Zeitschrift: Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Herausgeber: Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Band: 60 (1993)
Heft: 136

Artikel: Der Klimawandel und die Klimapolitik
Autor: Niederberger, A. / Schotterer, U.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-216875

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: 14.07.2025

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

Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., Vol. 60, Nr. 136, Juli 1993 - S. 69-88

Der Klimawandel und die Klimapolitik

mit 10 Figuren

von A. NIEDERBERGER und U. SCHOTTERER

Einleitung

Die Klimafrage beherrschte in den letzten Jahren Politik und Medien. Die Weltklimakonferenz in Genf 1991 und der Erdgipfel in Rio 1992 waren herausragenden Ereignisse aus einer Flut von Tagungen, die sich alle mit dem in Gefahr geratenen Klima und der Umwelt beschäftigten. Die Thematik zeigt aber langsam Abnützungserscheinungen, die nicht zuletzt der intensiven Bearbeitung durch die Medien zuzuschreiben ist. Die momentane Wirtschaftslage und schwindende Arbeitsplätze lassen nach Meinung Vieler kaum Spielraum für weitere Belastungen, die ein zielstrebiger Klimaschutz erfordern würde. Wohl wurde auf dem Ende April zu Ende gegangenen Europäischen Umweltgipfel in Luzern wieder davon gesprochen, fiskalische und marktwirtschaftliche Instrumente so schnell wie möglich einzusetzen, um eine Senkung der CO_2 - Emissionen zu erreichen, denn die stetig steigenden Konzentrationen dieses Treibhausgases in der Atmosphäre drängen immer mehr nach raschem Handeln. Die Umsetzung dieser Absichtserklärungen lässt aber weiter auf sich warten und weite Kreise der Wissenschaft beginnen immer stärker daran zu zweifeln, dass sich das Klima solange ruhig verhält, bis sich der Mensch eines Besseren besinnt. In diesem Zusammenhang erstaunt auch nicht, dass die wissenschaftliche Beurteilung der Situation durch ein von der UNO eingesetztes Gremium, das Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, in das Schussfeld von einigen sehr vordergründigen Gegenexpertisen gekommen ist. Unbequeme Erkenntnisse im Licht wissenschaftlicher Zweifel lassen sich leichter relativieren. Vor allem dann, wenn Ursachen und Folgen wie im Falle der Klima-und Umweltproblematik eng mit materiellem Wohlstand verknüpft sind.

Aus diesem Grund versucht der vorliegende Artikel, das zur Zeit gesicherte Wissen über Wirkungen und Auswikungen des durch den Menschen verstärkten Treibhauseffekts kurz in zusammenfassender Form darzustellen, geht auf die Hintergründe der Kritik ein und skizziert die Folgen der Klimadiskussion für die nationale und internationale Politik.

Das Klimasystem und der Treibhauseffekt

Das Klimasystem

Grundsätzlich wird das Klima der Erde von externen und internen Vorgängen bestimmt, wobei der Srahlungleistung der Sonne, den Erdbahnparametern und der Verteilung von Ozeanen und Kontinenten die Hauptrolle zufallen.
Das Klima ist aber auch ein sehr komplexes Zusammenspiel von physikalischen, che-

* Dr. A. NIEDERBERGER, Buwal, 3003 Bern
U. SCHOTTERER, Pro Clim, Hirschengraben 11, 3001 Bern

mischen und biologischen Abläufen. Es wird nicht nur durch Prozesse in der Atmosphäre gesteuert, auch Vorgänge auf dem Land und in den Meeren beeinflussen seinen jeweiligen Zustand. Aus der schematischen Darstellung in Figur1 wird ersichtlich, dass wir es mit einem eigentlichen Klimasystem zu tun haben, in dem die Wechselwirkungen zwischen Kryosphäre, Geosphäre und Biosphäre eine besondere Rolle spielen. Angetrieben wird das Klima von der Sonnenenergie. Den ausgleichenden Transport von Wärme aus den Tropen polwärts beispielsweise kann man sich als Motor vorstellen: einfallendes Sonnenlicht erhitzt die Erdoberfläche, vor allem in den tropischen Breitengraden. Konvektion befördert die Wärme aus den bodennahen Luftschichten in die Troposphäre, die ersten 10-20 km der Atmosphäre, von wo sie dann weiter in den Weltraum abgestrahlt wird. Der globale Wasserkreislauf verteilt die Antriebsenergie der Klimamaschine auf die zahlreichen Untersysteme, wobei wichtigenProzesse diesen Wärmetransport beeinflussen:

der jährliche Zyklus der Jahreszeiten, der die gespeicherte Wärme in den Landgebieten und den oberen Schichten der Ozeane periodisch ändert;

die Meereszirkulation, welche wiederum den Wärmetransport in die Atmosphäre stark beeinflusst;

die Reflexion von einfallender Sonnenenergie in den Weltraum durch Wolken, Eis und Schnee, sowie bestimmte

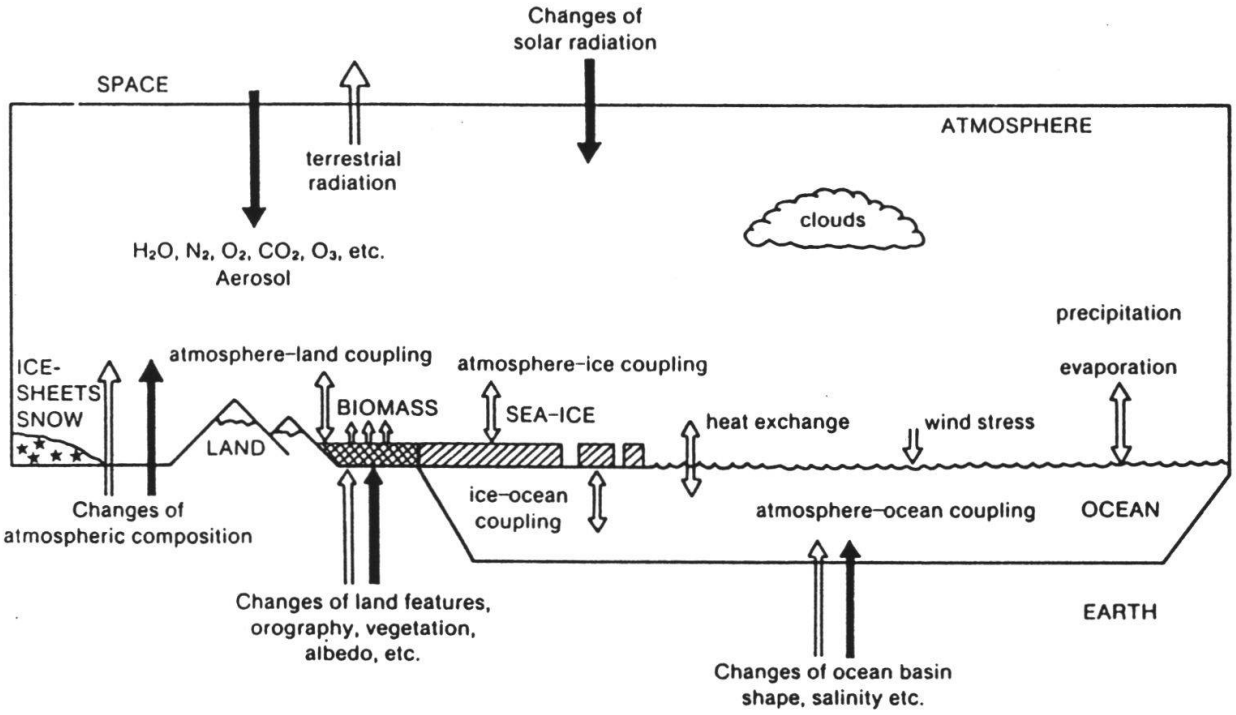

Fig. 1 Schematische Darstellung des Klimasystems (IPCC, 1990; nach HOUGHTON [1984]). Gefüllte Pfeile verweisen auf externer Prozese, leere Pfeile auf interner Prozesse, welche das Klima beeinflussen

Rückkopplungseffekte.

Rückkopplungseffekte haben einen beträchtlichen Einfluss auf die Strahlungsbilanz der Erde, wobei die Zeitkonstanten und Wirkung der einzelnen Effekte sehr unterschiedlich sein können. Rückkopplungen können ausgelöst werden durch: Aenderungen in der Reflexion eingestrahlter Sonnenenergie am Erdboden oder in der Atmosphäre durch die Konzentration kleiner Partikel; Zu- und Abnahme der biologischen

Produktivität, Veränderungen in der Meereszirkulation oder der Ausdehnung von Wolken um nur einige Beispiele zu nennen. Eine von solchen Wirkungsketten könnte folgendermassen ablaufen:

In einer wärmer werdenden Welt schmilzt Land- und Meereis. Die nun dunkleren Teile der Erde absorbieren mehr Sonnenenergie und reflektieren weniger davon. Es wird in der Folge also noch wärmer.und das bewirkt, dass weite Teile der Tundra auftauen. Dadurch wird wiederum mehr Methan emittiert, dass seinerseits ein starkes Treibhausgas ist. Der Treibhauseffekt in der Atmosphäre wird dadurch verstärkt. Die nun weiter erwärmte Atmosphäre gibt diese Wärme verstärkt an den Ozean ab. Dieser verliert durch diese Erwärmung einen Teil seiner bisherigen Kapazität für die CO_2-Aufnahme. Das CO_2 in der Atmosphäre steigt weiter an und verstärkt wiederum den Treibhauseffekt in der Atmosphäre. Und, und, und..

Wie lange es dauert, bis sich ein solcherart aufgeschaukeltes Klimasystem durch Selbstregulierung wieder in einem der Ausgangslage ähnlichen Zustand stabilisiert — oder in eine ganz anderen Phase kippt — lässt sich heute kaum vorraussagen.

Der Treibhauseffekt

Man unterscheidet heute zwischen dem natürlichen und dem zusätzlichen, durch die Tätigkeit der Menschen verstärkten Treibhauseffekt. Beide Effekte beruhen selbstverständlich auf denselben physikalischen Prinzipien.
Unter Treibhauseffekt versteht man ganz allgemein die Tatsache, dass die von der Erde reflektierte Sonnnenergie durch atmosphärische Spurengase zum Grossteil wieder absorbiert wird (Fig. 2). Dieser Vorgang ist letztlich für die für uns weitgehend angenehmen Temperaturen auf der Erdoberfläche verantwortlich. Sie liegen im globalen Mittel bei 15.5 Grad. Ohne den natürlichen Treibhauseffekt wäre die Erde dagegen etwa -18 Grad Celsius kalt. Leben wäre kaum vorstellbar.
Der zusätzliche Treibhauseffekt wird durch die Aktivitäten der Industriegesellschaft hervorgerufen und hat für das Klima der Erde schwerwiegende Folgen. Einmal abgese-

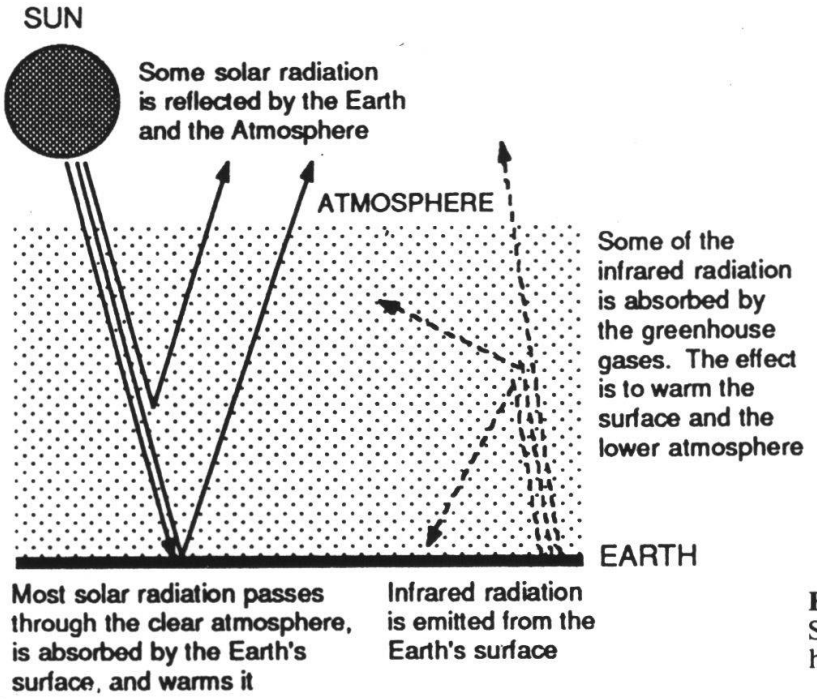

Fig. 2
Schematische Darstellung des Treibhauseffektes nach IPCC 1990

hen von den direkten Auswirkungen der Luft-und Gewässerverschmutzung auf die Lebensqualität des Menschen wird die Atmosphäre durch die Anreicherung zusätzlicher Treibhausgase immer undurchlässiger für die Infrarotabstrahlung der Erde. Dadurch wird das Gleichgewicht zwischen Einstrahlung und Ausstrahlung gestört. Der Nettoeintrag an Energie in die Troposphäre, den jedes zusätzlich emittierte Treibhausgas verursacht, kann mit Hilfe von Modellen abgeschätzt werden.

Die Treibhausgase

Die wichtigsten Treibhausgase sind Wasserdampf, Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickoxid (N_20), auch Lachgas genannt und Ozon (O_3). Dazu kommen weiters eine Reihe indirekt klimawirksamer Spurengase wie Kohlenmonoxid (CO), die Stickoxide NO und NOx sowie die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC). Diese Gase absorbieren Infrarotstrahlung selbst nur in geringem Masse, sind aber in der Atmosphäre chemisch aktiv und beeinflussen die Bildung und/oder Lebensdauer von direkt klimawirksamen Gasen wie beispielsweise von Methan oder troposphärischem Ozon.
Die halogenierten Kohlenwasserstoffe, die FCKW's, sind ausschliesslich industrieller Herkunft und werden seit den 30er Jahren emittiert. Sie sind für die Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht verantwortlich und wirken darüberhinaus in der Troposphäre als sehr starke Treibhausgase.
Besonders am Beispiel von Ozon wird deutlich, mit welch komplexen Situationen der Mensch konfrontiert wird, wenn er natürliche Gleichgewichte stört: Ozon ist ein sehr effektives Treibhausgas in der unteren Stratosphäre und der oberen Troposphäre, seine negative Wirkung auf die Biosphäre allgemein und auf die menschliche Gesundheit wird allerding als noch wichtiger eingeschätzt. Was oben zu wenig ist, ist in den bodennahen Luftschichten zuviel: Durch die Abnahme in der Stratosphäre gelangt mehr UV-Strahlung auf den Erdboden und erhöht unter anderem über die Zunahme von UV-B die Gefahr von Hautkrebs. Ozon in unserer Umgebungsluft ist ein gefährliches Reizgas. Der IPCC-Bericht von1992 hält fest, dass die totale Ozonsäule während der letzten 20 Jahre durch die Zerstörung der stratosphärischer Ozon abgenommen hat. Es wird darin betont, dass als Hauptursache die erwähnten FCKW-Emissionen angesehen werden. Die Abnahme des Treibhausgases Ozon wird durch die Zunahme der FCKW's kompensiert. Erleichtert kann man darüber kaum sein, dass ein Treibhausgas das andere zerstört, denn der Preis dafür ist ein erhöhtes Gesundheitsrisiko.

Quellen und Senken der Treibhausgase

Um die Wirkung der Treibhausgase auf das Klimasystem über Modelle besser abschätzen zu können, muss man ihre individuellen Quellen und Senken kennen. Die Konzentration von CO_2 in der Atmosphäre wird hauptsächlich durch den Austausch mit dem Ozean reguliert. Der CO_2-Fluss ins Meer oder umgekehrt vom Meer in die Atmosphäre hängt von der Wasserzirkulation und der Wirksamkeit der sogenannten biologischen Pumpe ab. Darunter versteht man die Aufnahme von CO_2 durch Lebewesen im Wasser.
Das im Volksmund Sumpfgas genannte Methan entsteht seinem Namen entsprechend vor allem bei der Zersetzung von organischem Material unter Sauerstoffabschluss in Feuchtgebieten und aber auch im Verdauungstrakt von Wiederkäuern. Methan ist ein sehr effektives Treibhausgas, da es Infrarot in einem Bereich absorbiert, in dem CO_2 nicht wirksam ist. In der Atmosphäre wird es durch Oxydation relativ rasch zerstört, deshalb ist seine Lebensdauer mit 10-20 Jahren relativ kurz. Die Folgeprodukte aber,

die aus der Zersetzung von Methan freiwerden, beeinflussen ihrerseits den Ozonkreislauf. In den Dauerfrostböden der Erde sind grosse Methanmengen gespeichert, die bei einer Erwärmung freigesetzt werden können. Die kurze Lebensdauer dieses Gases in der Atmosphäre ist deshalb nur ein geringer Trost.

Die Produktion von Lachgas oder Distickoxyd ist ebenfalls an die Aktivität der Biosphäre gebunden. Dieses Gas wird durch biologische Prozesse im Boden und im Wasser erzeugt und durch photochemische Reaktionen in der Troposphäre zerstört.

Welchen Einfluss die Biosphäre auf die natürliche Zusammensetzung der Atmosphäre und damit auch auf den Treibauseffekt hat, verdeutlicht Figur 3. Der zusätzliche Anteil des Menschen, vor allem am Treibhauseffekt ist heute Gegenstand heftiger Diskussionen. Dies betrifft vor allem die quantitativen Abschätzungen dieses Anteils und die daraus resultierende Auswirkung auf das Klima.

Die meisten Treibhausgase — Methan, wie oben erwähnt, ausgenommen — haben in der Atmosphäre eine mittlere Lebensdauer zwischen 50 und 150 Jahren. Berücksichtigt man sowohl die Lebensdauer wie auch das Absorptionsvermîgen dieser Gase, kann man ihr globales Erwärmungspotential oder GWP abschätzen. Man normiert diese Wertung an der Wirkung von CO_2 mit einem GWP von 1. Wenn man diesen Ueberlegungen beispielsweise einen Zeithorizont von 100 Jahren zugrunde legt, kann man die relativen Beiträge der einzelnen Gase untereinander vergleichen. Für die Emissionen

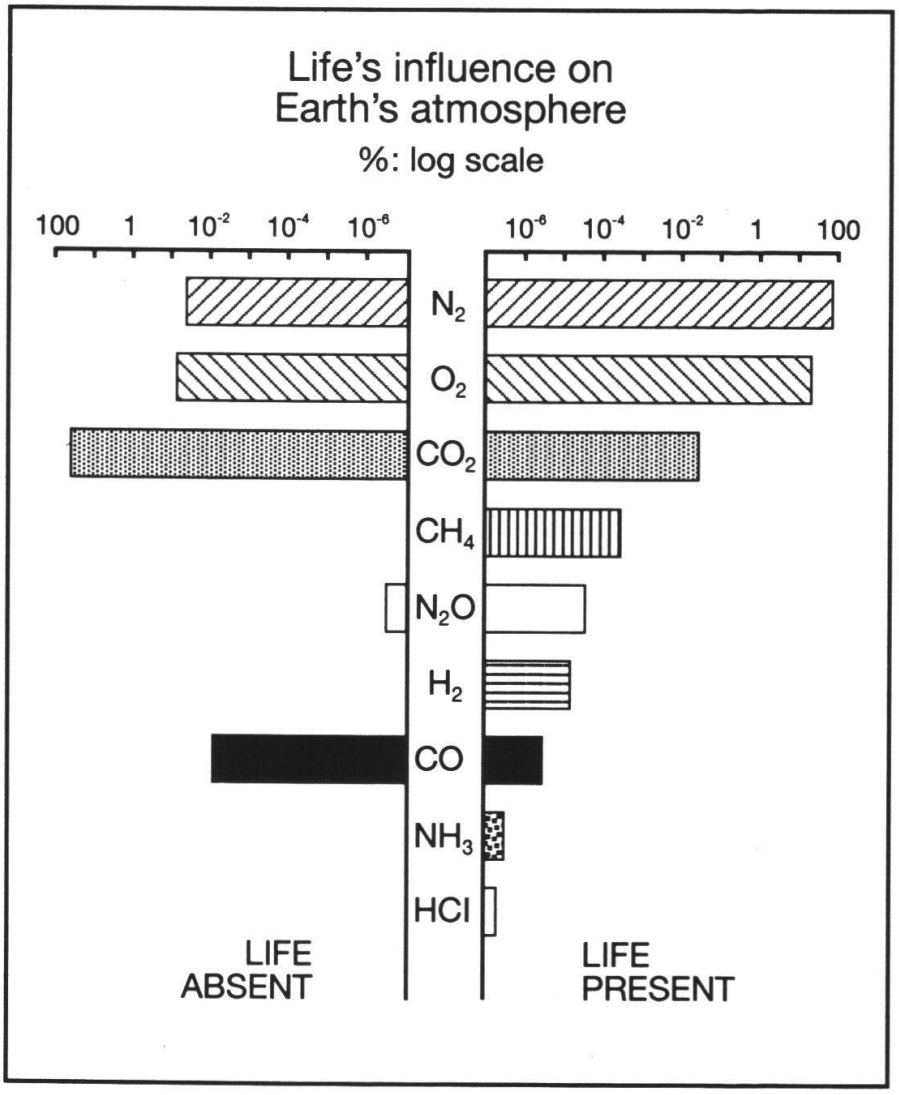

Fig. 3
Der Einfluss der Biosphäre auf die Zusammensetzung der Erdatmosphäre. Aus: reducing Uncertainties, IGBP 1992

von 1990 ergibt dies eine direkte Treibhauswirkung der einzelnen Gase wie folgt: CO_2 74%, CH_4 11%, FCKW's 10% und N_2O 5%.
Ozon fehlt in dieser Aufstellung.des IPCC. Der Grund liegt darin, dass einerseits die globale Datendichte für zuverlässige Berechnungen sehr uneinheitlich ist, zum anderen weil wegen der komplexen Atmosphärenchemie Quellen und Senken zur Zeit nur sehr ungenau quantifiziert werden können.
Der Hauptanteil des anthropogenen Treibhauseffekts ist also gegenwärtig dem CO_2 aus der Verbrennung fossiler Energieträger sowie in geringerem Masse auch der geänderten Landnutzung zuzuschreiben. Da die Tendenz der globalen Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und der Zementherstellung weiterhin zunehmend ist (Fig. 4), interessieren sich Wissenschaft aber auch die davon betroffene Wirtschaft in erster Linie für den globalen Kohlenstoff-Kreislauf.

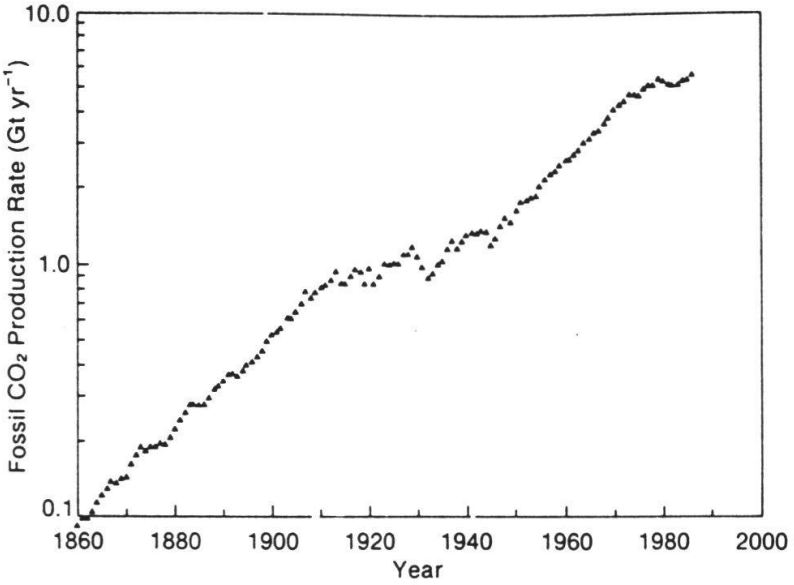

Fig. 4
Globale Emissionen von CO_2 in Gt verursacht durch die Verbrennung fossiler Brennstoffen (Kohle, Erdöl, Erdgas) sowie durch die Zementherstellung nach IPCC 1990; Datenangaben von ROTTY und MARLAND (1986) und MARLAND (1989)

Der Kohlenstoff-Kreislauf

Das Kohlendioxid in der Atmosphäre wird im wesentlichen über die Biosphäre mit den Reservoirs im Ozean und auf den Kontinenten ausgetauscht (Fig. 5). In den Sedimenten der Erde sind über geologische Zeiträume hinweg riesige Mengen an Kohlenstoff gespeichert worden. Die Austauschraten zwischen diesen Reservoirs — auch Flüsse genannt — sind die Bindeglieder im globalen Kohlenstoff-Kreislauf.
Der mengenmässig grösste Austausch erfolgt zwischen Atmosphäre und Biosphäre über die biologische Aktivität im Wasser der Ozeane und auf den Kontinenten. Vergleicht man die Zahlen in Abbildung 5 untereinander, so erscheinen einem die 6 Milliarden Tonnen (6 Gigatonnen, GT) Kohlenstoff pro Jahr, die aus der Verbrennung fossiler Energieträger und der geänderten Landnutzung stammen, als vernachlässigbar gering. Der Anstieg des CO_2 in der Atmosphäre zeigt aber deutlich, wie empfindlich ausgewogen der natürliche Kreislauf ist. Aus diesem Anstieg lässt sich auch berechnen, wieviel CO_2 seit dem Beginn der industriellen Revolution in die Atmosphäre gelangt ist: 580 Gigatonnen waren es um die Mitte des letzten Jahrhunderts, 1990 war dieser Wert auf 750 Gt angestiegen und er wächst gegenwärtig um etwa 3 Gt pro Jahr. Die Veränderungen in der Landbiosphäre sind schwerer quantifizierbar. Durch die Umwandlung unbesiedelter in besiedelte Gebiete, Rodungen und geänderte Anbaumethoden wird ebenfalls CO2 an die Atmosphäre abgegeben. Man schätzt, dass dieses Kohlenstoff-Reservoir im selben Zeitraum um etwa 20 Prozent abgenommen hat. Das Meer

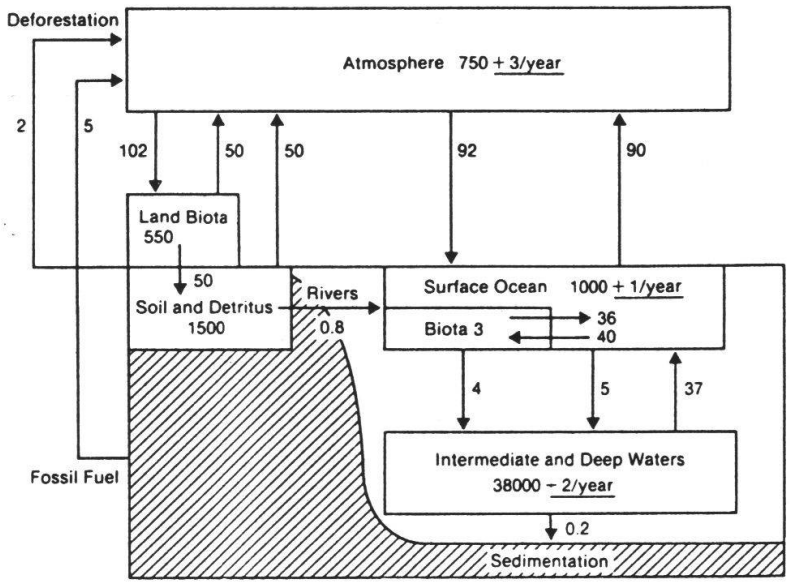

Fig. 5
Schematische Darstellung des heutigen Kohlenstoff-Zyklus mit Reservoirs und Flüssen in Gt Kohlenstoff. Die unterstrichenen Zahlen zeigen die Kohlenstoff-Mengen, di wegen menschlichen Aktivitäten jährlich abgelagert werden. IPCC (1990)

als grösstes Reservoir für CO_2 kann dessen Eintrag in die Atmosphäre schon deshalb nicht sofort aufnehmen, weil einerseits die Löslichkeit dieses Gases im Wasser temperatur- und pH abhängig ist, die Landbiosphäre zum anderen auch Nährstoffe, Wasser und entsprechende Klimabedingungen braucht, um auf das verstärkte Angebot an Kohlendioxid mit verstärktem Wachstum zu reagieren. Obendrein läuft.die Freisetzung von Kohlendioxid viel zu schnell ab. Man muss sich immer vor Augen halten, dass der Mensch in wenigen hundert Jahren wahrscheinlich dieselbe Menge an organischem Kohlenstoff in die Atmosphäre injizieren wird, die sich während hunderten von Millionen Jahren in Form von Kohle- Gas- und Erdölablagerungen angesammelt hat.

Gibt es schon erste Anzeichen einer Klimaänderung?

Die 80-er Jahre waren weltweit die wärmsten seit Beginn der instrumentellen Aufzeichnungen vor ungefähr 130 Jahren.
Wir sind sicher, dass Emissionen, als Folge menschlicher Aktivitäten, zu einem substantiellen Anstieg der atmosphärischen Konzentrationen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW's) und Lachgas (N_2O) führen. Der Anstieg dieser Gase wird den Treibhauseffekt verstärken, was, gemittelt, zu einer zusätzlichen Erwärmung der Erdoberfläche führen wird. Das wichtigste Treibhausgas, der Wasserdampf, wird als Folge der globalen Erwärmung ebenfalls ansteigen und diese verstärken.
So beginnt der IPCC-Bericht von 1990. Er kommt zu dem Urteil, dass
das Ausmass der Erwärmung weitgehend mit den Prognosen von Klimamodellen übereinstimmt. Es ist aber von derselben Grössenordnung, wie die natürliche Variabilität des Klimas. Daher könnte der beobachtete Anstieg weitgehend dieser natürlichen Variabilität zuzuschreiben sein; andererseits könnten diese Variabilität und andere menschliche Einflussfaktoren eine weit grössere durch den Menschen verursachte Treibhauserwärmung kompensiert haben. Der zweifelsfreie Nachweis des verstärkten Treibhauseffektes über Beobachtungen wird kaum vor einer Dekade oder länger zu führen sein.

Obwohl die verstärkte Zunahme der Treibhausgase den menschlichen Aktivitäten zuzuschreiben ist, wissen wir also noch nicht mit Sicherheit, ob der Anstieg der globalen

Mitteltemperatur um 0.45 +/- 0.15 Grad (COUGHLAN und NYENZI, 1991) oder der weltweite Rückgang der meisten kontinentalen Gletscher seit 1860 (HALL et al., 1992) dem verstärkten Treibhauseffekt zuzuschreiben ist. Hier schaffen zur Zeit weder verfeinerte Klimamodelle, noch weltweite Satellitendaten oder andere raffinierte Beobachtunsmethoden endgültige Klarheit. Der Zeitraum ist einfach zu kurz, um den Einfluss des Menschen auf das Klima von dessen natürlicher variabilität durch direkte Beobachtung schon heute zu trennen. Die Wissenschaft, mit einer enormen Herausforderung konfrontiert, braucht aber nicht einfach zuzuwarten, bis sich genügend Daten angesammelt haben. Die Natur archiviert nämlich ihre eigenen Experimente laufend und im Verständnis der Klimaabläufen in der Vergangenheit liegt eine wichtige Möglichkeit, zukünftige Entwicklungen besser abschätzen zu können. Man verfügt heute über eine Vielzahl von Möglichkeiten, Klimainformationen aus natürlichen Archiven zu entziffern. So wird es eher möglich, jene Vorgänge besser zu verstehen, durch die der Mensch natürliche Kreisläufe entscheidend verändert.

Klimaarchive

Wissenschafter, die sich der Erforschung des Paleo-Klimas oder der Klimageschichte verschrieben haben, gleichen nicht selten Detektiven, die einen verzwickten Fall zu lösen haben, bei dem einige bruchstückhafte Indizien so klar zu einem logischen Ablauf zusammengesetzt werden müssen, dass dieser seinerseits einer Urteilsbegründung standhält.

Durch die Aenderung von Klimaparametern wie Temperatur, Niederschlag, Bewölkung und deren jahreszeitlicher Verteilung ändert sich zum Beispiel das Wachstum der

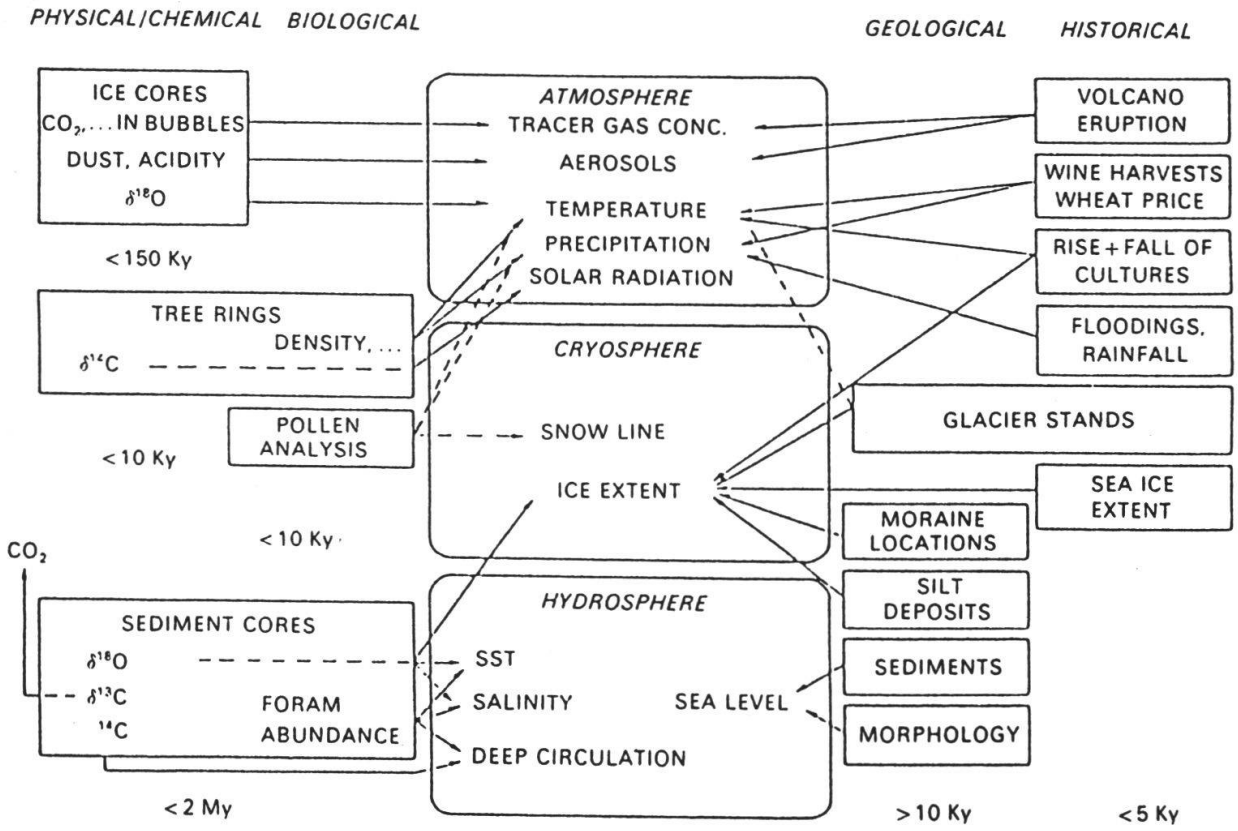

Fig. 6 Zusammenfassende Darstellung der Proxidaten, inklusive der unterschiedlichen Archive, der daraus resultierenden Daten und Beispiele von Schlussfolgerungen, die man aus der Palaeoumwelt davon ziehen kann (STOCKER, 1989)

Bäume, was man an der Dicke und Dichte ihrer Jahresringe erkennen kann. Die Mächtigkeit von Gletschern nimmt im Rhythmus von Klimaschwankungen zu oder ab. Zudem dokumentieren kleine Luftblasen, die in kaltem Eis eingeschlossen sind, den Zustand der Atmosphäre der Vergangenheit. Korallenbänke, schichtenweise abgelagerte Sedimente im Meer oder in Seen, farbenprächtige Kalksinter in Grotten, Torfbänke aber auch Grundwasser: sie alle enhalten eine Fülle von Informationen über Umwelt und Klimabedingungen der Vergangenheit und jedes dieser Archive zeichnet die Daten in spezifischer Weise auf (BRADLEY, 1991).
Solche indirekte Daten aus natürlichen Archiven werden allgemein Proxidaten genannt. Sie in einen direkten und reproduzierbaren Zusammenhang mit instrumentell gemessenen Klimaparametern zu bringen ist eine schwierige Aufgabe. Durch Untersuchungen der physikalischen, chemischen und biologischen Charaktestik der Inhaltsstoffe solcher Archive kommt man dieser Anforderung zum Teil schon recht nahe. (Fig. 6).
Auch aus historischen Archiven lassen sich Klimadaten ableiten. Ob Gemälde, Tagebücher, Steuerprotokolle, Gesetzesvorlagen, Literatur, Architektur, in praktisch allen überlieferten Lebensbereichen des Menschen, finden sich offene und versteckte Hinweise auf die klimatischen Verhältnisse der Vergangenheit. Zudem enthalten solche Archive oft eine absolute Chronologie. Dadurch wird es in manchen Fällen möglich, den Ablauf von Klimaschwankungen zeitlich besser einzuordnen, was wiederum für das Verständnis der Dynamik solcher Ereignisse grundlegend ist. Die sehr naturnahen Gemälde des Oberen und Unteren Grindelwald-Gletschers sind so zu einem wichtigen Hilfsmittel der Klimaforschung geworden. Durch die Zusammenarbeit von Kunstgeschichte und Naturwissenschaft wurde es möglich, die geomorphologischen Spuren der wechselnden Vorstösse und Rückzüge dieser Gletscher und ihre damit verbundenen klimatischen Implikationen exakt zu datieren.

Aus den vielen Möglichkeiten, das Klima der Vergangenheit zu rekonstruieren, hat ein Beispiel Schlagzeilen gemacht, weil es im Zusammenhang mit dem Kohlendioxid-Anstieg in der Atmosphäre zum Kronzeugen für den Eingriff des Menschen in das natürliche Klimasystem geworden ist. Es handelt sich um die Klima- und Umweltinformationen, die in kaltem Gletschereis gespeichert sind.

Beweise aus der Vergangenheit

Als die berühmte Messreihe von Mauna Loa, die den CO2 Anstieg seit 1958 in der Atmosphäre so unbestechlich dokumentiert (Fig.7), zum ersten Mal in einer breiteren Oeffentlichkeit mit den Konsequenzen diskutiert wurde, die sich daraus für das Klima, aber auch die Umwelt- und Energiepolitik ergeben würden, kamen sofort Zweifel auf. Zweifel nicht an den Messungen, die in der Folge durch ähnliche Datenreihen an anderen Orten nur bestätigt wurden, sondern Zweifel an der Ursache. Könnte es nicht eine zufällige Laune der Natur sein, eine von vielen Schwankungen, die in dieser Grössenordnung in der Vergangenheit schon öfter vorgekommen waren, deren Ursache und Auswirkung aber nicht erforscht und damit auch nicht bekannt waren? Hier boten sich die polaren Eischilder als einigartige Informationsquelle an, weil in diesen zum Teil mehrere hunderttausend Jahre alten Eisschichten neben chemischen und mineralischen Spurenstoffen auch winzige Luftblasen enthalten sind, in denen die Atmosphäre der Vergangenheit eingeschlossen ist. Die Wissenschaft, die sich mit der Interpretation von Daten aus Eisbohrkernen beschäftigt, nahm die Herausforderung an, entwickelte neue Extraktions- und Analysemethoden und erbohrte neue Eiskerne in der Antaktis und in Grönland, um die Ergebnisse breiter abstützen zu können. An der Durchbohrung des grönländischen Eisschildes an seiner dicksten Stelle, die im vorigem Jahr

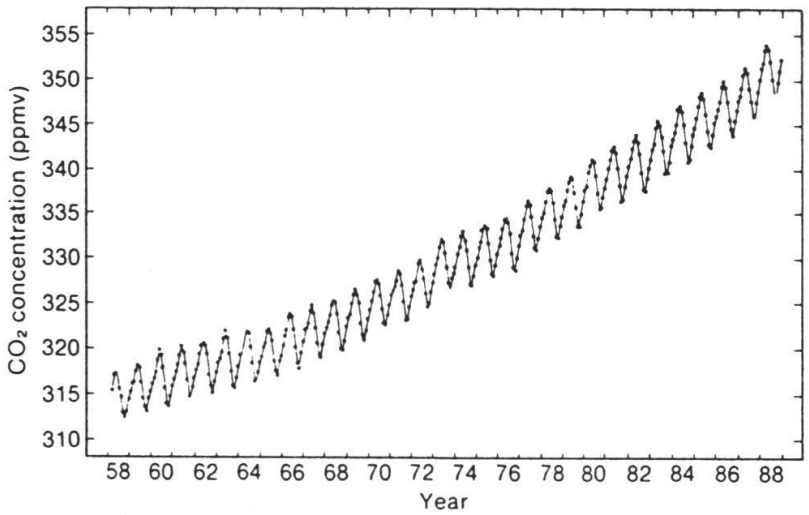

Fig. 7
Die CO_2 Messreihe von Mauna Loa (IPCC, 1990)

erfolgreich abgeschlossen wurde, waren schweizer Wissenschafter und Techniker entscheidend mitbeteiligt. Sie lieferten auch wesentliche Beiträge dafür, dass es heute nicht nur möglich ist, die Konzentration der Spurengase in der Paleo-Atmosphäre zu messen, sondern auch noch die Isotopenverhältnisse an diesen Gasen zu bestimmen. An der Auswertung des drei Kilometer langen Bohrkern, dessen zeitliche Informationen über 200.000 Jahre zurückreichen wird derzeit intensiv gearbeitet. Es lässt sich jetzt schon sagen, dass allein die bisherigen Ergebnisse unser Verständnis von den Mechanismen, der Dynamik und den Auswirkungen natürlicher Klimaabläufe revolutionieren. In Details zu gehen, würde diesen Rahmen sprengen, aber einige wichtige Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Konzentrationen der Treibhausgase Kohlendioxid und Methan in der Atmosphäre waren im Holozän weitgehend konstant und stiegen erst mit dem Beginn der verstärk-

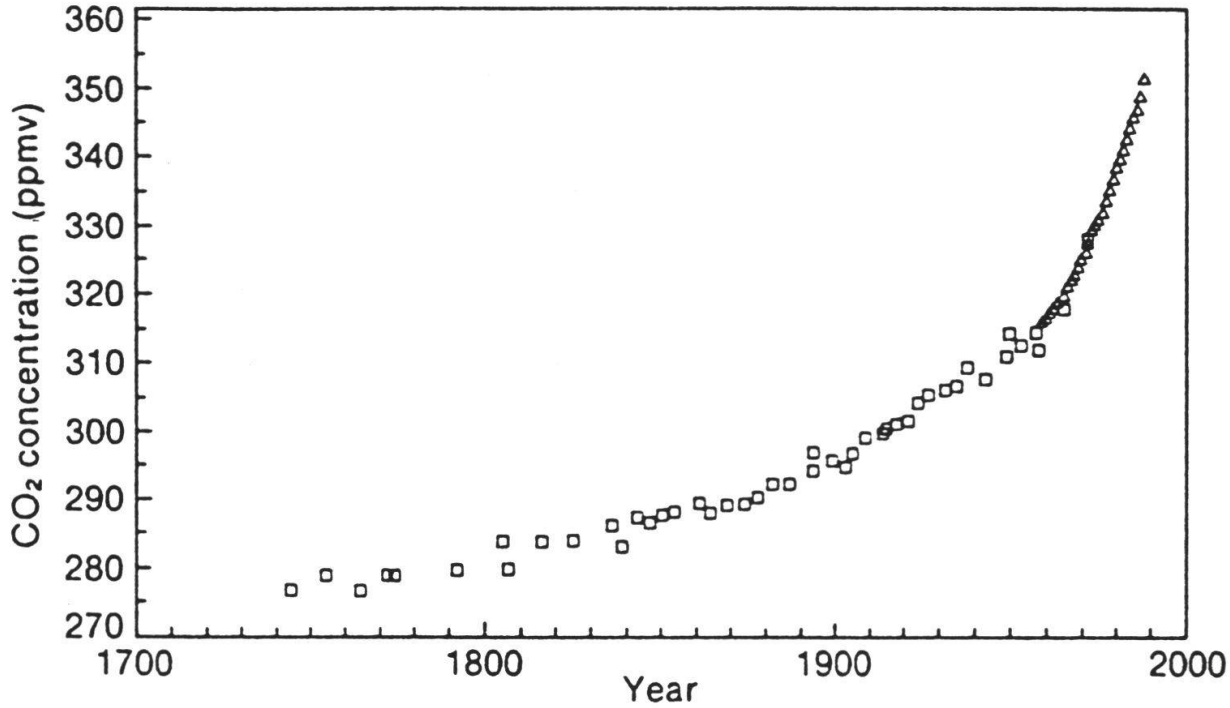

Fig. 8 Verlauf der atmosphärischen CO_2-Konzentrationen seit 1750 (IPCC, 1990; Datenangaben für Eisbohrkern-Messungen (Vierecke) von NEFTEL et al. (1985) und von FRIEDLI u.a. (1986) und für direkt atmosphärische Messungen (Dreiecke) von KEELING et al. (1989))

ten industriellen Tätigkeit des Menschen stark an. Der Verlauf der in den Eisbohrkernen gemessenen CO_2-Konzentration findet seine nahtlose Fortsetzung in den direkten atmosphärischen Messungen. (Fig. 8). Allein daraus muss man annehmen, dass beispielsweise der CO_2 von 280 ppm auf heute über 350 ppm in kaum eine kurzfristige Laune der Natur ist. Wenn wir diese Entwicklung weiter in die Vergangenheit zurückverfolgen, wird dies auf eindrückliche Weise bestätigt.

Die dramatischsten Ereignisse der jüngeren geologischen Geschichte der Erde mit den zyklischen Vorstössen und Rückzügen von riesigen Eisschildern über Landmassen auf der Nordhalbkugel im Rhythmus von etwa 100'000 Jahren können jetzt wesentlich besser aufgelöst werden. Die langen Eisbohrkerne von Grönland und Antarktis überstreichen mit ihrer zeitlichen Auflösung zumindest eineinhalb Glazialzyklen. Aus den Analysen geht hervor, dass die wichtigen Treibhausgase Kohlendioxid und Methan während dieser Zeit im Rhythmus der Temperatur geschwankt haben (Fig. 9). Verantwortlich für diese Schwankungen sind sowohl Aenderungen im Verhalten der Biosphäre wie auch Umstellungen in der Ozeanzirkulation. Obwohl die Auslöser für das Entstehen und Vergehen von Eiszeiten primär in periodischen Aenderungen der Erdbahnparameter und damit als Folge in Aenderungen der eingestrahlten Sonnenenergie zu suchen sind, können nach neuesten Abschätzungen die erwähnten Schwankungen der CO_2 und CH_4 — Konzentrationen bis zur Hälfte des Antriebs von einem

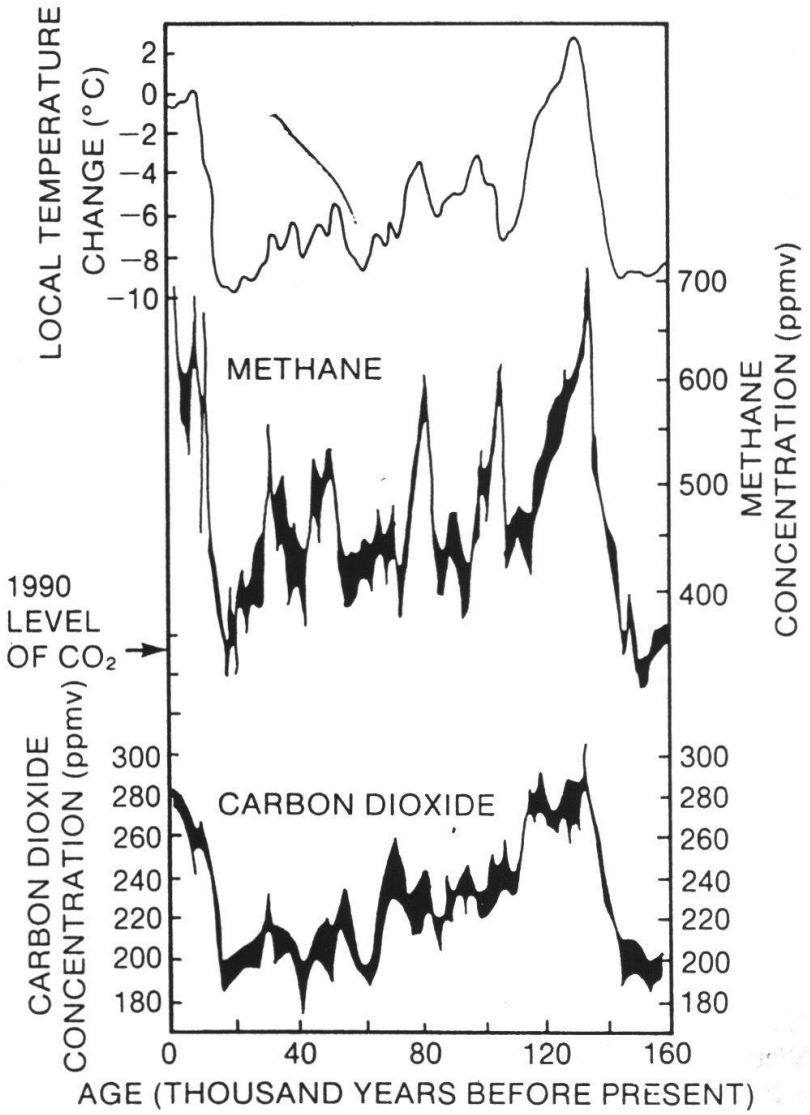

Fig. 9
Atmosphärischer Konzentrationsverlauf von CO_2 und CH_4 im Vergleich mit der Temperatur in der Antarktis während der letzten 160.000 Jahre. (IPCC 1990 nach BARNOLA et. al.)

Glazialzyklus übernehmen (Lorius et al., 1992). Festgehalten in der Figur 9 ist ebenfalls das heutige CO_2 Niveau. Obwohl in der letzten Zwischeneiszeit vor etwa 130.000 Jahren die Temperaturen etwas höher lagen als heute, war der CO_2 Pegel damals niedriger. Diese scheinbare Diskrepanz muss eher beunruhigen als erleichtern: Atmosphäre und Ozean sind über den Energieaustausch ein gekoppeltes System, wobei der Ozean vergleichbar einem Kachelofen auf eine Erwärmung wesentlich träger, aber auch nachhaltiger reagiert. Ein Teil der Erwärmung als Folge der heutigen Treibhausgas — Konzentrationen ist möglicherweise dadurch vorübergehend verdeckt. Ausserdem könnte eine natürliche Abkühlungsphase kompensierend wirken, um dann nach ihren Abklingen die Temperaturen nur umso stärker hochschnellen zu lassen. Die eingangs erwähnte aussergewöhnlich starke Erwärmung der 80-er Jahre zeigt, dass solche Sprünge tatsächlich stattfinden, über ihre Ursache wissen wir allerdings noch zu wenig.

Wiederum aus Daten von Eiskernen wissen wir, dass solche Flip-Flop's im Klimasystem der Vergangenheit nicht nur häufig, sondern manchmal auch sehr schnell aufgetreten sind. Ein in letzter Zeit viel diskutiertes Beispiel soll dies demonstrieren:

Am Ende der letzten Eiszeit, während der allgemeinen Erwärmung gab es einen einen Klimasturz, das sogennannte Kaltereignis der Jüngere Dryas. Die Temperaturen sanken in weiten Teilen Europas um 6 - 7 Grad, die Ursache lag in einer Störung der Zirkulation im Nordatlantik, der Wetterküche Europas. Das Ereignis mit seinen Folgen für die Umwelt ist auch in Seesedimenten der Schweiz deutlich nachgewiesen und in der wissenschaftlichen Literatur ausführlich beschrieben worden (BROECKER, 1987, 1990, 1992). Uns interessiert in diesem Zusammenhang die Dynamik der Erwärmung am Ende der Störung wie sie aus den Isotopendaten eines Eiskernes aus Grönland in Figur (10) abgelesen werden kann (DANSGAARD et al., 1989). Es ist der Abschnitt zwischen 1784 m und 1788 m Tiefe hervorgehoben, der das Ende der Jüngeren Dryas beinhaltet. Nach den Sauerstoff-18 Werten (Abschnitt f der Figur), die ein indirektes Mass für die Temperaturverhältnissen sind, war die Erwärmung um etwa 7 Grad innerhalb von etwa 50 Jahren beendet. Die Information aus den Eisbohrkernen ist aber noch viel weitreichender. Das Verhältnis der beiden stabilen Isotope Sauerstoff-18 (^{18}O) und Deuterium (D) zueinander lässt sich durch die Beziehung:

$$\delta D = 8\delta^{18}O + d$$

ausdrücken. Der Wert d, auch Deuterium-Exzess genannt, wird unter anderem dadurch bestimmt, welche Umgebungsbedingungen in dem Gebiet vorherrschen, aus dem die Feuchtigkeit stammt. Die Feuchtigkeitsquelle der höher gelegenen Gebiete Grönlands sowohl heute wie auch unter eiszeitlichen Bedingungen liegt im subtropischen Teil des Nordatlantik. Der Abfall des d-Wertes auf 5 Promille in Abschnitt e wird dahingehend interpretiert, dass durch den Rückzug der Polarfront das Meereis schmolz und dieser kühlere Teil des Nordatlantik vorübergehend zur dominierenden Feuchtigkeitsquelle wurde. Die Umstellung der Zirkulation erfolgte nach den Eiskern-Daten in nur 20 Jahren. Bis sich der relativ stabile Exzess-Wert von 8 Promille wieder einstellte und damit die Rückkehr zum alten Zirkulationsmuster vollzogen wurde, dauerte es sehr viel länger. Erhärtet wird diese Ueberlegung durch den zusätzlich im Eis gemessenen Staubgehalt, der in ebenfalls nur 20 Jahren um einen Faktor drei abnahm. Auch dies kann mit dem Rückzug der Polarfront erklärt werden: Durch den sich öffnenden Wassergürtel zwischen tropischen und polaren Wassertemperaturen wurde der breitenabhängige Temperaturgradient schwächer, die Heftigkeit der Stürme nahm ab und damit auch die mittlere Staubbelastung in Grönland.

An einem solchen Beispiel lässt sich lernen, wie instabil atmosphärische Zirkulationsmuster und damit gewohnte Wetterabläufe werden können, wenn sich etwas an den Ozeanströmungen ändert. Nach den ersten Ergebnissen von dem neuen Eisbohrkern

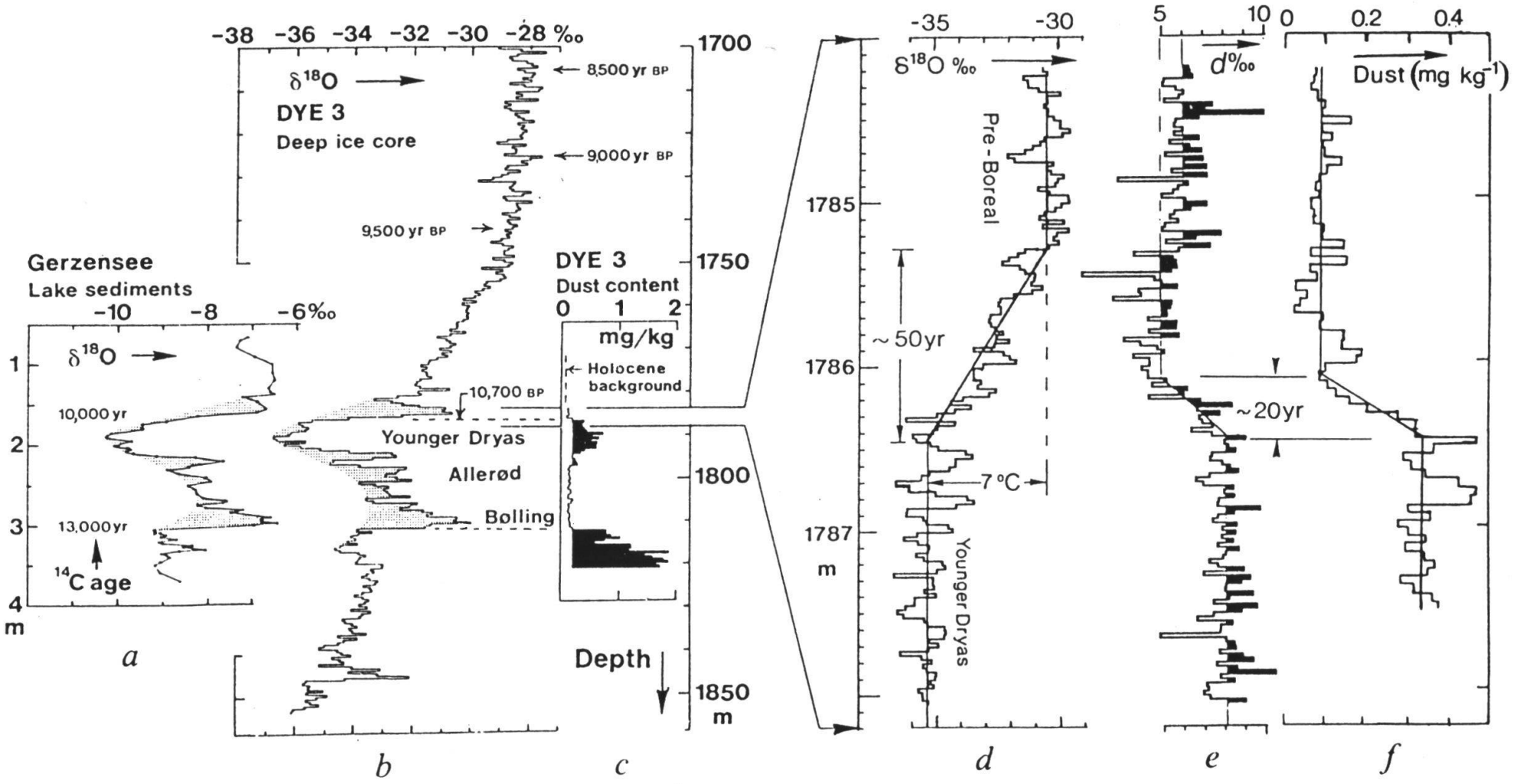

Fig. 10 Messungen von Isotopen und Staub dokumentieren das Ende der Jüngeren Dryas. (Aus DANSGAARG 1989)

aus Grönland (JOHNSEN et al., 1992) scheint die Zirkulation gerade des Nordatlantik sehr instabil gewesen zu sein. Ist sein vergleichsweise dazu offensichtlich ruhiges Verhalten im Holozän eine für uns aussergewöhnliche günstige Periode, die durch den zusätzlichen Treibhauseffekt gefährdet ist? Wir wissen es noch nicht, aber dieses Nichtwissen kann nicht beruhigen. Zu sehr sind unsere sozioökonomischen Verhältnisse auf einigermassen vorhersagbare Witterungsbedingungen abgestellt. Die drei aufeinanderfolgenden schneearmen Winter der jüngsten Vergangenheit waren möglicherweise nur ein kleiner Vorgeschmack dessen, was uns an Ueberraschungen noch bevorsteht.

Die Prognosen des IPCC

Sie verschaffen in diesem Zusammenhang auch keine Klarheit, weil im Bericht von 1990 ausdrücklich betont wird, dass regionale Voraussagen, abgeleitet aus den globalen Modellprognosen, zur Zeit noch sehr wenig konkrete Aussagekraft besitzen. Um die Fähigkeit der Vorhersage zu verbessern, benötigt man:

- *ein besseres Verständnis klimabezogener Prozesse, insbesondere solcher in Verbindung mit den Wolken, dem Ozean und dem Kohlenstoffkreislauf*
- *eine Verbesserung der systematischen Beobachtung klimabezogener Variabler auf globaler Basis und weitere Untersuchungen von Veränderungen, die sich in der Vergangenheit abgespielt haben, vor allem aber*
- *die Entwicklung verbesserter Modelle des Klimasystems der Erde.*

Die heute auwendigsten Computermodelle beschreiben nämlich im wesentlichen die physikalischen Aspekte eines gekoppelten Atmosphäre — Ozean Systems, wobei wichtige Prozesse wie die Wolkenbildung aber auch Kopplungsmechanismen mit der Biosphäre parametrisiert werden müssen. Basierend auf den heutigen Modellresultaten sagt der erwähnte Bericht voraus,

- dass nach den IPCC Business-as-Usual Emissionen von Treibhausgasen (Das *wäre im wesentlichen das Szenario wenn wir so weiter machen wie bisher—) die Anstiegsrate der mittleren globalen Temperatur während des nächsten Jahrhunderts ungefähr 0,3 °C pro Jahrzehnt (mit einem Unsicherheitsbereich von 0,2 °C bis 0,5 °C pro Jahrzehnt) betragen wird, was mehr ist als diejenige, die über die letzten 10'000 Jahre beobachtet wurde. Dies wird zu einem wahrscheinlichen Anstieg der mittleren globalen Temperatur von ungefähr 1 °C über dem heutigen Wert im Jahr 2025 und 3 °C vor dem Ende des nächstens Jahrhunderts. Wegen des Einflusses anderer Faktoren wird dieser Anstieg nicht gleichmässig erfolgen.*

Der in diesem Zusammenhang immer wieder erwähnte Anstieg des Meeresspiegels musste sich in den Prognosen schon mehrfach Korrekturen gefallen lassen, die andeuten, wie schwierig Vorhersagen in komplexen Systemen sind. Der Anstieg wird in erster Linie durch das Schmelzen kontinentaler Gletscher und Polareisschilder sowie die Ausdehnung des Wassers bei der Erwärmung bestimmt. Dies lässt den Meeresspiegel in Zukunft voraussichtlich um durchschnittlich 6 cm pro Jahrzehnt ansteigen. Damit wäre er im Jahre 2100 rund 65 cm höher als heute. Nur spielt die Niederschlagsverteilung dabei auch eine Rolle. Vermehrte Niederschläge in den Polargebieten könnten auch einen Zuwachs der Eiskappen zur Folge haben und damit im Extremfall sogar eine Absenkung des Meeresspiegels (ZWALLY, 1989).

Szenarien

Das IPCC hat die Klimaveränderungen bis zum Jahr 2030 für fünf Regionen der Erde abgeschätzt. Sie umfassen neben den zentralen Gebieten Nordamerikas, wo die Korn-

kammern möglicherweise austrockenen werden, auch das südliche und mittlere Europa mit dem Alpenbogen. Dazu heisst es:

Die Erwärmung beträgt ungefähr 2 Grad im Winter und 2-3 Grad im Sommer. Möglicherweise gibt es etwas mehr Niederschlag im Winter, aber dafür um 5-15 Prozent weniger im Sommer, wo auch die Bodenfeuchte um 15-25 Prozent sinkt.

Das klingt alles nicht besonders dramatisch, aber die unangenehmen Ueberraschungen stecken im Detail. In der Schweiz wurden bald nach dem Bekanntwerden dieser Zahlen Szenarien entworfen, denen man Wirklichkeitscharakter nicht absprechen kann (VISCHER 1990). Eine mittlere Erwärmung um 3 Grad, mit der im nächsten Jahrhundert durchaus gerechnet werden kann, hätte für den Alpenraum unter anderem folgende Konsequenzen:
Die Schneegrenze steigt um etwa 300 Meter. Die Gletscher in den Ostalpen schrumpfen auf ungefähr zehn Prozent ihrer gegenwärtigen Fläche, die der Schweiz auf ein Viertel. Der heute noch weit verbreitete Permafrost, der in den höher gelegenen Gebieten der Alpen grosse Hangschuttmassen bindet, taut auf. Die Wahrscheinlichkeit grossflächiger Sackungen und Rutschungen erhöht sich dadurch. In Verbindung mit Niederschlägen führt dies wiederum zu einem erhöhten Murgangrisiko. Veränderungen im Wasserhaushalt wie der jahreszeitlichen Verteilung von Schnee und Regen und im Abflussverhalten erschweren die Planung der Energiegewinnung aus Wasserkraft. Durch die zusätzlich reduzierte Bodenfeuchtigkeit im Sommer ändern sich die Erneuerung des Grundwassers. Vegetation, die sich den geänderten Verhältnissen nicht schnell genug anpassen kann, stirbt aus.
Aus diesen wenigen Beispielen lassen sich unzählige Wechselwirkungen mit weiteren Konsequenzen ableiten, die das Bild noch komplexer machen. Dazu kommt, dass eine Aenderung des Klimas im regionalen und lokalen Bereich zuallererst bedeutet, dass die Häufigkeit typischer Grosswetterlagen ändert, neue, bisher unbekannte Zustände entstehen oder beides zusammen eintrifft. Bei Umstellungen der atmosphärischen Zirkulation müssen wir mit starken Schwankungen und veränderten Extremwerten rechnen. Dass allerdings solche Vorstellungen alleine ausreichen, um beim Menschen Umstellungen zu bewirken, muss zumindest bezweifelt werden. Was über unsere unmittelbare Wahrnehmung hinausgeht, bewegt uns meist nicht so stark, dass dies aktives Handeln zur Folge hätte. Die Einsicht von Industrie und Wirtschaft, dass letztlich das Klima- und Umweltsytem stärker ist als jedes Wirtschaftssystem aber auch internationaler politischer Wille müssen gemeinsam mit dem Einzelnen versuchen, den bedrohlichen Konflikt Mensch — Natur zu lösen.

Der Klimawandel und die internationale Umweltpolitik

Von der Wissenschaft kamen schon Ende der 50-er Jahre die ersten Warnungen vor einer Klimaänderung durch den Menschen, aber erst an der 1. Weltklimakonferenz 1979 in Genf wurde ein globaler Klimawandel als ernstzunehmendes Problem anerkannt. An der Konferenz wurde eine Deklaration veröffentlicht, welche von den Regierungen weltweit Aktionen für deren Anerkennung und Schritte zur Vermeidung von möglichen menschenverursachten Klimaveränderungen verlangte. Die Zahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu diesem Thema nahm in der Folge sprunghaft zu. Neun Jahre danach, im Vorfeld der 2. Weltklima-Konferenz beriefen die weltweite Organisation der Meteorologischen Anstalten, die WMO, und das Umweltprogramm der Vereinten Nationen, das UNEP, ein internationales Wissenschaftsgremium ein: das IPCC. Dieses Intergovernemental Panel on Climate Change nahm 1988 mit mehr als

400 Wissenschaftern aus der ganzen Welt die Arbeit auf. Man wollte die Frage einer Klimaänderung und deren Auswirkung nach anerkannten Kriterien wissenschaftlich beurteilen, sowie Vorschläge für Massnahmen ausarbeiten. Die ersten Ergebnisse wurden 1990 im Rahmen der 2. Weltklimakonferenz in Genf veröffentlicht (IPCC, 1990).

Diese 2. Weltklimakonferenz war eine wichtiger Schritt in Richtung von Verhandlungen für ein weltweites Klimaabkommen. Die mehr als 700 wissenschaftlichen Teilnehmer beurteilten das Ergebnis des IPCC und gaben eine Erklärung ab, wonach der Eingriff des Menschen in das globale Klima wissenschaftlich nicht mehr bezweifelt wird und deshalb unverzüglich wirksame Massnahmen zur Verminderung der Emission von Treibhausgase zu ergreifen seien. Am 2. Teil der Konferenz nahmen 137 Regierungschefs und Minister teil. Sie verlangten unter anderem in ihrer Deklaration die Ausarbeitung eines Abkommens über den Klimawandel — einschliesslich bindender Verpflichtungen — welche an der UN — Konferenz über Umwelt und Entwicklung, der UNCED, im Juni 1992 in Rio de Janeiro angenommen werden sollten.

Die Kritik

An dieser zweiten Konferenz in Genf kam zum ersten Mal klar zum Ausdruck, dass die Reduktion der CO_2 Emissionen der eigentliche Stolperstein auf dem Weg zu einer Realisierung aller Verhandlungen sein würde. Die amerikanische Delegation wehrte sich vehement gegen alle Versuche vor allem der Europäer, das CO_2 Problem als vorrangig zu betrachten. Angst vor wirtschaftlichen Auswirkungen und energiepolitischen Massnahmen standen im Vordergrund. In den Vordergrund wurden in der Folge auch Studien von zum Teil anerkannten Wissenschaftern geschoben, die mit vordergründigen Argumenten Zweifel auf den Konsens ihrer Kollegen vom IPCC lenken sollten. An dieser Stelle muss man klar festhalten, was manchem Aussenstehenden gar nicht klar ist: Wissenschaft lebt vom Zweifel, der Neugier und dem Ehrgeiz des Wissenschafters, als erster die Schwachstelle in einem perfekten Gedankengebäude gefunden zu haben. Die Wissenschafter des IPCC sehen sich wahrscheinlich zum ersten Mal in so umfassender Weise mit der Herausforderung konfrontiert, in einer die Existenz der Menschheit bedrohenden Frage einen Konsens in der Beurteilung zu finden. Sie müssen sich darüberhinaus auch in einer Art und Weise ausdrücken, dass politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger verstehen und handeln können. Zusätzlich sollte auch die Oeffentlichkeit die wichtigsten Argumente von diesem Konsens soweit verstehen, dass einschneidende Massnahmen in der Folge akzeptiert würden. Jedem ist klar, dass in der Uebertragungskette auf verschiedene Verständigungsebenen auch die Möglichkeit liegt, unbequeme Aussagen zu relativieren.

Die Zusammenfassung des über 300 Seiten starken wissenschaftlichen Berichts für die Entscheidungsträger, vorgenommen von den Wissenschaftern selbst, trifft beispielsweise der Vorwurf einer von Interessen geprägten Vereinfachung . Er kommt von einem Science and Environmental Policy Project aus Washington (SINGER,1992), dem einige bekannte amerikanische Wissenschafter angehören. Sie kritisieren den Schritt der Vereinfachung und behaupten, dass den Politikern auf diese Weise wirtschaftsfeindliche Aussagen zugespielt würden, die mit den Aussagen des Originalberichts nicht viel zu tun hätten. Die Autoren der Kritik sind in einem Institut beheimatet, das nach eigener Aussage die Wechselwirkung von wissenschaftlichen Daten und staatlicher Umweltpolitik in Amerika untersucht. Ob sich zwischen solchen Untersuchungen und der offziellen amerikanischen Haltung der Administration Bush bei den Klimaverhandlungen zwischen Genf und Rio auch Wechselwirkungen ergeben haben, ist zumindest denkbar.

Eine andere Kritik trifft die Glaubwürdigkeit der Gasmessungen aus Eisbohrkernen (JAWOROWSKI et al.,1990, MARSHAL INSTITUTE 1992) .Die wissenschaftliche Offenheit, mit der in der einschlägigen Literatur über die anfänglichen Schwierigkeiten bei den ersten Versuchen berichtet wurde, wird zur Fragwürdigkeit einer ehrlichen Aussage verkehrt. Auf neue Literatur, die diese ersten Untersuchungen in allen wesentlichen Aussagen breit abstützen, wird in der Kritik aber nicht mehr eingegangen. Dass die CO^2 Schwankungen in der Eiszeit in einem kausal erklärbaren Zusammenhang mit vielen anderen Klimaparametern stehen, lassen sie wohl nur mit Absicht als Artefakt mit zufälliger Uebereinstimmung gelten.

Das Abkommen über den Klimawandel

130 Länder, darunter die Schweiz, unterschrieben Juni 1992 anlässlich der UNO-Konferenz über Umwelt und Entwicklung in Rio de Janiero ein Abkommen zum Schutz der Erdatmosphäre. Bis zum 20. April 1993 hatten 18 Länder das Uebereinkommen ratifiziert. Es tritt nach der Hinterlegung der 50. Ratifizierungsurkunde in Kraft. Die Botschaft zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen wurde von Bundesrat und von Parlament am 31. März 1993 gutgeheissen. Das Uebereinkommen wird während der Juni-Session des Ständerates und in Folge voraussichlich während der September-Session der Nationalrates verabschiedet, damit die Ratifizierungsurkunde bis Ende 1993 eingereicht werden kann. Alle Vertragsparteien verpflichten sich unter anderem:

nationale Verzeichnisse der anthropogenen Emissionen aus Quellen sowie des Abbaus solcher Gase durch Senken mittels vergleichbarer Methoden zu erstellen, regelmässig zu aktualisieen und der Vertragsparteienkonferenz zur Verfügung zu stellen;

nationale und gegebenenfalls regionale Programme zu erarbeiten, umsetzen und zu veröffentlichen;

die Entwicklung, Anwendung und Verbreitung — einschliesslich der Weitergabe — von Technologien, Methoden und Verfahren zur Bekämpfung, Verringerung oder Verhinderung anthropogener Emissionen in allen wichtigen Bereichen, namentlich Energie, Verkehr, Industrie, Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Abfallwirtschaft zu fördern und dabei zusammenzuarbeiten;

die nachhaltige Bewirtschaftung sowie die Erhaltung und gegebenenfalls Verbesserung von Senken und Speichern der Treibhausgase zu fördern;

bei der Vorbereitung auf die Anpassung an die Auswirkungen der Klimaänderungen zusammenzuarbeiten und angemessene integrierte Pläne für die Bewirtschaftung von sensiblen Gebieten oder Oekosystemen auszuarbeiten;

den umfasenden Austausch einschlägiger Informationen über das Klimasystem und die Klimaänderungen sowie über die wirtschaftlichen und sozialen Folgen verschiedener Bewältigungsstrategien zu fördern.

Ferner sollen die Industrie — und gewisse andere entwickelte Länder

nationale Politiken beschliessen und entsprechende Massnahmen zur Abschwächung der Klimaänderungen ergreifen, indem sie ihre anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen begrenzen und ihre Treibhausgassenken und -speicher schützen oder erweitern;

innerhalb von sechs Monaten nach Inkrafttreten des Uebereinkommens und danach in regelmässigen Abständen ausführliche Angaben über ihre Politiken und Massnahmen

sowie über ihre sich daraus ergebenden voraussichtlichen anthropogenen Emissionen für den Zeitraum bis zum Jahr 2000 übermitteln mit dem Ziel, die anthropogenen Emissionen von Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen auf das Niveau von 1990 zurückzuschrauben;

neue und zusätzliche finanzielle Mittel bereitstellen, um die vereinbarten vollen Kosten zu tragen, die den Entwicklungsländern bei der Erfüllung ihrer Verpflichtungen entstehen;

die für die nachteiligne Auswirkungen der Klimaänderungen besonders anfälligen Entwicklungsländer dabei unterstützen, die durch die Anpassung an diese Auswirkungen entstehenden Kosten zu tragen;

alle möglichen Massnahmen ergreifen, um die Weitergabe von umweltverträglichen Technologien und Know-how an andere Vertragsparteien oder den Zugang dazu zu fördern, zu erleichtern und zu finanzieren; dabei unterstützen die eintwickelten Länder die Entwicklung und Stärkung der im Land vorhandenen Fähigkeiten und Technologien der Entwicklungsländer.

Da diese Konvention die Vertragsparteien zu keinem festen Termin für die Stabilisierung der CO_2-Emissionen verpflichtet, setzt sich die Schweiz für eine schnelle Umsetzung der Abkommens -Empfehlungen in Aktionen in Altionen auf nationaler und internationaler Ebenen ein. Voraussetzungen für den administrativen Ablauf sind ein verantwortliches Sekretariat, dessen Sitz nach New York vergeben wurde, sowie zielstrebige Verhandlungen der Vertragsparteien über ein CO_2-Protokoll.

Schweizer Politik im Klimabereich

An der 2. Weltklimakonferenz befürwortete die Schweiz die Empfehlung, wonach die Industriestaaten ihre CO_2 Emissionen bis zum Jahr 2000 auf dem Niveau von 1990 stabilisieren sollten. In den zwei Jahren danach hat sich die Schweiz erfolglos dafür eingesetzt, dieses Ziel für die Industriestaaten auch verpflichtend zu machen. An der UNCED-Konferenz in Rio de Janeiro fanden dann zumindest die Schweiz, Oesterreich und Liechtenstein zu einer gemeinsamen Deklaration, die das oben genannte Ziel festschreibt. Um dies zu erreichen, hat die Schweiz 1989 einen ersten Schritte mit der Gründung einer interdepartementalen Arbeitsgruppe, der Groupe Interdepartementale sur l'Evolution du Système Climat GIESC, getan. Die Gruppe hat 1992 einen Bericht dem Bundesrat geliefert. Darin befasst man sich ebenfalls mit dem Stand der wissenschaftlichen Kenntnisse und den weltweiten sowie auch schweizerischen Emissionen der Treibhausgase. Er enhält darüber hinaus mögliche Elemente einer schweizerischen Strategie zur Verminderung dieser Emissionen. Da die Energienutzung in unserem Land ebenfalls den stärksten Anteil daran hat, ist eine Stabilisierung der CO_2-Emissionen ist im nationalen Programm «Energie 2000» zum wichtigen Ziel erklärt worden (BEW, 1991). Es soll durch vermehrte Nutzung der Wasserkraft und anderer erneuerbarer Energien sowie durch eine Steigerung der Kapazitätt bestehender Kernkraftwerke erreicht werden (BEW, 1991).

Ausschlaggebend dürfte hier letztlich das Verhalten des Konsumenten sein, dessen Sparwille und Energiehunger noch immer weit auseinanderklaffen. Gerade im geänderten Konsumverhalten der Industriestaaten liegt aber ein wichtiger Vorbildeffekt für die übrige Welt. Sollte eine Stabilisierung bei uns erreicht werden, so ist dies bezogen auf den verstärkten Treibhauseffekt nur ein kleiner Schritt, dem viel grössere folgen müssen. Auch bei einer Stabilisierung der Emissionen steigen die CO_2 Konzentrationen in der Atmosphäre weiter. Das Ziel dieser Stabilisierung könnte nur durch eine

sofortige Reduktion der weltweiten Emissionen um mehr als 60 Prozent erreicht werden. Dies ist gemessen an unseren heutigen Möglichkeiten in der geforderten kurzen Zeitspanne nicht machbar. Das Endziel des Uwbereinkommens über die Klimaänderung ist es, die Stabikisierung der Treibhausgas — Konzentrationen in der Atmolphäre auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems möglichst verhindert wird. En solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraums ereicht werden können, der ausreicht, damit sich die Oekosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelproduktion nicht bedroht wird und die wirtschafliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann.

Wie weiter?

Das wissenschaftliche Ziel ist klar. Es ist darauf ausgerichtet, Lücken im Wissen um wichtige Zusammenhänge im Klimasystem so schnell als möglich zu schliessen. Der IPCC Bericht wurde 1992 ergänzt. Ganz allgemein lässt sich sagen, dass die wissenschaftlichen Erkenntnisse die Ergebnisse von 1990 in deren grundsätzlichen Aussagen weder verstärken noch in Frage stellen. In Anbetracht der der komplexen Abläufe im Klimasystem, die durch die gegenseitige Beeinflussung von Prozessen mit unterschiedlichsten Zeitkonstanten charakterisiert sind, war dies auch nicht zu erwarten. Von den weltweiten Klimabeobachtungen wurden die folgenden Punkte hervorgehoben:

Die anormal hohen globalen Mittlel der Oberflächentemperaturen wurden auch 1990 und 1991 beobachtet, wobei die Erwärmung über weiten Teilen der nördlichen kontinentalen Hemisphäre in den mittleren Breiten bei den nächtllichen Tiefstwerten festgesellt wurde. Aus Radiosonden-Daten geht weiter hervor, dass sich in den letzten Dekaden auch die untere Troposphäre erwärmt hat. Die Unterschiede in den Dekadentrends der Lufttemperatur zwischen Satellitendaten und bodengestützten Daten sind dabei nicht relevant: sie erwiesen sich als statistisch nicht unterscheidbar. Es wird erwartet, dass der Ausbruch des Pinatubo von 1991 zu einer vorübergehenden Erwärmung der Stratosphäre führen wird, möglicherweise begleitet von einer Abkühlung der Troposphäre während der nächsten paar Jahre.

Statistisch signifikante Trends von bestimmten Wettereigenschaften, wie beispielsweise der Sturmhäufigkeit konnten keine festgestellt werden.

Eine weitere wissenschaftliche Beurteilung der Lage ist für Ende 1994 /Anfang 1995 vorgesehen. Ob vertieftes Wissen verstärktes Handeln zur Folge haben wird, bleibt weiterhin abzuwarten.

Literatur

BEW (Schweizerisches Bundesamt für Energiewirtschaft), 1991: Aktionsprogramm «Energie 2000»

BRADLEY, R.S. (ed.), 1991: Global Changes of the Past. Office for Interdisciplinary Earth Studies, Boulder, 514 pp.

BROECKER, W.S., 1992: The great ocean conveyor. Oceanography 4(2):79-89.

BROECKER, W. S., DENTON, G. H.: Die Ursachen der Vereisungszyklen. Spektrum der Wissenschaft, 3 / 1990.

BROECKER, W.S., 1987: The biggest chill. Nat. Hist. Mag., 97:74-82.

BROECKER, W.S., 1985: How to Build a Habitable Planet. Eldigio Press, Palisades, 291 pp.

COUGHLAN, M., and B.S. NYENZI, 1991: Climate trends and variability. In J. Jäger and H.L. Ferguson (eds.): Climate Change: Science, Impacts and Policy (Proceedings of the Second World Climate Conference), Cambridge Univ. Press, Cambridge, 578 pp.

DANSGAARD, W., WHITE, J. W. C. JOHNSEN, S. J.: The abrupt termination of the Younger Dryas climate event. Nature. Vol. 339, 1989.

FRIEDLI, H., H. LOETSCHER, H. OESCHGER, U. SIEGENTHALER, and B. STAUFFER, 1986: Ice core record of the $^{13}C/^{12}C$ record of atmospheric CO_2 in the past two centuries. Nature 324:237-238.

HALL, D.K., R.S. WILLIAMS, Jr., und K.J. Bayr, 1992: Glacier Recession in Iceland and Austria. EOS 73(12):129-141.

HOUGHTON, J. (ed.), 1984: The Global Climate. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 233 pp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1990: Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. J.T. Houghton u.a. (eds.), Cambridge Univ. Press, Cambridge, 365 pp.

IPCC, 1992: Climate Change 1992: The IPCC Supplement Report. J.T. Houghton, B.A. Callander and S.K. Varney (eds.), Cambridge Univ. Press, Cambridge, 200 pp.

JAWOROWSKI, Z., T. V. SEGALSTAD and V. HISDAL, 1990: Atmospheric and Global Warming: A Cirtical Review. Norsk Polarinstitut Rapportserie Nr. 59 - Oslo.

KEELING, C.D., R.B. BACASTOW, A.F. CARTER, S.C. PIPER, T.P. WHORF, M. HEIMANN, W.G. MOOK, and H. ROELOFFZEN, 1989: A three-dimensional model of atmospheric CO2 transport based on observed winds: 1. Analysis of observational data. In D.H. Peterson (ed.): Aspects of climate variability in the Pacific and the Western Americas, Geophysical Monographs 55:165-236.

LORIUS, C., J. JOUZEL, D. RAYNAUD, J. HANSEN, and H. LE TREUT, 1991: The ice-core record of atmospheric methane over the past 160'000 years. Nature 345:127-131.

MARLAND, G., 1989: Fossil fuels CO2 emissions: Three countries account for 50% in 1988. CDIAC Communications (Carbon Dioxide Information Center, ORNL). Winter 1989:1-4.

MARSHALL INSTITUTE 1992: Global Warming Update. Recent Findings. George C. Marshall Institute. Washington. D. C.

NEFTEL, A., E. MOOR, H. OESCHGER, and B. STAUFFER, 1985: Evidence from polar ice cores for the increase in atmospheric CO_2 in the past two centuries. Nature 315:45-47.

ROTTY, R.M., and G. MARLAND, 1986: Production of CO_2 from fossil fuel burning by fuel type, 1860-1982. Report NDP-006 (Carbon Dioxide Information Center, ORNL).

SCHOTTERER, U., und P. ANDERMATT, 1987: Klima - unsere Zukunft? Kümmerly + Frey, Bern, 166 S.

SINGER, S. F., (Editor) 1992: The Greenhouse Debate Continued: An Analysis and Critique of the IPCC Climate Assessment. SEPP, Arlington Virginia

STOCKER, T.F., 1989: Review of climate fluctuations on the century timescale. CRG Report 89-7, McGill University, Montreal, 69 pp.

VISCHER, D., (Herausgeber): Schnee Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre. VAW - Mitteilungen Nr. 108. Zürich 1990.

ZWALLY, H.J., 1989: Science 246 :1589-1591.