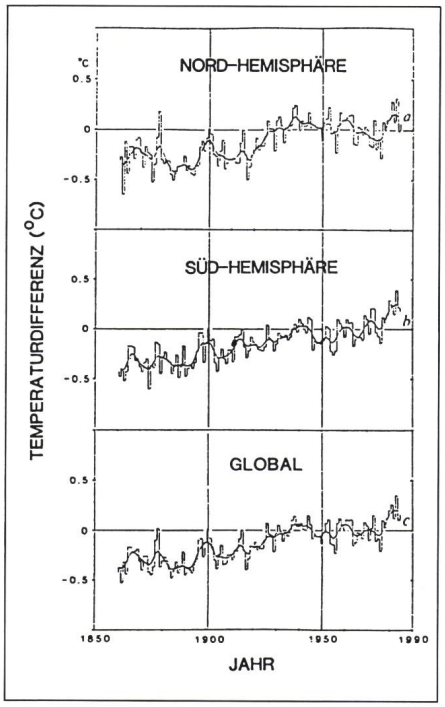
Aufgrund der atmosphärischen Messungen, vor allem aber auch der Rekonstruktion an Eisbohrkernen, dürfen die Anstiege von $CO_2$ und Spurengasen infolge menschlicher Aktivitäten heute als gesichert betrachtet werden.

| Gas | Konzentrationen heute | Konzentrationen vorindustriell (% von heute) | Wachstumsrate pro Jahr | Quellen |
|---|---|---|---|---|
| $CH_4$ | 1,65 ppm | 40% | 1,2% | Reisfelder; Verbrennung von Biomasse; Auslaufen, Verlust von Edelgas; Erdgas |
| $N_2O$ | 0,30 ppm | 90–95% | 0,3% | Stickstoffdüngung; Verbrennungsprozesse |
| halogenierte Kohlenwasserstoffe (CFC 11 und 12) | 0,2 ppb | 0% | 4% | Kühlaggregate; Air Condition, Schäumung, Spraydosen |

**Tabelle I Der Anstieg weiterer zum Treibhauseffekt beitragender Gase**

## Der Anstieg der globalen Temperatur

Schwieriger ist der eindeutige Nachweis, dass sich als Folge der bisherigen Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre das Erdklima verändert hat. Figur 6 zeigt neueste Rekonstruktionen der Erdtemperatur seit 1860. Es ist ein mittlerer Temperaturanstieg um rund 0,5 °C festzustellen, auch hatten wir seit 1980 die drei wärmsten Jahre der letzten 130 Jahre. Der Temperaturanstieg zeigt jedoch dem Anstieg überlagerte Variationen, vermutlich bedingt durch Vulkanausbrüche, Änderungen von Sonnenparametern, aber auch durch mögliche interne Änderungen des Systems Erde, wie Schwankungen der Ozeanzirkulation. Wichtig ist auch, dass durch die Wärmekapazität des Ozeans der globale Temperaturanstieg um etwa zwei Jahrzehnte verzögert wird und dieser damit im Gleichgewicht um etwa einen Faktor zwei höher wäre. Die anthropogene Veränderung der globalen Temperatur mag heute für ein neues Strahlungsgleichgewicht etwa 1 °C betragen.




**Figur 6 Temperaturverläufe seit 1860 (Jahresmittel). Nach Jones et al., Nature, 1986**

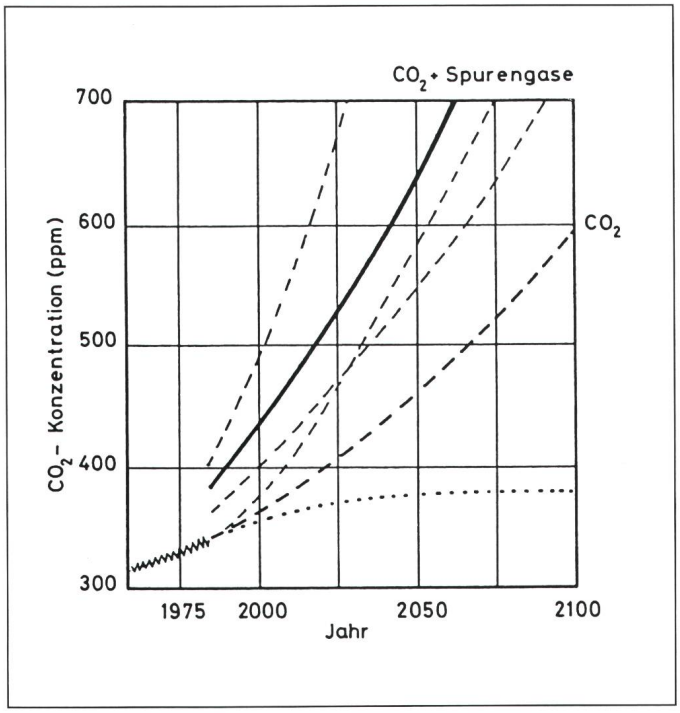
Einiges Aufsehen erregten in den letzten Jahren extreme klimatische Ereignisse, wie Dürren im Südosten und mittleren Westen der Vereinigten Staaten von Amerika, Überschwemmungen u.a. in Bangladesh oder Starkniederschläge im Alpengebiet 1987.

In einem US Senate Committee Testimony gab Jim Hansen vom NASA Goddard Institute for Space Studies folgende Erklärungen ab:

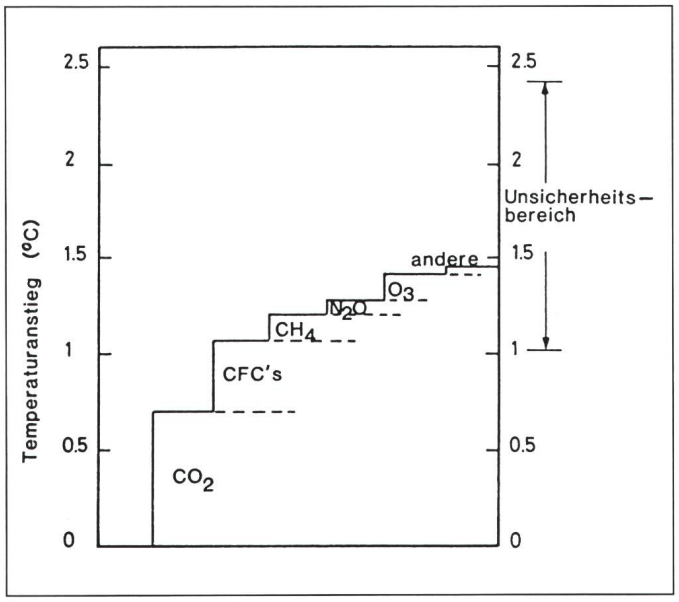
- Die Erde ist 1988 wärmer als zu irgendeinem Zeitpunkt in der Geschichte der Temperaturmessung mit Instrumenten.
- Die globale Erwärmung ist heute so stark, dass sie mit grosser Wahrscheinlichkeit als Konsequenz des ansteigenden Treibhauseffekts betrachtet werden muss.
- In den Computersimulationen ist der Treibhauseffekt nun gross genug, um die Wahrscheinlichkeit von extremen Ereignissen, wie sommerlichen Hitzewellen, zu beeinflussen.

Diese Aussagen stützt er im wesentlichen auf einen Vergleich der warmen 80er Jahre mit den Temperaturen der Periode 1951–1980 ab.

Zusammenfassend kommt man zum Schluss, dass der Anstieg der Erdtemperatur etwa den Erwartungen aufgrund der Abschätzungen mittels Klimamodellen für den beobachteten $CO_2$- und Spurengasanstieg entspricht. Da die Erdtemperatur jedoch auch kleinen natürlichen Schwankungen in der Grössenordnung des Temperaturanstiegs unterworfen ist, kann letzterer noch nicht wissenschaftlich streng




**Figur 7 Prognosen des $CO_2$-Anstiegs (gestrichelt) und des Treibhauseffekts aller Treibhausgase, ausgedrückt in $CO_2$-Äquivalent (ausgezogen)**




**Figur 8 Kumulative Temperaturerhöhung infolge von $CO_2$ und Spurengasen**

Die Gesamtheit der Spurengase verstärkt den Effekt des $CO_2$ allein etwa um einen Faktor 2. Die Temperaturehöhung wurde mit einem eindimensionalen Modell für die Periode 1980–2030 berechnet. Berechnungen mit «General Circulations Models» liefern wegen der Rückkopplungsmechanismen Werte im Bereich des 0,8–2,6-fachen der in dieser Abbildung dargestellten Werte.

dem Anstieg des Treibhauseffekts zugeschrieben werden.

Zwischen Prognose und Beobachtung besteht jedoch kein Widerspruch, und es setzt sich immer mehr die Ansicht durch, dass sich das Signal schon in etwa 10 Jahren eindeutig von den natürlichen Schwankungen abheben wird.

## Prognosen

Bei einem Wachstum der $CO_2$-Emission um 2% pro Jahr würde sich der atmosphärische $CO_2$-Gehalt etwa im Jahr 2080 verdoppeln (Fig. 7). Wie erwähnt, wird die Erhöhung des Treibhauseffekts durch die Anstiege weiterer Gase beschleunigt (Fig. 8). Unter Berücksichtigung der heutigen Trends für die Anstiege dieser Gase berechnet sich eine Erhöhung des Treibhauseffekts, die einer $CO_2$-Verdoppelung entspricht, schon für das Jahr 2030; wegen der Trägheit des Systems (Wärmekapazität des Ozeans) wird sich diese erst etwa im Jahr 2050 voll auswirken.

Die sich durch die Erhöhung des Treibhauseffekts einstellende Klimaveränderung wird oft für das Äquivalent einer $CO_2$-Verdoppelung abgeschätzt. Rechnungen mittels einer ganzen Hierarchie von Modellen verschiedener Komplexität liefern Erhöhungen der globalen Temperatur im Bereich von 1,5–4,5 °C. Für höhere Breiten werden stärkere, für die äquatorialen Gebiete schwächere Veränderungen erwartet. Mit der Erwärmung wäre im Mittel eine Zunahme der Niederschläge zu erwarten, verknüpft mit erhöhter Verdunstung. Die Prognosen der sogenannten «General Circulation Models», die regionale Voraussagen machen, weisen auf grössere Trockenheit im Innern der Kontinente hin.

Viel Beachtung finden Prognosen der zur Zeit wohl auf dem höchsten Stand stehenden Modelle des Goddard Institute for Space Studies (GISS), New York, der Geophysical Fluid Dynamics Laboratories (GFDL), Princeton, und des National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder. Der Vergleich der Resultate der verschiedenen Modelle zeigt wohl teilweise grosse Unterschiede, die die heute noch bestehenden grossen Unsicherheiten der regionalen Prognosen zum Ausdruck bringen; übereinstimmend ist jedoch die Grössenordnung der zu erwartenden Veränderungen. Im Bereich der auch die Schweiz enthaltenden Gittermasche 5°–15° Ost, 45°–55° Nord ergeben die Modelle für die mittlere Sommertemperatur Erhöhungen um 0–6 °C, für die mittlere Wintertemperatur solche von 4–8 °C. Gemittelt über die Erdoberfläche prognostizieren die drei Modelle Temperaturanstiege von 3,5–4,2 °C. Die Erhöhung der Erdtemperatur wird zu einem Abschmelzen von Kontinentaleis (Gletscher und polare Eiskappen) führen, mit dem Resultat eines Anstiegs des Meeresspiegels. Auch die thermische Ausdehnung des Meerwassers in den oberen Schichten wird zum Anstieg beitragen. In den letzten 100 Jahren ist der Meeresspiegel um 10–20 cm angestiegen. Abschätzungen weisen darauf hin, dass für eine Erwärmung um 1,5–4,5 °C ein Meeresspiegelanstieg von 25–165 cm zu erwarten ist.

Das Wachstum der Pflanzen ist durch das Angebot an Licht, $CO_2$, Wasser und weiteren Nährstoffen bestimmt. Ein höherer atmosphärischer $CO_2$-Gehalt wird, falls die anderen Randbedingungen gleich bleiben, zu einem intensiveren Wachstum führen. Auch wird sich die Resistenz gegenüber Trockenheit erhöhen, da sich die Stomata wegen des erhöhten $CO_2$-Angebots weniger öffnen werden. Durch die gesamthaft veränderten Umweltbedingungen werden die verschiedenen Pflanzenarten unterschiedlich beeinflusst werden, und die Diversität der Vegetation wird sich ändern. Es ist

## Empfohlene Massnahmen der Konferenz von Toronto

- Ratifizierung des Montreal-Protokolls betreffend Stoffe, die die Ozonschicht schädigen. 1990 soll das Protokoll revidiert werden, um zu erreichen, dass im Jahr 2000 die Emission halogenierter Kohlenwasserstoffe praktisch eliminiert ist.
- Reduktion der Emission von $CO_2$ und anderen Treibhausgasen. Um die atmosphärische $CO_2$-Konzentration zu stabilisieren, wäre die Reduktion der Emissionen auf etwa 50% der gegenwärtigen erforderlich. Energieforschung und -entwicklung soll auf wenig und kein $CO_2$-emittierende Optionen ausgerichtet sein und auf Projekte, die der Erreichung der Zielvorstellung bezüglich der Reduktion der Emissionen dienen.
- Ein erstes Ziel wäre die Reduktion der $CO_2$-Emissionen bis zum Jahr 2005 um ungefähr 20% unter die Werte von 1988. Die industrialisierten Nationen haben die Verantwortung für die Führung zu übernehmen. Etwa die Hälfte der Abnahme soll durch bessere Energienutzung und andere Sparmassnahmen bewirkt werden, die andere durch Modifikationen der Energieversorgung.
- Die Beiträge zur Erreichung dieses Ziels werden von Region zu Region variieren.
- Neben den Massnahmen zur besseren Nutzung erfordert die angestrebte Reduktion der $CO_2$-Emission:
  - Übergang zu Brennstoffen, die weniger $CO_2$ emittieren
  - Vermehrte Nutzung erneuerbarer Energien.
- Neubetrachtung der Option Kernenergie, die Vertrauen verloren hat wegen Problemen bezüglich Sicherheit, radioaktiver Abfälle und Proliferation von Nuklearwaffen. Sollten diese Probleme durch bessere technische Systeme und institutionelle Massnahmen gelöst werden, so hätte die Kernenergie eine Rolle zu spielen bei der Reduktion der $CO_2$-Emission.
- Verhandlungen über Wege, wie diese Reduktionen zu erreichen sind, sollten jetzt initiiert werden.
- Neue Projekte für eine effizientere Energienutzung sollten unterstützt werden.
- Existierende Techniken zur Reduktion «saurer Emissionen», von Stoffen, die zur Produktion von troposphärischem Ozon führen, und anderer Treibhausgase ausser $CO_2$ sollen konsequent angewandt werden, zusätzlich zur Reduktion der Nutzung von Fossilenergie.

fraglich, ob die positiven Effekte der $CO_2$-Düngung bei möglicherweise stark verändertem Wasserhaushalt zum Tragen kommen werden. Schwierig vorauszusagen sind auch die Auswirkungen auf Unkraut und Schädlinge. Oft wird auch auf die Anhäufung extremer Ereignisse aufmerksam gemacht. Verschiebt sich der Mittelwert einer klimatologischen Grösse, wie z.B. Temperatur oder Niederschlagsrate, in einer Richtung um die Grössenordnung ihrer mittleren Schwankung, so wird sich die Wahrscheinlichkeit gewisser extremer Ereignisse auf ein Mehrfaches erhöhen.

## Die Konferenz von Toronto 1988

Eine neue Phase stellte sich mit der Konferenz «The Changing Atmosphere: Implications for Global Security» ein, die weltweit grösste Beachtung fand.

Einige wichtige Aussagen aus dem Entwurf des «Conference Statements»:

- Die Menschheit führt ein unkontrolliertes, globales Experiment durch, dessen letztliche Folgen nur von denjenigen eines Krieges mit Kernwaffen übertroffen werden könnten. Die Erdatmosphäre wird durch Emissionen menschlicher Aktivitäten, der uneffizienten und abfallreichen Nutzung fossiler Brennstoffe und Auswirkungen raschen Bevölkerungswachstums in vielen Regionen in einem Mass verändert, wie dies früher nie der Fall war. Diese Veränderungen stellen eine bedeutende Bedrohung der internationalen Sicherheit dar und haben jetzt schon schädliche Auswirkungen in vielen Gebieten der Erde.
- Weitreichende Konsequenzen werden durch eine globale Erwärmung und einen Anstieg des Meeresspiegels verursacht, die eine Folge des sich fortsetzenden Anstiegs von $CO_2$ und anderen Treibhausgasen sind. Andere Auswirkungen sind das Resultat der Abnahme der Ozon-Schicht, die zu einer Zunahme der UV-Strahlung führt.
- Prognosen weisen auf schwerwiegende ökonomische und soziale Veränderungen für die heutige und zukünftige Generationen hin, was die internationalen Spannungen und das Risiko von Konflikten unter und innerhalb von Nationen noch erhöhen wird. Es ist unbedingt erforderlich, heute zu handeln.

Die Konferenz fordert sodann Regierungen, die Vereinigten Nationen, aber auch die Einzelpersonen auf, Massnahmen zur Reduktion der Krise, verursacht durch die Verschmutzung der Atmosphäre, zu treffen.

Die Konferenz fordert die Regierungen weiter auf, mit Dringlichkeit einen Massnahmenplan zum Schutz der Atmosphäre zu erarbeiten.

## Kommentar zu den Empfehlungen von Toronto

Es wird wie noch nie im Klartext von den negativen Konsequenzen der Veränderung der Atmosphäre durch menschliche Aktivitäten gesprochen und zum Handeln, d.h. zur Reduktion der Emissionen, aufgefordert. Wohl am leichtesten zu erreichen ist die Reduktion der sowohl zum steigenden Treibhauseffekt wie auch zur Zerstörung der Ozonschicht beitragenden Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe. Dies sollte ohne allzu grosse negative wirtschaftliche Konsequenzen möglich sein.

Wie sehr das Klimaproblem mit dem Bevölkerungswachstum verknüpft ist, zeigt die stark ansteigende Methanemission aus Nassfeldanbau von Reis in Ländern mit stark wachsender Bevölkerung. Die geforderte Reduktion der $CO_2$-Emission um 20% bis zum Jahr 2005 muss zur Beurteilung der Realisierbarkeit mit dem Szenario C (zunehmende Spannung) der Weltenergiekonferenz 1986 (Fig. 9) verglichen werden, das bis zum Jahr 2005 eine Zunahme des $CO_2$-emittierenden globalen jährlichen Primärenergieverbrauchs um 25% vorsieht. Diese Forderung beim wachsenden Energiebedarf der Entwicklungsländer zu erfüllen, scheint unmöglich.

Stossen wir bei der Fossilenergie am Problem der sich ändernden Atmosphäre und der sich daraus aufgrund

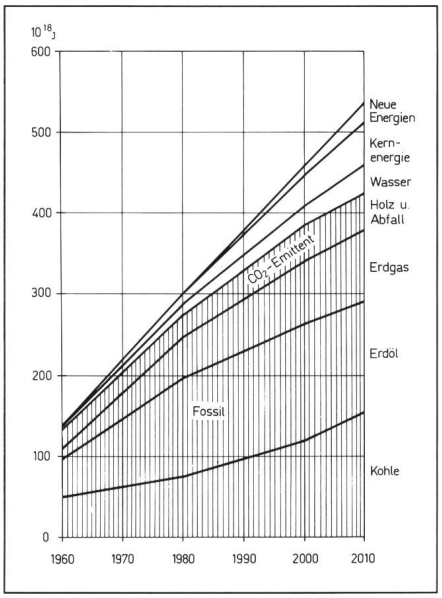
der Naturgesetze ergebenden Konsequenzen an, wird die Entwicklung der Kernenegie zumindest in einigen Ländern Europas und in den USA aus Gründen mangelnder Akzeptanz durch die Bevölkerung gebremst und teilweise rückgängig gemacht. Aus dem oben erwähnten Szenario C geht hervor, dass heute die Kernenergie mit etwa 6% der $CO_2$-emittierenden Energien zum globalen jährlichen Gesamtenergieverbrauch beiträgt. Würden die $CO_2$-emittierenden Energien bis zum Jahr 2005 konstant gehalten, das Kernenergieszenario jedoch befolgt, würde der Kernenergieanteil dann etwa 15% betragen. Würde bis zum Jahr 2005 der jährliche Primärenergieverbrauch von Fossil- plus Kernenergie konstant gehalten, könnte die Zunahme der Kernenergie zu einer Verminderung der $CO_2$-Emission um etwa 9% beitragen.

Beispiele von erfolgreicher Substitution von Fossilenergie durch Kernenergie finden sich in europäischen Ländern. Wäre z.B. in der Schweiz die Kernenergie mit $2{,}32 \cdot 10^5$ TJ im Jahr 1986 durch Fossilenergie ersetzt worden, so entspräche dies einer Zunahme der mit dem Fossilenergievebrauch verknüpften $CO_2$-Emission um 37% im Fall von Öl und wesentlich mehr im Fall von Kohle als Substitutionsbrennstoff. In Frankreich wären die Konsequenzen mehr als doppelt so gross wie in der Schweiz.

## Klimaproblematik und Kernenergie

Die Tatsache, dass die $CO_2$- und Spurengasproblematik ein wichtiges Argument zugunsten einer sich stark auf Kernenergie abstützenden Energiezukunft ist, hat sich auf die Wahrnehmung der Treibhausproblematik eher negativ ausgewirkt:

- Von Kernenergiegegnern wird die $CO_2$-Problematik als aufgebauschtes Argument der Befürworter dargestellt. In der Tat sind auch die Beiträge einzelner Länder an die Gesamtproblematik gering. Eine Milderung der Problematik muss jedoch gemeinsam im weltweiten Rahmen angestrebt werden.
- $CO_2$-Forscher, die an Kernforschungsanstalten tätig sind oder sonst mit der Kernenergie in Beziehung stehen, werden oft als nicht objektiv bezeichnet, auch wenn sie sich grösster Sachlichkeit bemühen.
- $CO_2$-Forscher, die gegenüber der Kernenergie skeptisch sind, sehen in dieser keine Lösung des Problems.




**Figur 9 Jährlicher Primärenergieverbrauch der Welt gemäss Szenario C, «Zunehmende Spannungen», der Weltenergiekonferenz 1986**

Bezüglich der Akzeptanz der Kernenergie muss sich eine Entkrampfung einstellen. Die Kernenergie deckt heute, relativ kurze Zeit nach ihrer Einführung, weltweit 5% und in Industrieländern bis zu 40% des gesamten Primärenergiebedarfs. Das Gefahrenpotential der westlichen Nukleartechnologie darf nach wie vor als gering eingestuft werden. Die radioaktiven Abfälle, deren Radioaktivität selbst im Sättigungszustand in ferner Zukunft nur wenige Prozente der natürlichen Radioaktivität der obersten Schichten der Erdkruste betragen kann, werden nach dem «Confine and Concentrate»-Prinzip unter Benützung modernster technischer Möglichkeiten von der Biosphäre ferngehalten. Sie bedeuten eine ungleich geringere Umweltbelastung als die nach dem «Disperse and Dilute»-Prinzip an die Atmosphäre abgegebenen Stoffe, die u.a. zu dem hier diskutierten Ansteigen von Treibhausgasen führen.

Von Kernenergiegegnern wird gelegentlich eine Anpassungsstrategie als ein einer Vermeidungsstrategie vorzuziehendes Vorgehen dargestellt, da letztere ein zu starkes Argument zugunsten der Kernenergie darstelle (Meyer-Abich, Climate in Change). Als in der Planung des International Geosphere-Biosphere Programme Engagierter liegt mir daran, auf die riesigen Schwierigkeiten einer Anpassungsstrategie hinzuweisen. Die bisherigen Modelle, die hauptsächlich die atmosphärischen Prozesse berücksichtigen, gestatten wohl Vorstellungen der zu erwartenden globalen Tendenzen; bezüglich der regionalen Auswirkungen bestehen noch grosse Unsicherheiten. Diese werden sich noch erhöhen, wenn Erdsystem-Modelle, in die auch realistischere Modelle des Ozeans, der Eiskappen, der Ökosysteme und der Kopplung zwischen diesen Subsysteme eingebaut sind, entwickelt werden. Es wird Jahrzehnte dauern, bis Prognosen entwickelt werden können, auf denen solide Anpassungsmassnahmen aufgebaut werden können.

Diese Aussage wird unterstützt durch Forschungsergebnisse, die zeigen, dass in der Vergangenheit schnelle Schwankungen des Klimasystems, in der Grössenordnung mehrerer Grad Celsius innerhalb weniger Jahrzehnte, stattgefunden haben. Derartige Klimaschwankungen wurden am Ende der letzten Eiszeit durch Analyse der Isotopeninformation im Grönlandeis, aber auch, synchron, in europäischen Seesedimenten beobachtet. Studien an Sedimenten aus dem Nordatlantik weisen eindeutig darauf hin, dass diese Klimaveränderungen mit Schwankungen der Ausdehnung des Kaltwasserkörpers im Nordatlantik verknüpft sind. Diese Beobachtung zeigt uns, dass kurzfristige Änderungen der Ozeanzirkulation mit starken Auswirkungen auch auf das Klima auf den Kontinenten auftreten können. Man schliesst daher bei Klimaprognosen immer mehr auch mögliche rapide Entwicklungen, die durch das Umklappen der Systeme bedingt sind, nicht aus.

Es ist sicher viel einfacher, die Vorgänge in technischen Systemen wie Kernreaktoren zu kontrollieren, als den komplexen Organismus Erde zu verstehen und sich laufend an seine Veränderungen anzupassen. Aus diesem Grund muss die Veränderung der Atmosphäre in einem minimalen Rahmen gehalten werden.

## Herausforderung von Wissenschaft, Technik und Gesellschaft

### ● Wissenschaft

Die Wissenschaft ist vor die Aufgabe gestellt, das Wissen um die kompli-

zierten physikalischen, chemischen und biologischen Mechanismen, die das System Erde steuern, zu fördern. Im speziellen gilt es, so rasch wie möglich die anthropogenen Entwicklungen vom natürlichen Rauschen des Systems zu separieren. Sollte dies neben den Anstiegen der Treibhausgase auch für die klimatische Entwicklung gelingen, würde die «Global Change»-Problematik der Bevölkerung viel stärker bewusst werden. Ausserdem liessen sich die Prognosen der zukünftigen Entwicklung erhärten.

Eine immer wichtigere Rolle werden sodann Studien der Auswirkung spielen, da die sich abzeichnenden Klima- und Umweltveränderungen durch geeignete Massnahmen im Energiesektor wohl nur verzögert, jedoch nicht mehr vermieden werden können. Im Vordergrund wird dabei der Zusammenhang Klima-/Ökosysteme stehen, der von Grund auf neu mit modernsten Methoden der veschiedensten Disziplinen untersucht werden muss.

## ● Technik

Von seiten der Technik sind Anstrengungen nötig, durch die Entwicklung emissionsarmer Systeme zur Lösung der Probleme beizutragen. Ein Hauptakzent ist die Optimierung der Energienutzung. Viel wird von der Nutzung der Sonnenenergie erwartet. Aber auch hier sind natürliche Grenzen gesetzt, die nicht überwunden werden können.

Anzeichen, dass sich bezüglich der Notwendigkeit der zunehmenden Nutzung der Kernenergie ein Umdenken anbahnt, finden sich in dem ausgezeichneten Artikel «Campaign Issues», The Environment: Cleaning up the Mess, im «Time Magazine» vom 19.9. 1988, in dem in aller Klarheit gesagt wird, dass, um die Umweltproblematik zu mindern, die Forschung der Kernenergie ebenso vehement vertreten werden muss wie diejenige der Sonnenenergie.

## ● Gesellschaft

Das $CO_2$-Spurengasproblem besitzt weltweites Ausmass. Gelegentlich wird von «winners und loosers», je nach den zu erwartenden regionalen Auswirkungen, gesprochen. Hochentwikkelte Länder werden negative Auswirkungen der zu erwartenden Klimaveränderung besser auffangen können als solche, die schon heute mit Überlebensproblemen kämpfen. Gerade die Flüchtlingsproblematik zeigt uns jedoch, dass heute negative Entwicklungen auf die ganze Erde ausstrahlen.

In der Wissenschaft hat die hier diskutierte Problematik zu einer positiven Entwicklung geführt. Der in diesen Fragen engagierte Wissenschafter ist auf das Wissen der Kollegen aus anderen Disziplinen angewiesen, und die Programme werden immer internationaler getragen. Eine ähnliche Entwicklung muss in der Weltpolitik einsetzen: eine Neuorientierung an der immer wichtiger werdenden Aufgabe der Erhaltung der technischen Zivilisation in die Zukunft hinein, unter Berücksichtigung der durch die Umwelt auferlegten, durch die Naturgesetze gegebenen Randbedingungen. Nur so wird es möglich sein, den komplexen globalen Umweltproblemen ohne allzu grosse negative Auswirkungen zu begegnen.

Aus der Erkenntnis der Komplexität der Auswirkungen der menschlichen Eingriffe in die Naturvorgänge muss sich die Einsicht durchsetzen, dass diese in einem minimalen Rahmen gehalten werden sollen. Eine wirksame Vermeidungsstrategie ist aber nur möglich, wenn der Graben zwischen Technik und Öffentlichkeit überbrückt werden kann. Wir leben in einer hochtechnisierten Welt und können die auf uns zukommenden Probleme nur in enger Zusammenarbeit mit einer Technik lösen, die sich an den neuen Randbedingungen orientiert, jedoch keinesfalls in Konfrontation mit ihr. Aus dem Versagen technischer Systeme lässt sich lernen, ihre Sicherheit kann laufend erhöht werden; ausgelenkten natürlichen Systemen stehen wir jedoch weitgehend machtlos gegenüber und können nur hoffen, dass sich die Dinge nicht allzu schlimm entwickeln werden.

## Klimaänderung – eine der grossen Fragen unserer Zeit

Zum Thema Klimaänderung haben die Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG und die Aare-Tessin AG einen Informationsfilm mit dem Titel «Das gefährliche Experiment mit der Atmosphäre – 10 Fragen zur Klimaveränderung» realisiert. Der Film richtet sich an ein breites Publikum. Er will dazu beitragen, dass die drohende Gefahr einer globalen Klimaänderung auf breiter Front besser erkannt wird. Denn obwohl die Erkenntnisse der Wissenschaft seit langem alarmierend sind, hat sich die Öffentlichkeit erst allmählich dafür zu interessieren begonnen. Umsomehr werden jetzt aber Fragen gestellt, die nach allgemein verständlichen Antworten verlangen.

Das globale Problem erfordert zu seiner Bewältigung eine internationale Zusammenarbeit. Zur Zeit läuft das nationale Klimaprogramm der Schweiz, «Proclim», an. Der Initiative von Bundesrat Cotti ist es zu verdanken, dass die Schweiz weltweit eine Dynamisierung der Umweltpolitik eingeleitet hat und auf diesem Gebiet eine erfreuliche Pionierrolle wahrnimmt.

Hauptziel des Films ist, die $CO_2$- und Spurengasproblematik von der wissenschaftlichen Ebene auf eine für den Laien verständliche Ebene zu transponieren, ohne jedoch von der Wissenschaftlichkeit der Aussagen abzurücken.

Der Film beginnt mit der Erklärung des Treibhauseffekts. Schrittweise wird auf weiteren Fragen aufgebaut: Woher kommt $CO_2$? Wer sind die «Komplizen» von $CO_2$? Gibt es Beweise für den Treibhauseffekt? Was passiert, wenn die Temperatur steigt? Wie könnte die Welt in sechzig Jahren aussehen? Schliesslich die Frage: Was müssen wir tun?

Eine Patentlösung für das Klimaproblem gibt es nicht. Vielmehr ist eine Vermeidungsstrategie notwendig, die verschiedenste Massnahmen umfasst. Es geht darum, dass wir ab sofort die Emission der Treibhausgase drastisch verringern (mindestens 2% pro Jahr).

Der Film stützt sich auf international anerkannte wissenschaftliche Studien. Zu Wort kommt auch einer der führenden Wissenschafter auf diesem Gebiet, Professor Dr. Dr. h.c. *Paul J. Crutzen*, Direktor des Max-Planck-Instituts für Chemie, Mainz. Als wissenschaftlicher Berater wirkte *Ulrich Schotterer*, Universität Bern, mit.

Interessenten können den VHS-Videofilm gratis ausleihen und zwar entweder beim Film-Institut, Schulfilmzentrale Bern, Erlachstrasse 21, 3012 Bern; bei der Schmalfilm AG, Badenerstrasse 342, 8040 Zürich; beim Kernkraftwerk Gösgen oder bei der Aare-Tessin AG für Elektrizität in Olten.

*Red.*