



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

Forschungsgruppe Wirtschaft, Energie, Investitionen

**Das Klimaproblem
zwischen
Naturwissenschaft und Politik**

von

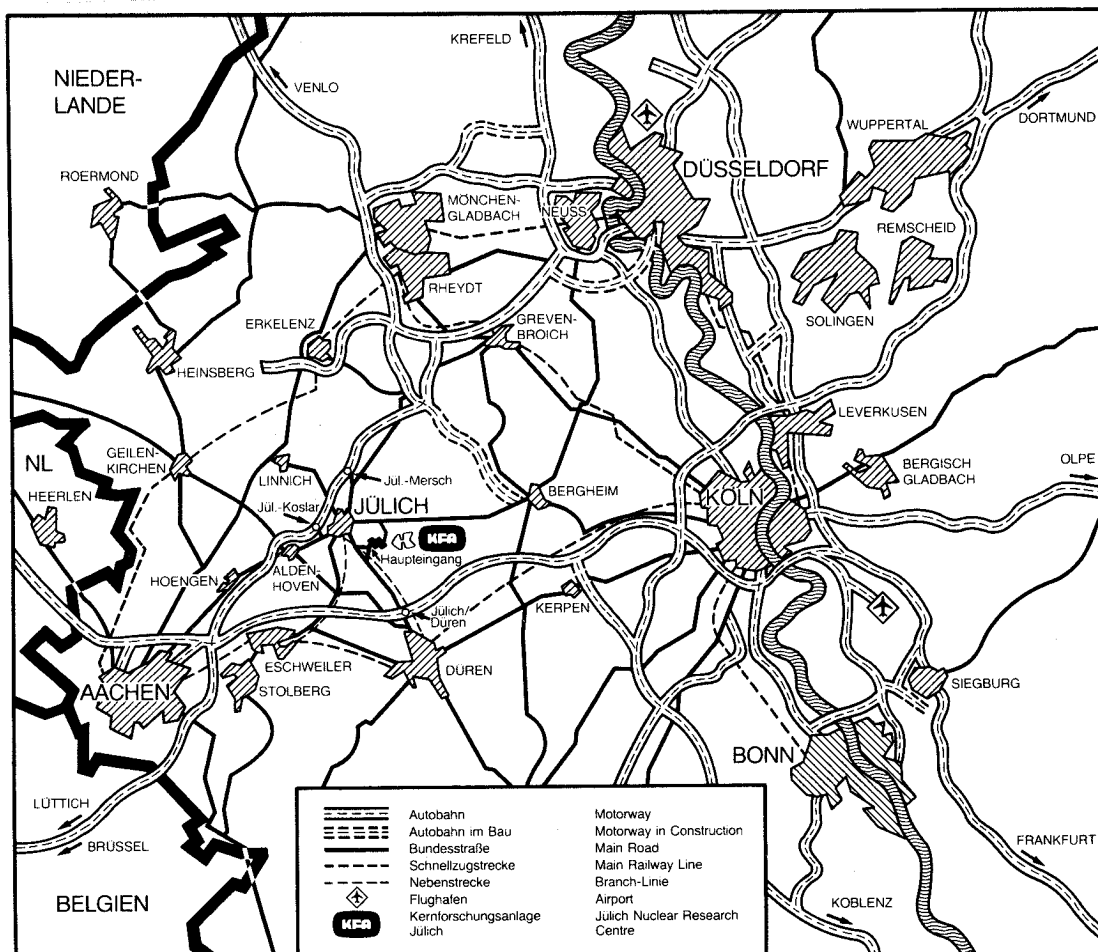
Wolfgang A. Sassin

Jill Jäger

Juan C. di Primio

Wolfgang Fischer

Jül - 2239
Oktober 1988
ISSN 0366-0885



Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 2239

Forschungsgruppe Wirtschaft, Energie, Investitionen Jül-2239

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d

Das Klimaproblem zwischen Naturwissenschaft und Politik

von

Wolfgang Sassin

Jill Jäger

Juan C. di Primio

Wolfgang Fischer



Gliederung

Zusammenfassung

- 1. *Einleitung***
- 2. *Überblick über historische Klimaveränderungen***
 - 2.1. Klimatische Veränderungen in der jüngeren erdgeschichtlichen Vergangenheit
 - 2.2. Temperaturschwankungen seit 1850
 - 2.3. Ursachen für klimatische Veränderungen
 - 2.4. Grenzen klimatischer Variabilität als Erfahrungsbereich der globalen Ökosphäre
- 3. *Rekonstruktion und Projektion von Treibhausgas-Emissionen bzw. atmosphärischen Konzentrationen***
 - 3.1. Veränderungen von CO₂-Emissionen
 - 3.1.1. Die jüngste Vergangenheit
 - 3.1.2. Szenarien
 - 3.2. Veränderungen in der Emission anderer Treibhausgase
 - 3.2.1. Die jüngste Vergangenheit
 - 3.2.2. Szenario
 - 3.3. Limitierung der Emission bei Treibhausgasen
- 4. *Klimatische Veränderungen aufgrund von anthropogenen Treibhausgasen***
 - 4.1. Die Ergebnisse von Klimamodellen
 - 4.2. Gegenüberstellung von Modellrechnungen und beobachteten Temperaturveränderungen
 - 4.3. Künftige Veränderungen infolge von Treibhausgasen
- 5. *Ein Entscheidungsrahmen zur Beurteilung des CO₂-Problems***
- 6. *Bandbreiten für eine Begrenzung des künftigen Einsatzes an fossiler Energie***
- 7. *Die politische Herausforderung***
 - 7.1. Auf dem Weg zu einer "ökologischen Weltinnenpolitik"?
 - 7.2. Die Zielfelder einer Klimastrategie als politisches Problem
 - 7.3. Das Klimaproblem als Handlungsfeld der Politik
 - 7.4. Ein wichtiger Schritt: Das "Internationale Regime"

Literaturverzeichnis

Zusammenfassung

Die Emissionen von Kohlendioxid durch die Verbrennung fossiler Energierohstoffe und durch die im globalen Maßstab ablaufende Nutzung der Biosphäre für Land- und Forstwirtschaft haben zu einer signifikanten Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre unseres Planeten geführt. Auch andere Emissionen aus Industrie, Haushalt und Verkehr tragen zum Aufbau jener Spurengase in der Atmosphäre bei, die den Strahlungshaushalt der Erde und damit den zentralen Motor für das Klimageschehen beeinflussen.

Beschränkungen in der Emission von Kohlendioxid stellen eine fundamental neue Aufgabe für die Energiewirtschaft und -technik dar, die überwiegend bis ausschließlich auf der Nutzung fossiler Energien ruhen. Die vorliegende Arbeit versucht, die vermutlich notwendigen Beschränkungen für den künftigen Einsatz von Kohle, Erdöl und Erdgas auf der Grundlage der bisherigen Kenntnisse über die Wirkung von Treibhausgasen auf das Klima größenordnungsmäßig abzuschätzen. Die aus der erdgeschichtlichen Vergangenheit rekonstruierten Klimaschwankungen bieten bislang den einzigen Beurteilungsmaßstab für die anthropogenen Klimabeeinflussungen, die mit Hilfe von Modellen berechnen- und prognostizierbar gemacht werden sollen.

Unabhängig von den bestehenden erheblichen Unsicherheiten über den

Verbleib der Treibhausgase in der Atmosphäre und über die äußerst komplexen klimatischen Folgewirkungen eines Eingriffes in den Strahlungshaushalt, läßt sich zeigen, daß eine Beibehaltung der bisherigen Emissionen - und das heißt eine unveränderte Verwendung der gegenwärtigen fossilen Energietechnik - mit großer Wahrscheinlichkeit zu tiefgreifenderen Klimaveränderungen führt, als sie während der großen Klimaumbrüche in der jüngeren erdgeschichtlichen Vergangenheit aufgetreten sind.

Eine Begrenzung der anthropogenen Klimabeeinflussungen auf ein der Gefährdung der globalen Ökologie angemessenes, noch tolerierbar erscheinendes Maß, würde eine Rückführung der Kohlendioxidemissionen aus der globalen Energienutzung auf etwa ein Drittel innerhalb der nächsten 30 Jahre erforderlich machen.

Eine derart weitgehende Beschränkung ist nicht mehr als ein innerhalb eines bestimmten technischen oder wirtschaftlichen Bereiches vorzugebendes und zu erreichendes Ziel zu begreifen. Das Treibhausproblem stellt wegen der mit ihm verbundenen notwendig werdenden Änderungen im Bereich der Energieinfrastruktur nicht nur eine Herausforderung für unser gesamtes industrielles Handeln, sondern darüberhinaus für die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung von Industrie- und Entwicklungsländern dar. Es berührt aus diesem Grund Kernfragen der nationalen und internationalen Politik.

Die Untersuchung bezieht deshalb Strukturen und Prozesse der

internationalen politischen Systems ein, innerhalb derer Maßnahmen zur Begrenzung der Emissionen von Treibhausgasen und Maßnahmen zur Anpassung an unvermeidbare Klimaänderungen konzipiert und durchgesetzt werden müssen.

Sie kommt zu dem Schluß, daß

- eine Vermeidungsstrategie eine unumgängliche Antwort auf die bestehende Herausforderung darstellt; sie kann innerhalb der heutigen Strukturen eingeleitet werden,
- daß eine solche Bemühung aber nicht hinreicht,
- daß vielmehr verstärkte Anstrengungen notwendig sind, die Erfordernisse einer gelenkten Anpassung an veränderte klimatische Bedingungen zu identifizieren um die politische Legitimation für erste Maßnahmen zu schaffen,
- daß dazu folgende Schritte wesentlich sind,
 - die Übersetzung verwickelter ökologischer Sachverhalte in der Öffentlichkeit zugängliche und vertraute Denkmuster,
 - ein entsprechendes Engagement zur Erfassung globaler ökologischer Zusammenhänge auch über eine entsprechende Beteiligung an Weltraumaktivitäten,
 - die Demonstration von Energietechniken, die zu einer substantiellen Verbesserung der Wirkungsgrade und zu einer Verminderung der Emissionen an Treibhausgasen auch durch Substitution fossiler Energieträger beitragen,

- die Initiierung und Beteiligung an internationalen institutionellen Arbeitskörpern, die eine Grundlage für spätere politische und wirtschaftliche Übereinkünfte legen, die koordiniertes Vorgehen ermöglichen könnten ("Internationales Regime"), und
- Forschungen, an deren Ende die Fähigkeit zur Kontrolle und Lenkung ökologischer Vorgänge durch den Menschen stehen könnte.

1. Einleitung

Weder das globale Klima noch sein "Zustandekommen" sind soweit erforscht und verstanden, daß besondere Ereignisse der Klimageschichte ausreichend und zweifelsfrei erklärt werden können. Das gilt für das Phänomen der Eiszeiten und der zwischen ihnen liegenden Warmzeiten ebenso wie für kürzer dauernde "Anomalien". Die Beeinflussung des Klimas durch vom Menschen verursachte Emmissionen überschneidet sich daher mit der Frage, in welchem Umfang das Klima derzeit natürlichen Schwankungen und Veränderungen unterliegt.

Andererseits sind einzelne Wechselwirkungen zwischen den wesentlichen Subsystemen des globalen Klimas, der Atmosphäre, der Ozeane, der Kryosphäre und der Biosphäre, soweit erforscht, daß künftige menschliche Aktivitäten als wesentlicher, klimabeeinflussender Faktor eingeordnet werden müssen.

Kohlendioxid und bestimmte andere Spurengase beeinflussen den Strahlungsaustausch der Erdoberfläche mit dem Weltraum. Diese sogenannten Treibhausgase können nach Modellrechnungen in den kommenden 50 Jahren zu einer globalen Erwärmung um 3 ± 1.5 Grad C führen. Das reicht an den Temperaturanstieg heran, der die letzte Eiszeit beendete und vor ungefähr 10 000 Jahren abgeschlossen war. Sollte es zu einem solchen Temperaturanstieg kommen, so müßten sich die Bedingungen für das Leben auf diesem Planeten wenigstens in Teilbereichen entscheidend verändern. Die über den Zeitraum von 50 Jahren hinausgehenden Folgen sind

potentiell bedrohlicher; sie entziehen sich aber einer deutlichen Bezeichnung.

Im folgenden Text wird im Abschnitt 2 ein Überblick über die bisher rekonstruierten natürlichen Klimaveränderungen in den letzten 850000 Jahren und die ebenfalls aus instrumentellen Messungen herleitbaren Klimaveränderungen seit der ersten Industriellen Revolution gegeben. Damit ist ein Vergleich der "natürlichen" und der potentiell durch den Menschen hervorgerufenen Klimaveränderungen möglich.

Daran schließt sich ein Abschnitt über die Rekonstruktion und Projektion der anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen an. Damit ist eine relative Gewichtung der Beiträge des Energiesektors und der anderen zivilisatorischen Aktivitäten in Emissionsszenarien möglich. Diskutiert werden die technischen Möglichkeiten und die Beschränkungen, auf das Treibhausproblem durch die Limitierung von Treibhausgasen, insbesondere von CO₂, deutlich und angemessen zu reagieren. Es zeigt sich, daß klimaspezifische technisch-wirtschaftliche Handlungskonzepte noch nicht vorliegen.

Im Abschnitt 4 werden Modellrechnungen über die Veränderung des Klimas aufgrund von anthropogenen Treibhausgasen vorgestellt und kritisch diskutiert.

Das CO₂ Problem, dessen Lösung einerseits eine zentrale Aufgabe der langfristigen globalen Energieversorgung darstellt, und das andererseits nicht von der Beeinflussung des Klimas durch andere technisch-zivilisatorische Bereiche abgetrennt werden kann,

verlangt nach einer adäquaten Beurteilung. Die besondere Schwierigkeit liegt dabei in einer transparenten und nachvollziehbaren Übertragung der naturwissenschaftlichen Fakten, vor allem der in diesem Bereich gegebenen Unsicherheiten und Undeutlichkeiten, in einen Entscheidungsrahmen. Als Leitlinie für Entscheidungen wird in dem Abschnitt 5 das Erreichen bzw. das Überschreiten der Größe und der Geschwindigkeit der Klimaveränderungen eingeführt, die für die Übergänge Eiszeit/Warmzeit rekonstruiert werden können. Diese Leitlinie erlaubt künftige Verbrauchsraten für fossile Energie abzuschätzen. Es ergeben sich dramatische Einschränkungen für die weitere Verwendung von Kohle, Erdöl und Erdgas, wenn künftig der Bereich der natürlichen Klimaveränderungen in der Vergangenheit nicht verlassen werden soll (Abschnitt 6).

Dieser Sachverhalt zwingt zu einer Diskussion der politischen Schwierigkeiten, die überwunden werden müßten, um effektive nationale und internationale Maßnahmen zur Begrenzung einer Klimaveränderung ergreifen zu können (Abschnitt 7).

Die Schaffung eines handlungsfähigen "Internationalen Regimes", das als Fernziel ein für die Staatenwelt verbindliche "Atmosphärenrechtskonvention" hat, ist eine Voraussetzung, um den Wettlauf zwischen einer Verschärfung des Klimaproblems und den beschränkten Mitteln zu seiner Beeinflussung nicht zu verlieren.

2. Überblick über historische Klimaveränderungen

Anthropogene Störungen und natürliche Klimavariabilität

Die jahreszeitlichen Veränderungen des Klimas gehören ebenso wie die scheinbare Unveränderlichkeit, mit der sich ein Jahreszyklus an den anderen reiht, zu den elementaren Erfahrungen unseres Lebens. Aber schon der charakteristische Ablauf der Jahreszeiten unterscheidet sich bereits erheblich je nach Klimaregion: In den polaren und subpolaren Klimazonen finden sich extreme Unterschiede zwischen Sommer und Winter, die in bestimmten Küstenregionen der Tropen mit einem nahezu ausgeglichenen Temperaturverlauf über das ganze Jahr hin kaum noch wahrnehmbar sind. Unregelmäßigkeiten in diesen scheinbar wohlgeordneten Klimaabläufen, wie das Ausbleiben des Monsunregens oder mehrjährige Trockenperioden im Bereich der Halbwüsten, ordnen wir vor einem auf wenige Jahrzehnte beschränkten und räumlich eng umgrenzten Beobachtungshorizont intuitiv als Ausnahmen ein. Klima

erscheint aus dieser individuellen Sicht vorgegeben und im wesentlichen unveränderlich.

Das Klima des Planeten Erde¹ hingegen ist unseren unmittelbaren individuellen Erfahrungen entzogen.

Aus einer Vielzahl wissenschaftlicher Untersuchungen wissen wir, daß sich das globale Klima im Verlauf der Erdgeschichte stark gewandelt hat. Es war in Zeiträumen von Millionen von Jahren, aber auch in den wesentlich kürzeren Zeiträumen der menschlichen Geschichte, durch Veränderungen geprägt, die die geographische Verteilung von Pflanzen und Tieren und damit auch die Verteilung der für den Menschen geeigneten Lebensräume entscheidend verändert haben.

Die Weltbevölkerung ist von etwa 1 Milliarde Menschen zu Beginn des 19. Jahrhunderts auf heute etwa 5 Milliarden angewachsen und nimmt weiter zu. Der materielle Umsatz der globalen Bevölkerung hat sich in knapp 200 Jahren mehr als verzwanzigfacht. Die damit verbundenen Eingriffe in die Zusammensetzung der Atmosphäre und der Hydrosphäre, in die Oberflächeneigenschaften des Landes und die Aktivität der Biosphäre haben den Menschen damit zu einem die Geophysiologie wesentlich mitbestimmenden Faktor werden lassen. Die Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre durch die Emmission von Treibhausgasen stellt dabei eine der wesentlichen anthropogenen Beeinflussungen des

¹ Verstanden als der physikalische Energiehaushalt der Atmosphäre und dessen Veränderungen, die die Verteilung der von der Sonne eingestrahlten Leistung, die Temperaturfelder in der Atmosphäre, den Ozeanen und dem Boden, die Bewegungen von großräumigen Strömungen in der Atmosphäre und den Ozeanen, die Niederschlagsverteilung und den elektromagnetischen Strahlungshaushalt bestimmen.

Strahlungshaushaltes des Planeten dar. Es gibt Anlaß anzunehmen, daß die Fortsetzung dieser Beeinflussung zu einer, (im einzelnen heute noch nicht ausreichend verstandenen) Veränderung des globalen Klimas und damit zu einer Veränderung der langfristigen Verteilung des Habitats und der globalen Ökologie führen, die ihrerseits die Lebensgrundlage der globalen Bevölkerung bildet.

Das Problem der Treibhausgase, deren wichtigste Komponente das Kohlendioxid als Hauptprodukt der Verbrennung fossiler Energieträger darstellt, zwingt dazu, Zeiträume der Vergangenheit für einen Vergleich mit den möglichen Folgen der gegenwärtigen Form der Energieversorgung heranzuziehen. Nur in solchen Zeiträumen haben sich Klimaveränderungen ereignet, wie sie als Folge einer ein bis zwei Jahrhunderte überspannenden Episode fossiler Energienutzung erwartet werden.

In diesem Abschnitt werden deshalb die Klimaverhältnisse seit dem Ende der vorletzten Warmzeit skizziert und die charakteristischen Übergänge zwischen Eis- und Warmzeiten als Maßstab für denkbare, durch anthropogene Störungen erzwungene Änderungen des globalen Klimas eingeführt.

2.1 Klimatische Veränderungen in der jüngeren erdgeschichtlichen Vergangenheit.

Etwa während der vergangenen 1,7 Millionen Jahre hat die Erde in ziemlich regelmäßiger Abfolge alle 100 000 Jahre Eiszeiten erlebt. Ausgelöst wurden die Fluktuationen zwischen Warmzeiten (hier den Interglazialen) und den Eiszeiten wohl durch Veränderungen im Strahlungshaushalt der Erde aufgrund der Änderungen in deren orbitalen Parametern. Ein wichtiger Rückkopplungsmechanismus in den eiszeitlichen/zwischenzeitlichen Zyklen wird auf die Schwankungen im CO_2 Gehalt der Atmosphäre zurückgeführt. Messungen der im Gletschereis eingeschlossenen Luftblasen haben parallele Veränderungen zwischen der CO_2 Konzentration und der globalen Mitteltemperatur erkennen lassen.

Der Höhepunkt der letzten Eiszeit liegt rund 18000 Jahre zurück. Danach erfolgte ein Einpendeln auf ein mit dem gegenwärtigen Temperaturniveau vergleichbares Klima. In einem Zeitraum vor etwa 15000 bis vor etwa 10000 Jahren gab es aber einige rasche und tiefgreifende Rückfälle in quasi eiszeitliche Verhältnisse insbesondere in Europa. Broecker et al. 85 nehmen an, daß solche außergewöhnlich raschen großräumigen, aber nicht notwendig globalen Klimaänderungen auf Umklappvorgänge in der Bildung des nordatlantischen Tiefenwassers zurückzuführen sind. Auch hier sind parallele Schwankungen in der atmosphärischen CO_2 Konzentration bei Bohrproben im grönländischen Eis gefunden worden. Veränderungen in der Bildung von Tiefenwasser und damit in der

Zirkulation der Ozeane finden vermutlich auch heute statt und könnten wegen ihrer Kopplung mit anthropogenen Klimaveränderungen von erheblicher Bedeutung sein.

Vor etwa 10000 Jahren hatte sich schließlich das heutige mittlere globale Temperaturniveau stabilisiert. Es lag mit rund 15° Celsius etwa 4,5°C über dem Wert am Ende der letzten Eiszeit. In der nördlichen Hemisphäre gab es noch immer riesige Eismassen, die sich in Skandinavien bis vor 8000 und in Nordamerika bis vor 6000 Jahren hielten. Der Zeitraum vor 9000 bis 6000 Jahren war im Vergleich zu heute möglicherweise global, mit Sicherheit aber regional durch eine Warmperiode gekennzeichnet (Webb/Jones/Wigley 85), mit entsprechenden Auswirkungen auf Biomasse und Niederschläge (Kutzbach/Street-Perrot 85). Die Ursache für diese Warmperiode scheinen zumindest teilweise orbitale Veränderungen gewesen zu sein. Beispielsweise war die Sonneneinstrahlung vor 9000 Jahren in der nördlichen Hemisphäre im Juli um 8% stärker als zu unserer Zeit.

Die letzten 10000 Jahre waren im Vergleich zu der vorangegangenen Eiszeit zwar insgesamt warm, doch wies das globale Klima nicht nur die eben beschriebene Veränderung durch das etwa 3000 Jahre währende sogenannte Klimaoptimum auf, dessen Temperatur im Mittel um etwa 1°C höher lag. Es gab auch kürzer dauernde Fluktuationen. In Zeitabständen der Größenordnung von 100 Jahren gab es häufige Schwankungen. Da solche Geschehnisse aber nur indirekt zu erschließen sind, ist die absolute Größe der Schwankung der globalen Mitteltemperatur über so kurze Zeiträume nicht bekannt. Daß regional jedoch größere klimatische Schwankungen aufgetreten

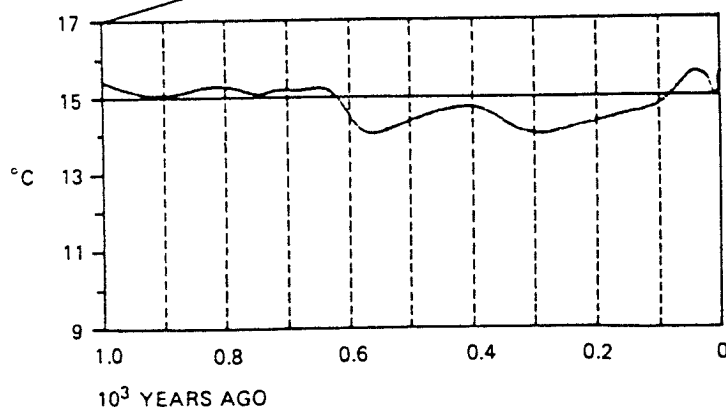
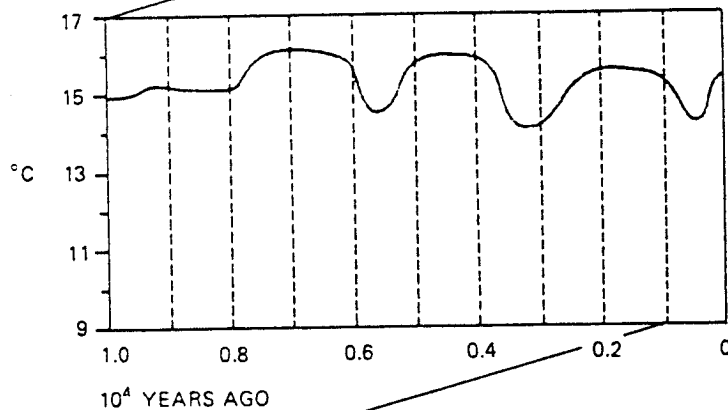
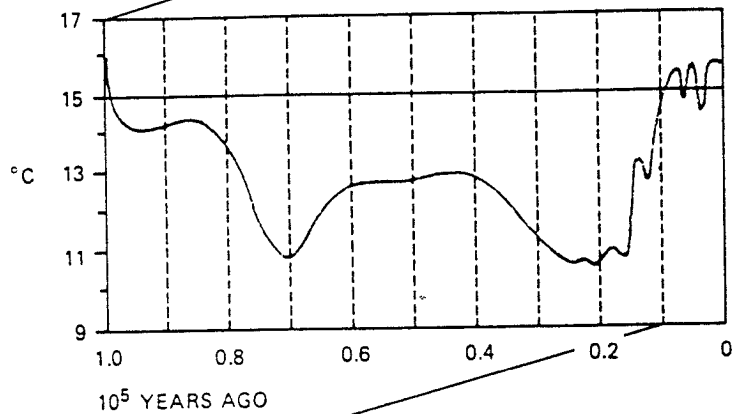
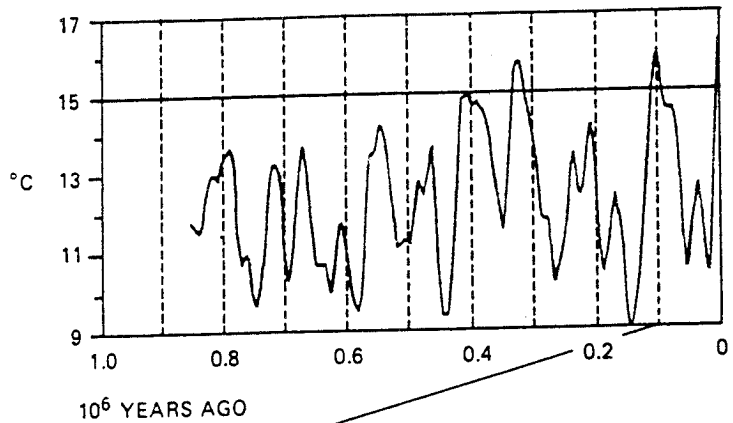
sind, belegen Veränderungen in der Vegetation, Gletschereisdaten und andere Indikatoren.

Während der letzten 2000 Jahre sind als ausgedehnteste klimatische Veränderungen die Warmzeit im Mittelalter (etwa 800 bis 1200 n.Chr.) und die kleine Eiszeit (etwa 1400 bis 1800 n.Chr.) anzusehen (Wigley et al 86). Die Warmzeit war möglicherweise auf die Region um den Nordatlantik beschränkt, während die kleine Eiszeit schon eher globales Ausmaß hatte. Die Ursachen dieser kleinen Eiszeit sind nicht bekannt, aber möglicherweise sind in diesem Zusammenhang Veränderungen der Sonnenaktivität, Vulkanismus sowie Veränderungen der CO₂- und Methan- Konzentration der Atmosphäre wirksam gewesen (Wigley et al 87).

Abbildung 2.1 gibt eine Rekonstruktion der mittleren Oberflächen-temperaturen der nördlichen Hemisphäre für den Zeitraum der vergangenen 850 000 Jahre wieder (Clark 82). Dieser Zeitraum enthält die Übergänge zwischen etwa 8 großen Vereisungsperioden und dazwischen liegenden Warmzeiten. Die Mitteltemperaturen unterlagen dabei Schwankungen in der Größe von etwa 5 bis 7°C. Die höhere Zeitauflösung in Abbildung 2.1 für die letzten 100 000 Jahre verdeutlicht, daß auch innerhalb von Warm- und Kaltzeiten Temperaturschwankungen mit kleinerem Hub aufgetreten sind. Der Langzeittemperaturverlauf in Abb. 2.1 ist aus einer großen Zahl unterschiedlicher Hinweise und Daten mit Hilfe von Modellannahmen geschätzt. Es gibt keine Möglichkeit über solche Zeiträume anhand eines bestimmten Vorganges, etwa durch Nachvermessung von Sedimenten, die globale Mitteltemperatur zu erschließen. Trotz aller Ungenauigkeiten bei der Rekonstruktion läßt sich aber

Fig. 2.1.

Ungefäher Verlauf der mittleren
Oberflächentemperatur der nördlichen Hemisphäre
in den letzten 850 000 Jahren



(Quelle: Clark 82)

Die Zeitskala ist zur Gegenwart hin jeweils um eine Zehnerpotenz gestreckt. Die größte Auflösung für die letzten 1000 Jahre gibt nur Mittelwerte über mehrere Jahrzehnte wieder.

zweifelsfrei feststellen, daß sich das globale Klimasystem in der Regel in Übergangszuständen befand. Perioden mit einer nahezu konstanten Mitteltemperatur waren stets von kurzer Dauer und stellen eigentlich die Ausnahme dar.

Für die letzten 160 000 Jahre ist es kürzlich gelungen, für ein charakteristisches Gebiet, nämlich die Antarktis, die Temperaturgeschichte wie auch parallel dazu den Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre aus der Messung von Eisproben als durchgehendes Profil zu ermitteln (Jouzel et al 87 und Barnola et al 87). Durch diese Arbeiten ist nun ein Überblick über die Verhältnisse möglich: beginnend mit dem Ende der vorletzten großen Eiszeit, der letzten 140 000 bis 120 000 Jahre zurückliegenden Warmzeit, der letzten Eiszeit, bis hin zu den aktuellen Werten der Gegenwart. Damit ist der Nachweis erbracht worden, daß die CO₂ Konzentration in der Atmosphäre über einen sehr langen Zeitraum hinweg mit der Temperatur der Atmosphäre gekoppelt ist. Wichtiger noch ist der Nachweis, daß CO₂ offenkundig für einen synchronen Verlauf der Warm- und Kaltperioden auf der nördlichen und südlichen Halbkugel verantwortlich ist².

Abbildung 2.2 enthält den zeitlichen Verlauf des CO₂ Pegels der Vostok-Proben. Danach lag der CO₂ Gehalt in der vorletzten Warmzeit bei 280 ppmv, fiel dann während der letzten Eiszeit mit gewissen Schwankungen ab bis auf einen Pegel von 200 ppmv, um

² Ohne einen global wirkenden Ausgleichsmechanismus wären nach der Orbitaltheorie für die Eiszeiten gegenläufige Vereisungszyklen in den beiden Hemisphären zu erwarten (Oeschger 88)

Fig. 2.2

Veränderungen der CO₂ Konzentration der Atmosphäre in den letzten 168.000 Jahren nach Barnola et al 87

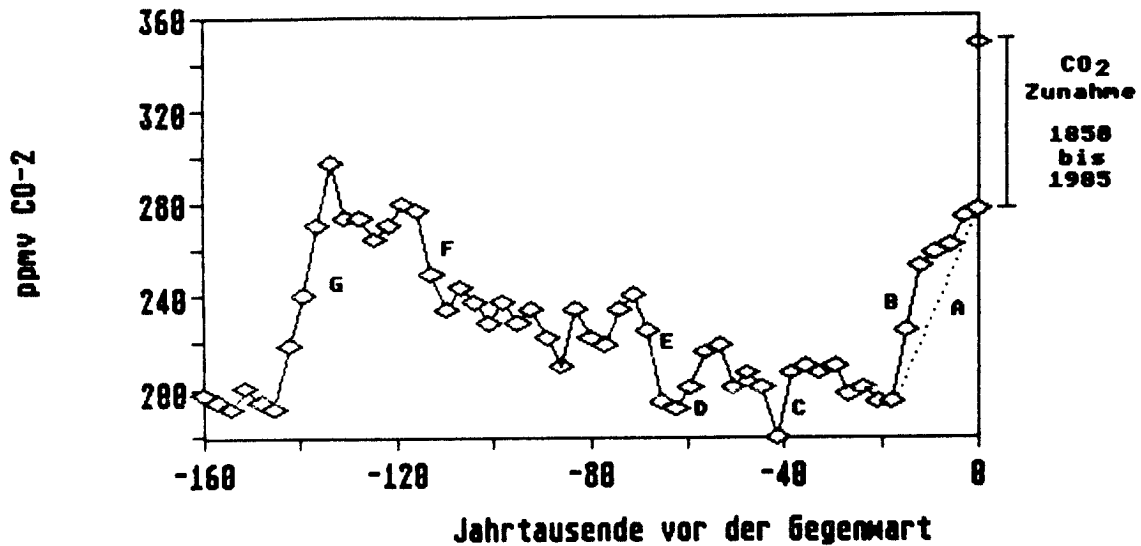
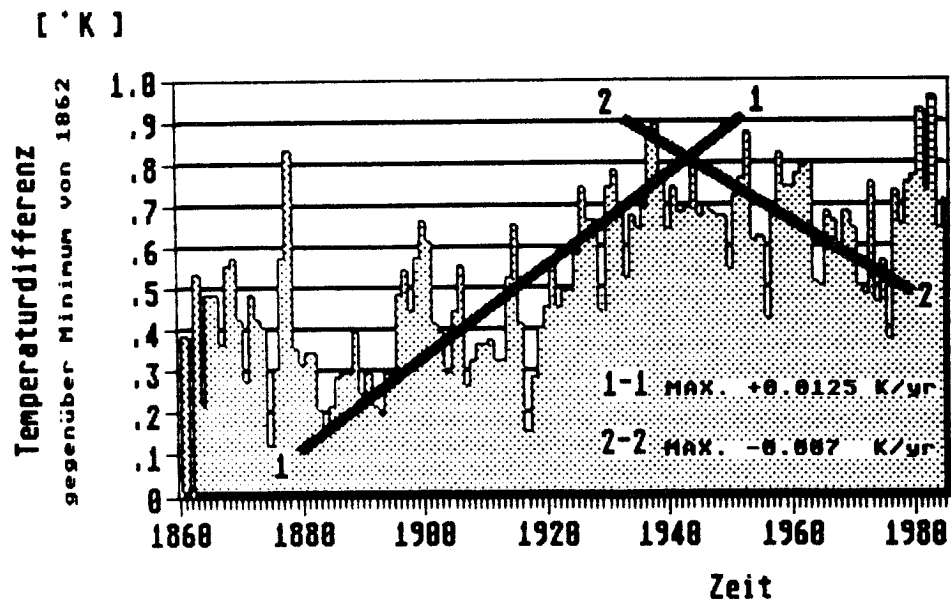


Fig. 2.3

Jährliche Schwankungen der Mitteltemperatur der Nördlichen Hemisphäre zwischen 1861 und 1985 nach Jones et al '86



parallel mit dem Beginn der Erwärmung vor 18 000 Jahren auf den vorindustriellen Wert von knapp 280 ppmv wieder anzusteigen.

Die gewaltigen Unterschiede in der Verteilung der Biomasse - nur etwa 15% der vor der Ausbreitung der Landwirtschaft bestehenden Waldflächen existierten am Ende der letzten Eiszeit - korrespondieren mit den Klimaänderungen, die sich hinter dem globalen Temperaturanstieg um rund 4,5°C seit dem Ende der letzten Eiszeit verbergen. Die Veränderungen des CO₂ Pegels, dem nach dem Wasserdampf wichtigsten Spurengas für den Strahlungshaushalt der Atmosphäre, betrugen dabei rund 80 ppmv. Die Abbildungen 2.1 und 2.2 geben damit stark verkürzt die Dimensionen an klimatischen Veränderungen wieder, die aus der erdgeschichtlichen Vergangenheit für einen Vergleich mit den anthropogenen Einflüssen auf das Klima herangezogen werden können.

2.2 Temperaturschwankungen seit 1850

Seit 1850 etwa liegen genügend instrumentelle Messungen der Oberflächentemperatur vor, um quantitative Aussagen über die seither eingetretenen Änderungen machen zu können. Die Temperatur ist die insgesamt bestbelegte Variable, aber es gibt immer noch Bereiche wie die Ozeane, die datenmäßig noch kaum erfaßt sind. Außerdem ist in diesem Zusammenhang zwischen globalen und lokalen oder regionalen Entwicklungen zu unterscheiden. Bis Anfang der 80er Jahre galt das wissenschaftliche Interesse in erster Linie

den Temperaturveränderungen auf dem Festland der nördlichen Hemisphäre, da für diesen Bereich die meisten Daten vorlagen. So lassen die Temperaturaufzeichnungen für die Festlandbereiche der nördlichen Hemisphäre eine generelle Erwärmung bis etwa 1940, eine Abkühlung bis Mitte der 60er Jahre und wiederum eine Erwärmung seit etwa 1970 erkennen (Wigley et al 86).

Neuerdings berücksichtigen Jones et al (Jones 86) auch Daten von der südlichen Hemisphäre sowie den Ozeanbereichen in der nördlichen Hemisphäre. Um den Bezug zu den langfristigen Daten (Abb. 2.1) herzustellen, sind in Abbildung 2.3 die von Jones ermittelten jährlichen Schwankungen der mittleren Temperatur der nördlichen Hemisphäre und die Änderungsraten für die drei deutlich unterscheidbaren Phasen mit Erwärmungs- bzw. Abkühlungstrends hervorgehoben. Zwischen 1860 und 1985 ist in der nördlichen Hemisphäre ein Temperaturanstieg von $0,6^{\circ}\text{C}$ zu verzeichnen, der für beide Hemisphären zusammen mit rund $0,5^{\circ}\text{C}$ etwas geringer ausfällt. Neben den sich über mehrere Jahrzehnte hinziehenden Veränderungen treten auch kurzfristige, starke Veränderungen auf: so ab 1875, wo in 4 aufeinanderfolgenden Jahren ein Anstieg um $0,7^{\circ}\text{C}$ zu verzeichnen war, dem allerdings ein ebenso starker Temperaturrückgang nach 1879 folgte. Schon die hemisphärischen Unterschiede weisen darauf hin, daß die Temperaturänderungen nicht in allen Regionen und zu allen Jahreszeiten gleichmäßig um $0,5$ oder $0,6^{\circ}\text{C}$ angestiegen sind. Vielmehr weichen die regionalen Veränderungen erheblich vom globalen Durchschnitt ab. Dennoch ist ein globaler Durchschnittswert als sinnvoller Maßstab zur Beurteilung potentieller Veränderungen anzusehen.

2.3 Ursachen für klimatische Veränderungen

Das Klima unterliegt externen und internen Einflußfaktoren. Die Definition externer Faktoren hängt bis zu einem gewissen Grad vom jeweils betrachteten Zeitraum ab. So ist die Energiezufuhr von der Sonne grundsätzlich als externer Faktor anzusehen, während zum Beispiel das Ausmaß der Eis- und Schneemassen bei kurzfristiger Betrachtung als externer Faktor, bei langfristiger Betrachtung hingegen als interner Faktor verstanden werden kann (Dickinson 86). Externe Faktoren sind im allgemeinen mit Veränderungen in der Strahlungsbilanz des globalen Klimasystems verbunden. Die wichtigsten Faktoren sind Veränderungen in:

- der solaren Energieabstrahlung;
- den orbitalen Parametern der Erde;
- der Vulkantätigkeit sowie
- der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre.

Hinzu kommen interne Einflußfaktoren wie Veränderungen hinsichtlich Temperaturniveau und Zirkulation der Ozeane, Wolkenbildung und Meereisflächen. In den letzten Jahren steht eine weitere, als Gaiahypothese bekannte Annahme zur Diskussion (Schneider 86), derzufolge die untere Atmosphäre der Erde ein wesentlicher, geordneter und notwendiger Bestandteil des Lebens

schlechthin ist. Die Gaia-Hypothese postuliert, das Leben selbst habe mindestens seit dem Aufbau der Sauerstoffatmosphäre vor rund 3 Milliarden Jahren in die Entwicklung der geophysikalischen Bedingungen eingegriffen und diese zu seinem Vorteil mit beeinflußt. Dazu gehört insbesondere die Aufrechterhaltung eines bestimmten Temperaturniveaus und die Sicherstellung geeigneter Feuchtigkeitsbedingungen, ebenso die Bereitstellung ausreichender Spurenelemente für den Metabolismus. Es gibt Hinweise dafür, daß beide Funktionen durch die von der Biosphäre ausgehende Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre und über physikalisch chemische Wechselwirkungen unter Beteiligung von Aerosolen von Teilen der Biosphäre bewerkstelligt werden könnten. Sollten sich die vorhandenen Hinweise zu einer Theorie verdichten lassen, dann wäre nicht nur die Biosphäre in ihrer Summe, sondern deren äußerst komplexer jeweiliger Zustand ein wesentlicher innerer Einflußfaktor für das Klimageschehen. Veränderungen der Biosphäre durch den Menschen hätten dann gegebenenfalls signifikante Wirkung auf das globale Klimageschehen, soweit dadurch in bestehende Regelmechanismen eingegriffen wird, mit der Implikation, daß solche Art Eingriffe mit einem erheblichen Verstärkungsfaktor zur Wirkung kämen (AGU Conf. 88).

Mit den externen Auslösemechanismen für Klimaänderungen hat sich kürzlich Dickinson (86) befaßt. Er weist daraufhin, daß die Zufuhr von Sonnenenergie bekanntermaßen über große Zeiträume hinweg durchaus variiert, daß eine klimatisch relevante Beeinflussung bei Zeiträumen zwischen 1000 und 2000 Jahren jedoch allenfalls indirekt nachweisbar ist. Auch der Einfluß von Sonnenflecken auf das Klima ist ungewiß, zumal bisher nur wenige statistisch

überzeugende Zusammenhänge nachgewiesen worden sind. Veränderungen der Umlaufbahn der Erde um die Sonne beeinflussen das Klima erst über Zeiträume, die länger als 1000 Jahre sind. Dies geschieht über eine Veränderung der Streuung der Sonneneinstrahlung in den oberen Schichten der Atmosphäre. Vulkanausbrüche schleudern Staubpartikel und Schwefelverbindungen in die Stratosphäre und führen auf diese Weise zu instantanen Klimaänderungen. Beobachtungen haben ergeben, daß einzelne große Vulkanausbrüche eine Abkühlung der globalen mittleren Oberflächentemperatur um bis zu 0.3 °C bewirken können, indem die in die Stratosphäre eingetragene Aerosole verhindern, daß ein Teil der Sonnenstrahlung bis zu Erdoberfläche gelangt. Gleichzeitig bewirken sie aber eine Erwärmung der Stratosphäre um mehrere Grad. Dickinson zieht daraus den Schluß, daß die Auswirkungen vulkanischer Eruptionen auf das Klima in der Vergangenheit nur schwer zu erfassen sind, zumal die Beobachtungen unterschiedlich interpretiert werden können und über die Entstehung und Häufigkeit von Vulkanausbrüchen kaum ausreichende Kenntnisse vorliegen.

Neben den natürlichen Faktoren für Klimaänderungen steht seit einigen Jahren die Frage im Vordergrund, in welchem Umfang menschliche Aktivitäten das Klima schon beeinflußt haben und vor allem künftig beeinflussen werden. Insbesondere gilt das für die anthropogenen Treibhausgase.

Verschiedene Spurengase in der Atmosphäre sind strahlungsreaktiv; sie absorbieren und reemittieren sowohl kurzwellige als auch langwellige Teile der elektromagnetischen Strahlung. Zu den

wichtigsten dieser Gase zählen Wasserdampf (H_2O), Ozon (O_3), Kohlendioxid (CO_2), Distickstoffoxid (Lachgas) (NO), Methan (CH_4) und Chlorfluorkohlenwasserstoffe (CFKWs). Diese Gase werden insgesamt als Treibhausgase bezeichnet: sie führen zu einem Treibhauseffekt, indem sie das von der Sonne her einfallende sichtbare Licht kaum absorbieren, aber die von der Erdoberfläche und den unteren Schichten der Atmosphäre ausgehende infrarote Wärmestrahlung teilweise zur Erde zurückstrahlen. Insgesamt hat eine Erhöhung der Konzentration der Treibhausgase keinen Einfluß auf die mengenmäßige Absorption der eingestrahnten Sonnenenergie. Sie erzwingt jedoch eine Erhöhung der mittleren Oberflächentemperatur, um die isolierende Wirkung dieser Gase zu kompensieren und die für ein Strahlungsgleichgewicht notwendige Wärmeabstrahlung in den Weltraum sicherzustellen.

Mit Hilfe von Strahlungsmodellen lassen sich die Einflüsse unterschiedlicher Konzentrationen und Kombinationen von Treibhausgasen auf die Energiebilanz der Erdatmosphäre und damit auf die mittlere globale Oberflächentemperatur berechnen (Abschnitt 4). Derartige wenn/dann-Rechnungen gehen anders als die Versuche, beobachtete oder rekonstruierte Klimaveränderungen der Vergangenheit zu erklären, stets von dem heutigen, durch instrumentelle Überprüfung zugänglichen Zustand des Klimasystems aus. Mit Bezug auf eine einigermaßen präzisierbare Ausgangssituation lassen sich deshalb auch relativ klare Aussagen über unmittelbare Folgen einer projizierten Veränderung in der Konzentration von Treibhausgasen treffen. Die Schwierigkeiten, sekundäre und tertiäre Rückwirkungen dieser primären Störung zu erfassen, werden später dargelegt.

Wir müssen davon ausgehen, daß die gegenwärtige globale Zivilisation und ihre weitere Entwicklung als ein Klimafaktor einzuordnen ist, der mit den wie immer gearteten Ursachen für die großen Klimaumbrüche der Vergangenheit vergleichbar ist.

2.4 Grenzen klimatischer Variabilität als Erfahrungsbereich der globalen Ökosphäre.

Gemessen an den sich äußerst langsam vollziehenden Veränderungen der orbitalen Parameter der Erde, die für das periodische Auftreten von Eis- und Warmzeiten mit verantwortlich sind, stellen die zu erwartenden klimatischen Folgen der modernen globalen Zivilisation ein geradezu schockartiges Phänomen dar. Ein anthropogener Eingriff in den Strahlungshaushalt der Atmosphäre und damit einhergehende Temperaturanstiege, die in einem Zeitraum von einigen Jahrzehnten bis hin zu einem Jahrhundert zustandekommen, lassen sich nicht mit den Temperaturhüben vergleichen, die bei ähnlicher Größenordnung zwischen Eis- und Warmzeiten im Verlaufe von einigen Jahrtausenden abgelaufen sind. Neben der Größe einer möglichen Beeinflussung des globalen Klimas durch die Emission von Treibhausgasen ist daher die Geschwindigkeit von entscheidender Bedeutung, mit der das Klimasystem aus seinem dynamischen Gleichgewicht ausgelenkt wird. Diese Geschwindigkeit beeinflusst zweifelsohne die Möglichkeiten einzelner Teile dieses Systems, sich an die geänderten Temperaturverhältnisse anzupassen. Für die Biosphäre ist das unmittelbar einzusehen: Wälder können über Samentransport und Aufwuchsgeschwindigkeiten einzelner Bäume wandern und auf diese Weise einer Verlagerung von Klimazonen folgen, wenn diese nur langsam genug erfolgt.

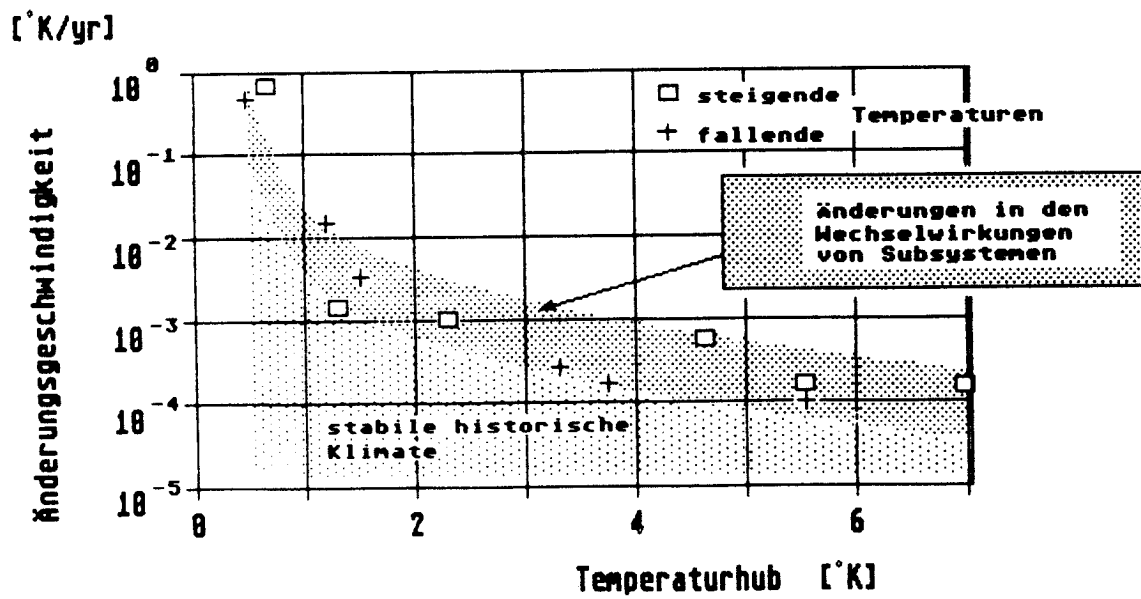
Eine Einordnung und ein Vergleich des Treibhausproblems mit den natürlichen Klimaveränderungen der Vergangenheit zwingt deshalb dazu, nicht nur die Temperaturänderungen als solche, sondern die Variabilität des globalen Klimas in die Betrachtungen einzubeziehen.

In Abbildung 2.4 sind für die größeren Temperaturübergänge zwischen Eiszeiten und Warmzeiten (vgl. Abb. 2.1) die mittleren Geschwindigkeiten eingetragen, mit denen sie abgelaufen sind. In ähnlicher Weise sind auch die kürzeren, dafür aber auch nur kleinere Temperaturunterschiede überbrückenden Fluktuationen der Mitteltemperaturen aus Abb. 2.3 in das Diagramm einbezogen. Kleine Temperaturänderungen um 1 °C sind typischerweise mit Veränderungsraten von höchstens 0,01 °C/Jahr aufgetreten; größere Temperaturänderungen zwischen 3 und 4 °C sind wesentlich langsamer abgelaufen. Die größten mittleren Änderungsraten dafür liegen bei etwa 0,001 °C/Jahr. Anders ausgedrückt: es hat mehr als 3000 Jahre gedauert, ehe das globale Temperaturniveau um jeweils 3 Grad gestiegen oder gefallen war. Dabei waren diesen langfristigen Veränderungen natürlich immer von kleineren und rascher ablaufenden Fluktuationen in beiden Richtungen überlagert.

Es zeigt sich, daß auf der Grundlage der verfügbaren Daten die Variabilität der globalen Mitteltemperaturen wenigstens in der jüngeren erdgeschichtlichen Vergangenheit den in der Abb. 2.4 besonders hervorgehobenen Grenzbereich nicht überschritten hat.

Fig. 2.4

Variabilität der Mitteltemperatur der Nördlichen
Hemisphäre, geordnet nach maximalen Temperaturhuben
in den vergangenen 850.000 Jahren



Einem größeren Veränderungsdruck oder einer größeren klimatischen Störungstiefe³ waren die einzelnen klimatischen Subsysteme, also insbesondere auch die Biosphäre, nicht ausgesetzt. Dieser Grenzbereich trennt demnach Situationen, für die hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen den physikalischen und chemischen Austauschvorgängen der einzelnen Klimafaktoren sozusagen historische Experimente vorliegen, von dem darüberliegenden Bereich, für den es keine natürlichen Vergleichsfälle aufgrund der bisher rekonstruierten geophysikalischen Daten gibt. Es ist weiter anzunehmen, daß die Biosphäre an den historisch überstrichenen Bereich der natürlichen Klimaschwankungen bis zu einem gewissen Grad angepaßt ist. Eine solche Aussage kann für den Bereich oberhalb der markierten Grenzzone nicht getroffen werden. Dort befand sich das Klimasystem möglicherweise im Gefolge singulärer katastrophaler Ereignisse, für die aber in den vergangenen 850 000 Jahren keine ausreichenden Hinweise vorliegen.

Die in Abb. 2.4 quantifizierte Grenze des klimatischen Erfahrungsbereiches bietet sich als ein Maßstab an, mit dem künftige anthropogene Klimabeeinflussungen gemessen werden können. Er macht vor allem deutlich, daß neben einer möglichst zuverlässigen Vorhersage der Reaktionen des Klimasystems auf die Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre die Geschwindigkeit des Aufbaues von Treibhausgasen von entscheidender Bedeutung ist. Wie ernst das Treibhausproblem ist und wie dringlich eine Veränderung der weltweiten Energieversorgungsstrukturen deswegen erscheint, hängt deswegen nicht nur von der Sensitivität des Klimasystems selbst, sondern ebenso von der Rigidität der Energieversorgung und der übrigen industriellen und

³ Als Störungstiefe wird hier das Produkt aus mittlerer Änderungsgeschwindigkeit und insgesamt überstrichener Temperaturänderung verstanden.

Landwirtschaftlichen Aktivitäten ab, die zu Klimaveränderungen auf unterschiedlichste Weise beitragen.

Im folgenden Abschnitt 3 werden deshalb zunächst die Entwicklung und die Bandbreiten und der wahrscheinlichen Emission von CO₂ und anderer Treibhausgase kritisch diskutiert.

3. Rekonstruktion und Projektionen von Treibhausgas Emissionen bzw. atmosphärischen Konzentrationen

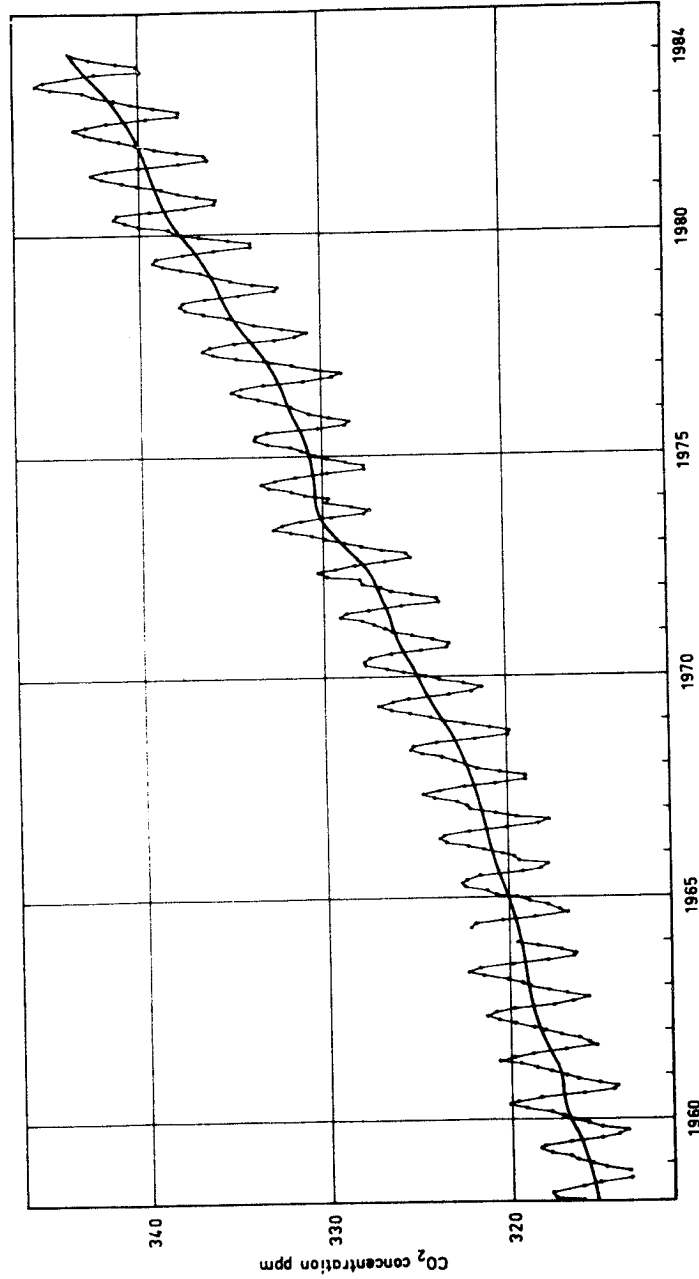
3.1. Veränderungen von CO₂-Emissionen

3.1.1. Die jüngste Vergangenheit

Mit einer zuverlässigen kontinuierlichen Aufzeichnung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre wurde im Mauna Loa Observatorium, Hawaii, erst 1958 begonnen. Abbildung 3.1., aus Bolin (1986), zeigt diese Aufzeichnungen bis 1984. Ähnliche Messungen für die jüngste Vergangenheit, etwa seit dem Anfang der Industrialisierung Mitte des letzten Jahrhunderts, liegen nicht vor. Allerdings haben Neftel et al (1985) CO₂-Werte für den Zeitraum von 1750 bis 1970 aus Luftblasen bestimmt, die in antarktischem Eis eingeschlossen waren (Abbildung 3.2.). Ihre Werte für den Zeitraum seit den späten 50er Jahren dieses Jahrhunderts stimmen mit den Mauna Loa Daten gut überein. Beide Abbildungen zeigen eine kontinuierliche Zunahme des atmosphärischen CO₂-Gehalt seit etwa 1850.

Die Frage, wie es zu dieser ständigen Erhöhung kommt, muß unter Bezugnahme auf den natürlichen Kohlenstoff-Zyklus bzw. die Größe der wichtigsten Kohlenstoff-Speicher (Atmosphäre, Biosphäre und Ozeane) und den kontinuierlichen Austausch zwischen ihnen untersucht werden.

Fig. 3.1.
Konzentration des atmosphärischen CO_2 ,
gemessen im Mauna Loa Observatorium, Hawaii

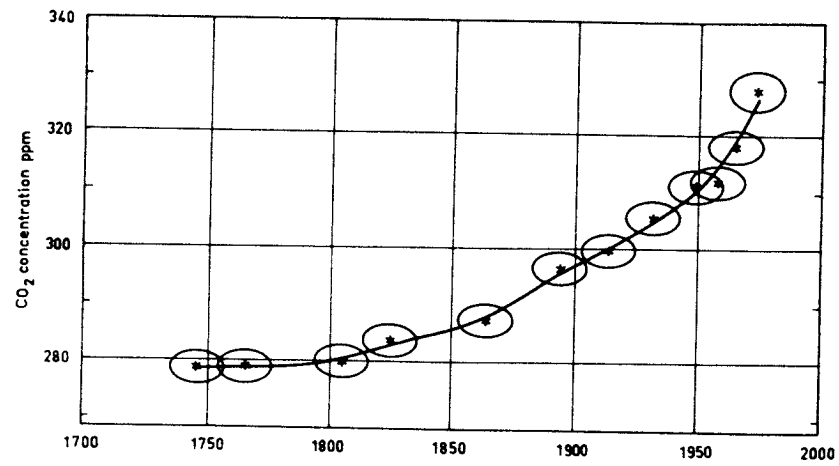


(Quelle: Bolin 86)

Die Pünktchen bezeichnen monatliche Mittelwerte, die aus kontinuierlichen Messungen berechnet wurden.

Fig. 3.2.

Mittlere CO_2 -Konzentration in arktischem Eis



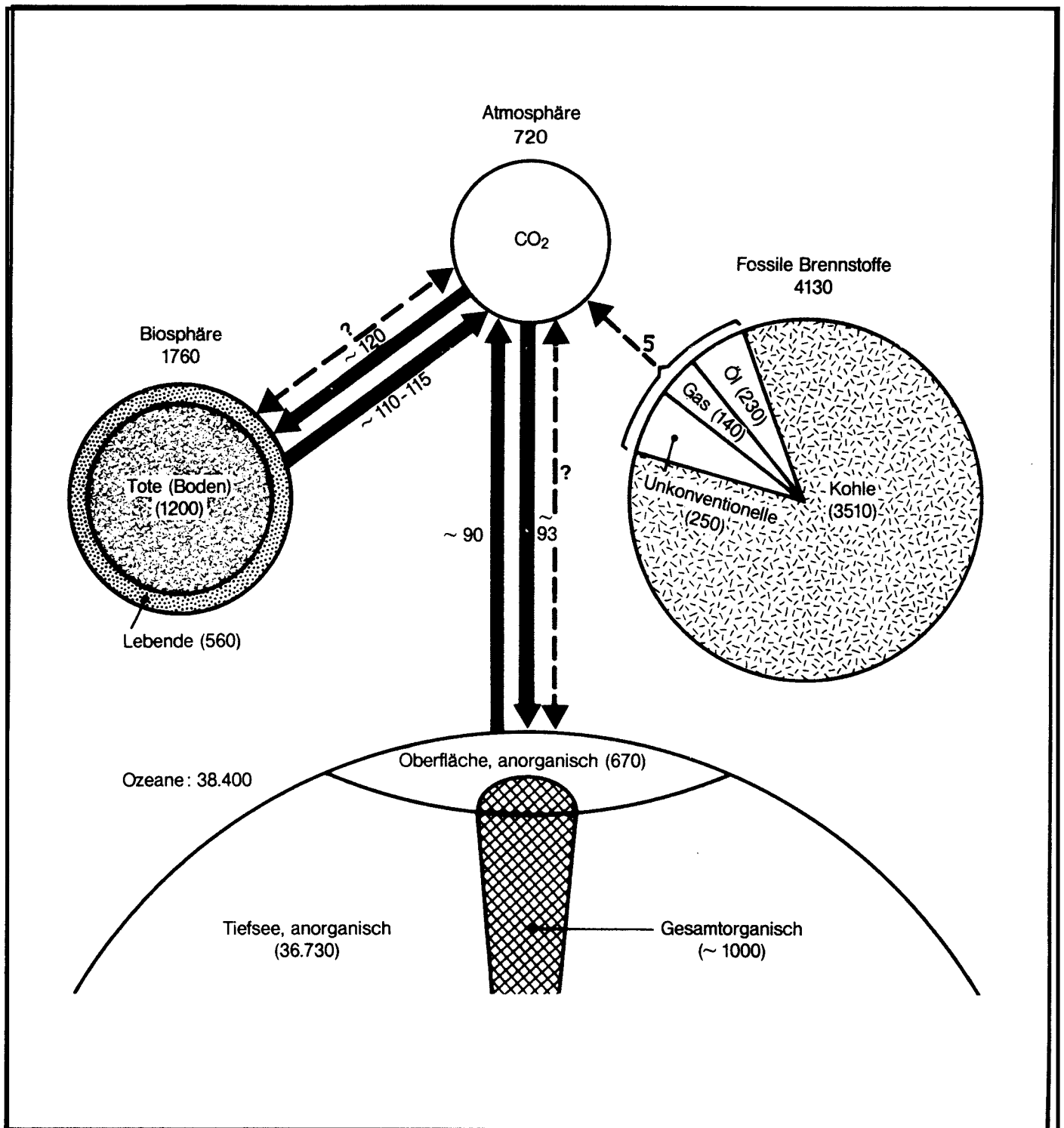
Quelle: Neftel u.a. 1985

Abbildung 3.3 (s. Clark 1982, S. 433) bietet eine vereinfachte Darstellung des Kohlenstoff-Zyklus: Die Größe der Kreise entspricht den Kohlenstoff-Beständen in den drei genannten Bereichen, und neben den Pfeilen, die die Richtung der Kohlenstoff-Ströme andeuten, sind auch die jährlichen Austauschraten angegeben. Die Kohlenstoff-Ströme zwischen den drei Hauptbereichen belaufen sich insgesamt auf ca. 400 Gt jährlich. Dagegen ist die Kohlenstoff-Menge, die jährlich als Nebenprodukt menschlicher Aktivitäten in Form von CO_2 freigesetzt wird, vergleichsweise klein: Die besten Schätzwerte für eine derzeitige Freisetzung sind $5,2 \pm 0,5$ Gt Kohlenstoff infolge Verfeuerung fossiler Brennstoffe und $1,6 \pm 0,8$ Gt Kohlenstoff infolge Entwaldung und veränderter Bodennutzung [Bolin 1986]. Insgesamt machen diese anthropogenen Beiträge weniger als 2 % des natürlichen Austausches aus.

Den anthropogenen Beiträgen kommt deshalb besondere Bedeutung zu, weil die freigesetzten Ströme in nur eine Richtung verlaufen. So sind im Zeitraum zwischen 1860 und 1984 vermutlich 183 ± 15 Gt Kohlenstoff durch Verfeuerung fossiler Brennstoffe und 150 ± 50 Gt durch Entwaldung und durch veränderte Bodennutzung zu den natürlichen Kohlenstoff-Beständen hinzugekommen [Bolin 1986]. Wie überzeugend argumentiert wird, erklären diese zusätzlichen Kohlenstoff-Mengen die kontinuierliche Erhöhung der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre von schätzungsweise 275 ± 10 ppmv Mitte des vergangenen Jahrhunderts auf den 1984 gemessenen Wert von 343 ± 1 ppm [Bolin 1986].

Figure 3.3.

Der globale Kohlenstoffkreislauf



Die Kohlenstoffspeicher und jährlichen Kohlenstoffflüsse sind in Gigatonnen Kohlenstoff angegeben. Gestrichelte Pfeile bezeichnen zusätzliche Flüsse von Kohlenstoff als Folge anthropogener Aktivitäten (Clark 82, modifiziert nach Bolin 86).

Die durch Verfeuerung der fossilen Brennstoffe entstandenen CO₂-Emissionen stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit der Höhe des Energieverbrauchs. Die vorliegenden Statistiken bezüglich des weltweiten Energieverbrauchs ermöglichen die Berechnung solcher Emissionen [Marland/Rotty 1983; Rotty/Marland 1986]. Die von beiden Autoren angeführten Daten zeigen, daß sich die CO₂-Emissionen als Folge der Verfeuerung fossiler Brennstoffe in den Jahren 1950 bis 1982 etwa um den Faktor 3 erhöht haben: diese Erhöhung entspricht dem Wachstum des Primärenergieverbrauchs und der beherrschenden Rolle der fossilen Brennstoffe im Energiesektor.

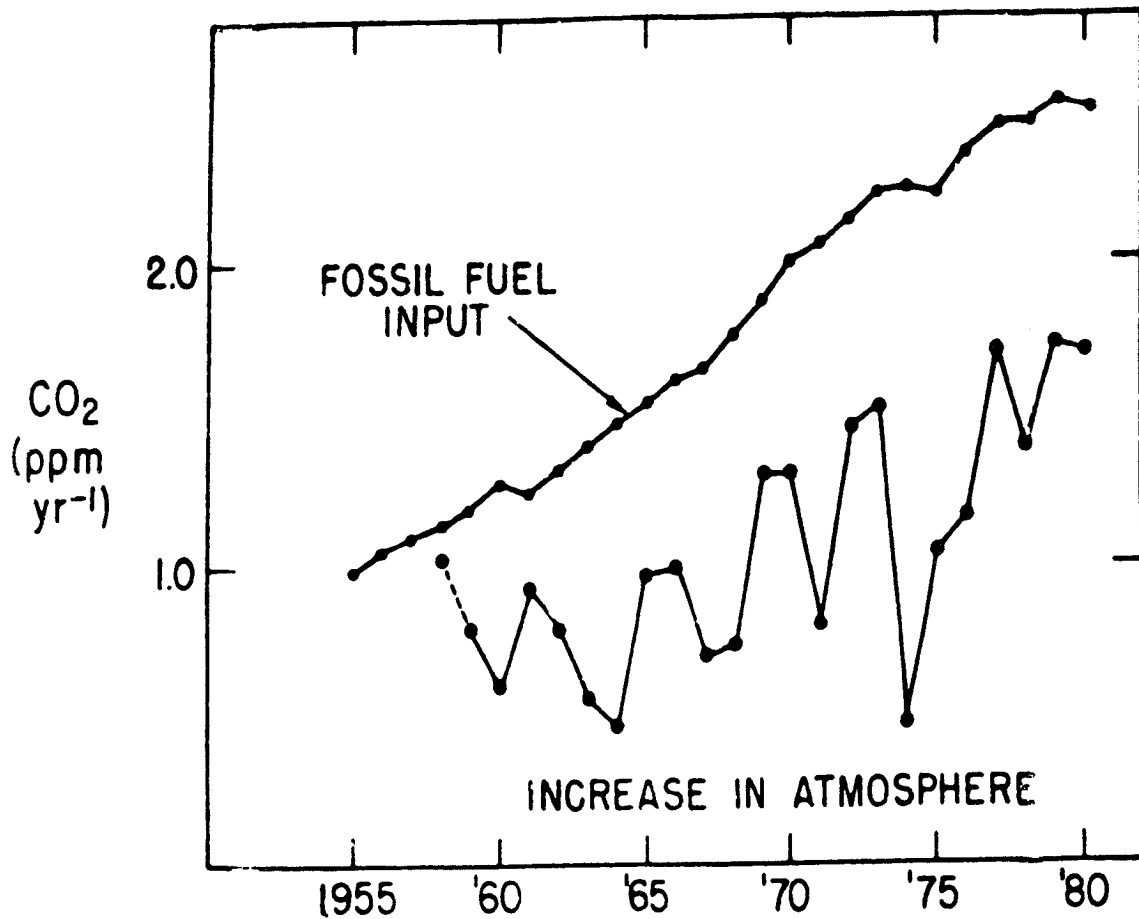
Ein Vergleich zwischen dem jährlichen Anstieg der CO₂-Emissionen (Gt Kohlenstoff) infolge Verfeuerung fossiler Brennstoffe und der jährlichen Zunahme der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre (ppmv) für die Jahre 1959-1982 erhärtet das Argument, letztere sei unmittelbare Konsequenz aus ersterem. Eine gute Korrelation wird mit der Annahme erreicht, daß beide Entwicklungen exponentiell verlaufen: Insbesondere weisen beide Datenreihen mit 19,3 und 20,3 Jahren ähnliche Verdopplungszeiten auf. Dies aber bedeutet, daß sich die jährlichen CO₂-Emissionen und die jährlich neu hinzukommenden CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre bis etwa zur Jahrhundertwende verdoppelt haben könnten, sofern die für die 60er und 70er Jahre charakteristische Entwicklungstendenz im weltweiten Energieverbrauch auch während der nächsten 20 Jahre anhält. Wie weiter unten noch zu erörtern ist, erweist sich diese Annahme jedoch als unzutreffend, zumal sich das Energiewachstum in den letzten 10 Jahren weltweit verlangsamt hat.

Aus dem Vergleich zwischen den Aufzeichnungen aus Mauna Loa und den CO₂ Emissionen läßt sich entnehmen, daß letzteres allerdings nicht gänzlich in der Atmosphäre verbleibt; vielmehr wird ein bestimmter Teil an anderer Stelle, vor allem durch die Ozeane, absorbiert. Der Teil der Emissionen, der in der Atmosphäre verbleibt, wird als "Luftanteil" bezeichnet. Abbildung 3.4 zeigt, daß es sich dabei nicht um eine Konstante handelt, auch wenn zu Berechnungszwecken vielfach ein Durchschnittswert eingesetzt wird. Die Höhe des Luftanteils hängt davon ab, welche Quellen berücksichtigt werden: Wird der Beitrag der Biosphäre außer acht gelassen, stellt der in der Atmosphäre verbleibende Teil derjenigen CO₂-Emissionen, die durch Verfeuerung fossiler Brennstoffe entstanden sind, den sogenannten "marginalen" Luftanteil dar. In den meisten Berechnungen wird der Beitrag der Biosphäre deshalb vernachlässigt, weil er im Vergleich zu den heutigen CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen als geringer betrachtet wird und bezüglich seiner Quantifizierung große Unsicherheit besteht.

Die erwarteten klimatischen Auswirkungen weiterhin ansteigender CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre machen eine ausführliche Untersuchung der Emissionsproblematik insbesondere im Hinblick auf die geographische Verteilung der Quellen erforderlich. Abbildung 3.5 zeigt, wie sich die Struktur der durch fossile Brennstoffe verursachten CO₂-Emissionen bisher entwickelt hat: Die Industrieländer in West und Ost tragen nach wie vor insgesamt am stärksten zum Anstieg der Emissionen bei, wenn auch mit rückläufigen Anteilen (1950: 88,9%; 1965: 81,1%; 1980: 73,2%). Andererseits haben die Entwicklungsländer ihren Beitrag in den

Fig. 3.4.

Verbrauch fossiler Energieträger und
atmosphärische CO_2 -Konzentration

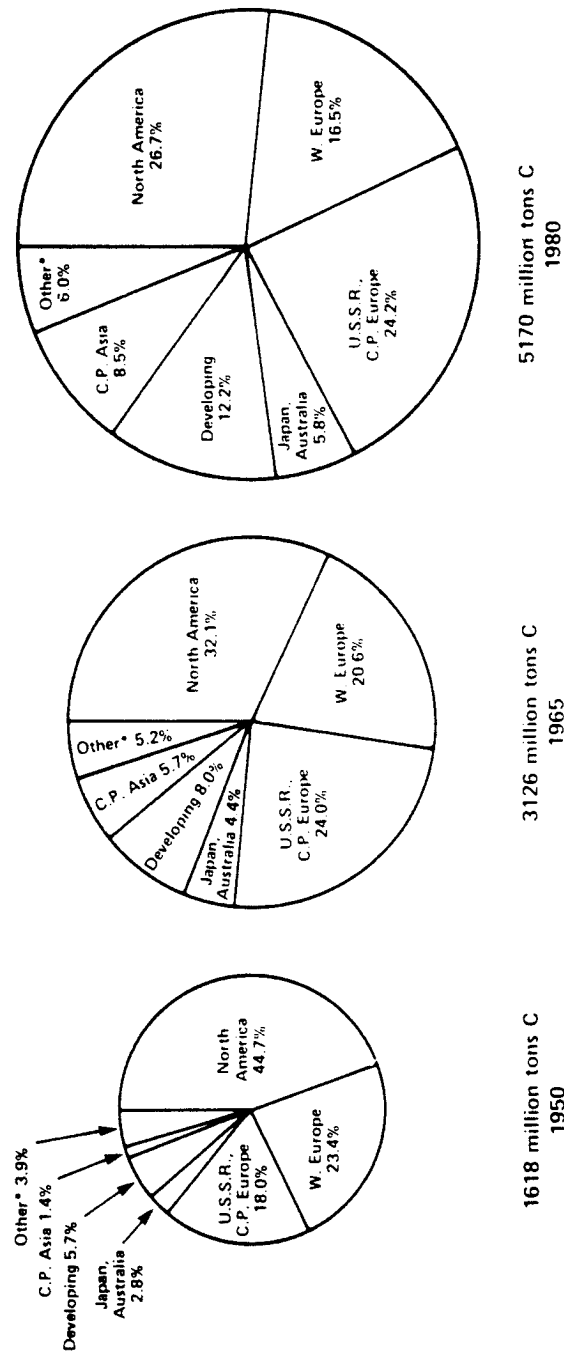


Obere Linie: Die jährliche Zufuhr von CO_2 aus fossilen Brennstoffen in die Atmosphäre, ausgedrückt als Anstieg der atmosphärischen CO_2 -Konzentration (ohne Berücksichtigung möglicher Entnahmen);

Untere Linie: Jährlicher Anstieg des atmosphärischen CO_2 , basierend auf den Durchschnittswerten von Mauna Loa (Quelle: Keeling 83).

Figur 3.5.

Die Muster der globalen CO₂-Emissionen



*Includes Worldwide Gas Flaring, Fuel in Bunkers,
Oxidation of Non-Fuel Petroleum Products

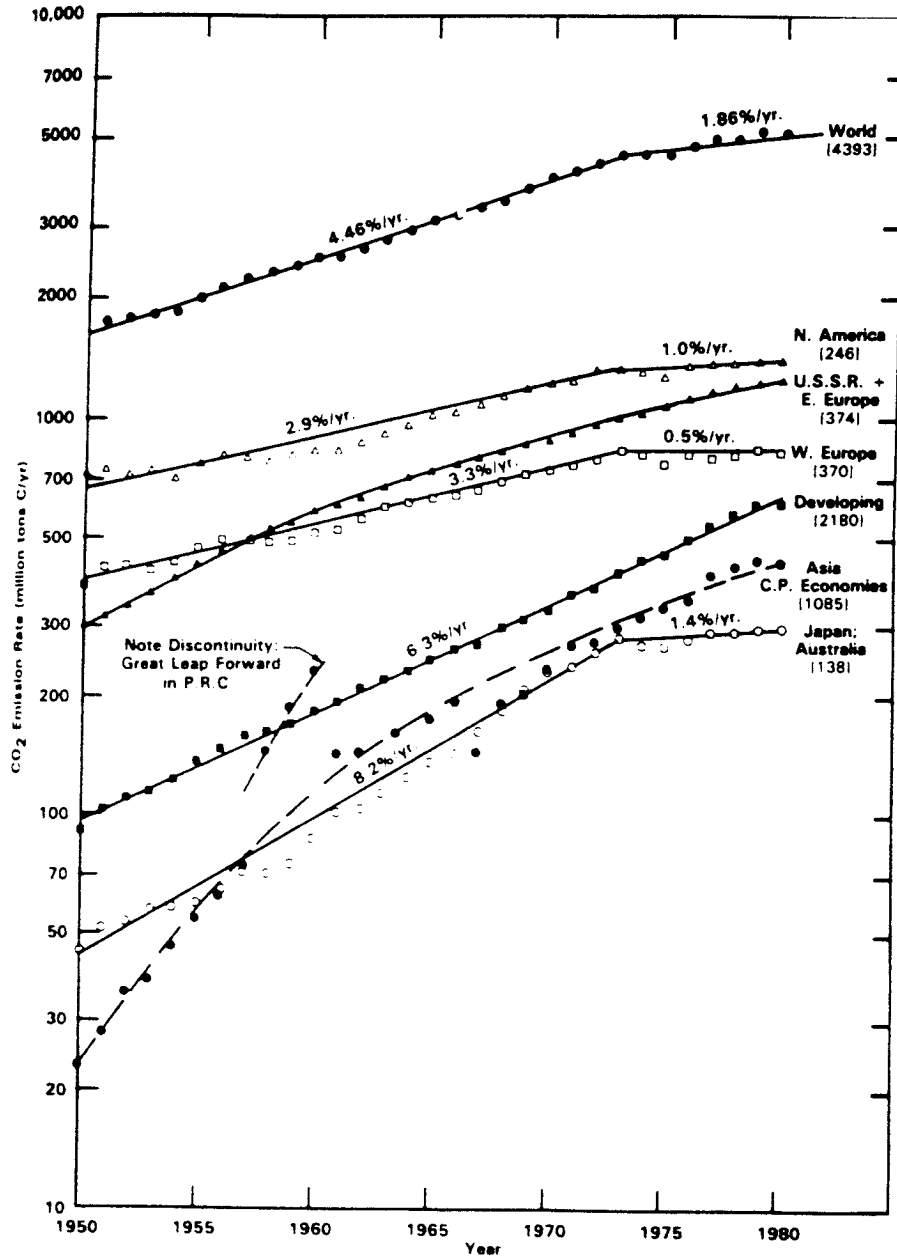
Nur Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger
(Quelle: Rotty/Marland 86).

Jahren 1950 - 1980 schneller erhöht als die oben genannten Industrieländer. Abbildung 3.6 verdeutlicht diesen Zusammenhang. Während die CO₂-Emissionen bis Anfang der 70er Jahre weltweit durchschnittlich um 4,46% jährlich angestiegen sind, erhöhten sich die der Dritten Welt zuzuordnenden Emissionen im gleichen Zeitraum um 7,7% jährlich. Im Gegensatz zu den seit Mitte der 70er Jahre in den übrigen Regionen zu verzeichnenden Reduktionen hat diese Entwicklung bis 1982 angehalten.

Die CO₂-Emissionen in der Dritten Welt haben sich in den beiden großen, in Abbildung 3.6 angeführten Regionen nicht gleichermaßen erhöht. Vielmehr scheint in den Zentralen Planwirtschaften Asiens, besonders in der Volksrepublik China, ein schnelleres Wachstum stattgefunden zu haben. Da sich die Werte lediglich auf CO₂-Emissionen infolge Verfeuerung fossiler Brennstoffe beziehen, sind sie im Fall der Dritten Welt als konservative Schätzungen zu verstehen, zumal dort die Entwaldung zum Zweck der Brennstoffgewinnung und der Bodennutzung für Landwirtschaft und Städtebau mit Sicherheit eine wichtige Rolle spielt. So sollen nach Angaben brasilianischer und amerikanischer Wissenschaftler (International Herald Tribune v. 13.-14.8.1988) im Jahre 1987 allein in Brasilien, vorwiegend im Amazonasbecken, etwa 200 000 km² Wald, das entspricht ca. 85 Prozent der Fläche der Bundesrepublik, durch von Menschen angelegte Feuer vernichtet worden sein (davon etwa 30 000 km² unberührter Wald). Die so freigesetzte Menge an Kohlenstoff (C) betrug 0.5 Gt. Das entspricht 60 Prozent der Menge, die alle OECD-Staaten Westeuropas aus dem Energiesektor freisetzen. Durch die Feuer wurden dazu noch etwa 70 Millionen Tonnen an Substanzen mit direkten und indirekten

Fig. 3.6.

Wachstum der CO₂-Emissionen
aus fossilen Energieträgern nach Weltregionen



(Quelle: Rotty/Marland 86)

klimatischen Auswirkungen frei (u.a. Kohlenmonoxid, Partikel, Methan, Ozone).

3.1.2. Szenarien

In Anbetracht der vorangegangenen Diskussion erweist sich eine Untersuchung künftiger globaler CO₂-Emissionen infolge Verfeuerung fossiler Brennstoffe als unbedingt erforderlich. Die Frage, wieviel Zeit noch verbleibt, bis eine diesen Emissionen zuzuschreibende Erwärmung eindeutig erkennbar wird, hängt wesentlich davon ab, wie hoch die Emissionsraten in Zukunft sein werden.

Neuere, kritische Überprüfungen einiger Energieprojektionen [Fischer/Häckel 1987; Keepin/Mintzer/Kristoferson 1986] und der entsprechenden CO₂-Emissionen [Keepin/Mintzer/Kristoferson 1986] haben ergeben, daß die in den 70er Jahren erstellten Schätzungen bezüglich der künftigen Erhöhung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen der tatsächlichen Entwicklung im letzten Jahrzehnt nicht entsprechen; die projektierten Werte sind einfach zu hoch. Allerdings läßt ein Vergleich der verschiedenen Studien auch deutlich werden, daß die Schätzungen insofern einem "Zeitgeist" entsprachen, als sie der jeweils absehbaren und vorherrschenden Beurteilung verschiedener demographischer, wirtschaftlicher und sozio-politischer Fragestellungen gefolgt sind. So enthalten die meisten dieser Studien Extrapolationen herkömmlicher Einsichten. Letztlich werden Projektionen immer mit Unsicherheiten behaftet

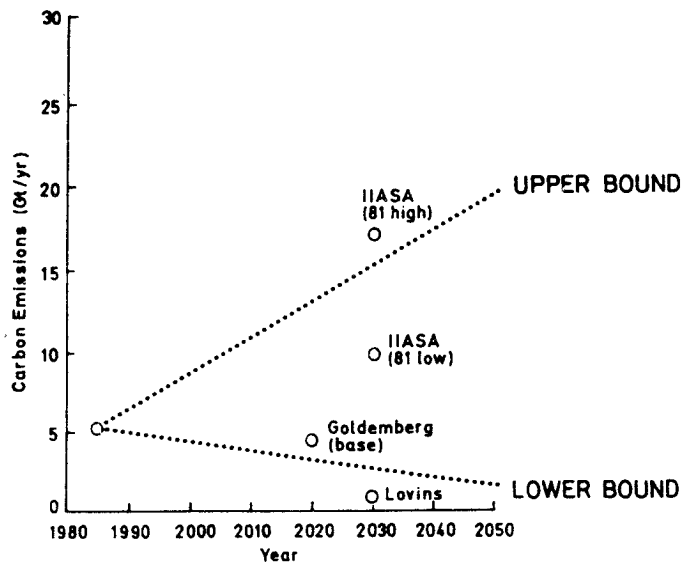
sein, die sich auch durch weitere Anstrengungen nicht beseitigen lassen; gerade diese Unsicherheiten gilt es bei ihrer Beurteilung besonders zu berücksichtigen.

Abbildung 3.7 verdeutlicht den Unsicherheitsbereich, der die bisherigen langfristigen Projektionen der CO₂-Emissionen kennzeichnet: Er reicht für das Jahr 2030 von etwa 17 Gt Kohlenstoffemissionen bis zu nur 2 Gt, wobei ein mittlerer Wert im IIASA-Low-Scenario mit 9.4 Gt liegt (s. Tabelle 3.2.). Da die Entwicklung des Energieverbrauchs nach der Ölkrise der 70er Jahre die früheren Wachstumserwartungen nicht erfüllt haben, revidierten die meisten der in den 80er Jahren durchgeführten Studien ihre Daten über den künftigen Energieverbrauch nach unten. Diese Annahme eines langfristig verlangsamten Wachstums hat durch die bisherigen Erfahrungen der 80er Jahre in gewisser Weise auch Bestätigung gefunden. Im folgenden Abschnitt sollen daher die Ergebnisse des *IIASA-Low-Scenario* [IIASA 1981] für die Analyse künftiger CO₂-Emissionen infolge Verfeuerung fossiler Brennstoffe maßgeblich sein.

Tabelle 3.1 zeigt die Projektionen für den Primärenergieverbrauch und die Zusammensetzung des Brennstoffangebots im *Low Scenario* der IIASA-Studie. Tabelle 3.2 enthält Angaben zu den entsprechenden CO₂-Emissionen, deren Berechnung auf der tatsächlichen Verfeuerung fossiler Brennstoffe unter Berücksichtigung der in der Literatur angegebenen Faktoren basiert [Edmonds/Reilly 1985]. Die Daten in Tabelle 3.1 lassen bis zum Jahr 2030 einen langsamen Anstieg des Energieverbrauchs mit einer jährlichen Steigerungsrate von 1,82% erkennen; für den Verbrauch fossiler Brennstoffe ist sogar eine

Fig. 3.7.

**Projektionen von Kohlenstoffemissionen
bis zum Jahr 2050**



(modifiziert nach Keepin u.a. 81)

IIASA = Energy in a Finite World, 1981

Goldemberg = J. Goldemberg u.a., An End-Use Oriented Global Energy Strategy, in: Annual Review of Energy, 1985, Vol. 10, S. 613-688

Lovins = A.B. Lovins u.a., Energy strategy for low climatic risks. Report for the German Federal Environmental Agency, R & D No. 10402513, June 1981.

Tabelle 3.1.

IIASA Low Scenario

*Primärenergie-Verbrauch
TWyr/yr*

	1975	2000	2030
ERDÖL	3.62	4.75	5.02
ERDGAS	1.51	2.53	3.47
KOHLE	2.26	3.92	6.45
<i>FOSSILE</i>	<i>(7.39)</i>	<i>(11.2)</i>	<i>(14.94)</i>
KERNENERGIE	0.12	1.29	5.17
WASSERKRAFT	0.50	0.83	1.46
SONNE	-	0.09	0.30
ANDERE	0.21	0.17	0.52
<i>SUMME</i>	<i>8.23</i>	<i>13.58</i>	<i>22.39</i>

Tabelle 3.2.

IIASA Low Scenario

*Schätzung der verbundenen CO₂-Emissionen
GT C*

	1975	2000	2030
ERDÖL	2.19	2.88	3.04
ERDGAS	0.65	1.09	1.50
KOHLE	1.70	2.94	4.84
<i>SUMME</i>	<i>4.54</i>	<i>6.91</i>	<i>9.38</i>

noch geringere Steigerungsrate von jährlich 1,28% angegeben, wobei die Annahme zugrunde lag, daß fossile Brennstoffe zu einem erheblichen Anteil durch Kernenergie ersetzt würden.

1986 veröffentlichte die *Conservation Commission* der Weltenergiekonferenz (WEC) ihre Beurteilung der langfristigen Entwicklung des Weltenergiebedarfs und der Ressourcen-Bilanz [*Conservation Commission* 1986]. Der "mittlere Fall" entspricht der derzeitigen Beurteilung des künftigen Energieverbrauchs, wobei gegenüber früheren Berechnungen der Weltenergiekonferenz ein verzögertes Vordringen der Kernenergie berücksichtigt wurde. Tabelle 3.3 stellt diese Energie-Projektionen dar, während Tabelle 3.4 die Werte für CO₂-Emissionen wiedergibt, die infolge der Verfeuerung fossiler Brennstoffe entstehen.

Die beiden Studien stimmen in ihrer Beurteilung des Energieverbrauchs bis Mitte des nächsten Jahrhunderts im wesentlichen überein. Die geringfügigen Abweichungen hinsichtlich der Höhe künftiger CO₂-Emissionen ergeben sich aus einem unterschiedlichen Brennstoffangebot: Während das *IIASA-Low-Scenario* für den Zeitraum zwischen 1975 und 2030 eine jährliche Steigerungsrate bei CO₂-Emissionen von 1,32% annimmt, wird im "mittleren Fall" der WEC für den Zeitraum zwischen 1980 und 2040 eine Steigerungsrate von 1,12% jährlich zugrunde gelegt. In diesem Zusammenhang ist besonders darauf hinzuweisen, daß die so ermittelten Steigerungsraten erheblich unter dem mit 4,46% angegebenen Wert für die jährliche Steigerungsrate der globalen CO₂-Emissionen in den Jahren zwischen 1950 und 1972 liegen.

Tabelle 3.3.

WEC 1986 Mittleres Szenario

*Primärenergie-Verbrauch
TWyr/yr*

	1980	1985	2000	2020	2040
ERDÖL	4.1	3.7	4.5	4.2	3.8
ERDGAS	1.7	1.9	2.5	3.5	4.0
KOHLE	2.4	2.8	3.8	6.1	7.7
(FOSSILE)	(8.2)	(8.4)	(10.8)	(13.8)	(15.5)
KERNENERGIE	0.3	0.4	1.1	2.2	3.1
ERNEUERBARE	1.5	1.6	2.8	4.0	5.3
SUMME	10.0	10.4	14.7	20.0	23.9

Tabelle 3.4.

WEC 1986 Mittleres Szenario

*Schätzung der verbundenen CO₂-Emissionen
Gt C*

	1980	1985	2000	2020	2040
ERDÖL	2.48	2.24	2.73	2.54	2.30
ERDGAS	0.73	0.82	1.08	1.51	1.73
KOHLE	1.80	2.10	2.85	4.58	5.78
SUMME	5.01	5.16	6.66	8.63	9.81

Beide Szenarien deuten darauf hin, daß die Entwicklungsländer einen zunehmenden Anteil der künftige CO₂-Emissionen übernehmen werden: von rund 19 % im Jahre 1980 werden sie 27 % im Jahre 2000 und im 2030 über ein Drittel der globalen Emissionen zu verantworten haben.

Was bedeuten nun die Projektionen für die künftige CO₂ Konzentration in der Atmosphäre? Einige einfache Berechnungen unter der Annahme, daß die vorliegenden Daten exponentiell verlaufen und daß der marginale Luftanteil gleich 0.5 ist, vermitteln eine ungefähre Orientierung.

Beide Szenarien zum künftigen Energieverbrauch haben ergeben, daß zwischen 2030 und 2040 eine CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von etwa 450 ppmv erreicht sein wird. Diese Schätzung entspricht dem 1982 vom *US Climate Review Panel* [Smagorinsky 1983] ermittelten Wert und wird auch in einer Reihe kürzlich erschienenener Publikationen [z.B. Ramanathan et al. 1985] als plausibles Ergebnis allgemein anerkannt. Wenn die CO₂-Emissionen in dem Maße zunehmen, wie dies in den oben beschriebenen Energieprojektionen angenommen wird, dürfte somit eine Verdopplung der vorindustriellen CO₂-Konzentration in der Atmosphäre frühestens drei Jahrzehnte später - in den 70er bis 80er Jahren des nächsten Jahrhunderts - erreicht sein. Eine Verdopplung des vorindustriellen Werts wäre jedoch schon viel früher - in den Jahren zwischen 2030 und 2040 - erreicht, wenn die CO₂-Emissionen in Zukunft wieder das Ausmaß annehmen sollten, das für die Zeit zwischen 1950 und 1972 kennzeichnend war.

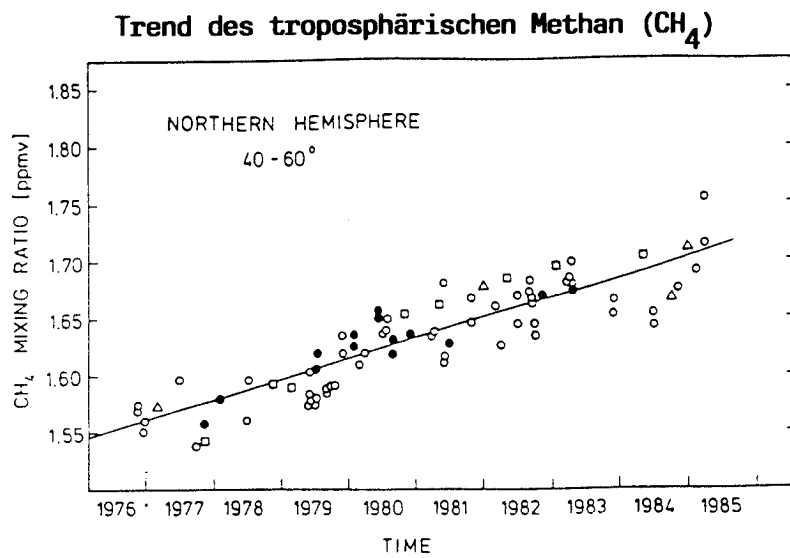
3.2. Veränderung in der Emission anderer Treibhaus-Gase

In den letzten 10 Jahren ist immer deutlicher geworden, daß außer CO_2 auch andere Spurengase -- und zwar in Konzentration im ppbv-Bereich, d.h. in der Größe von 1 zu 10^9 -- einen Treibhauseffekt haben. Diese Spurengase sind bei einer im Vergleich zu CO_2 um drei Größenordnungen geringeren Konzentration ähnlich wirksam wie Kohlendioxid. Aufgrund ihrer Strahlungseigenschaften sind Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O) troposphärisches Ozon (O_3) und zwei Chlorfluormethane, nämlich CFCl_3 (F 11) und CF_2Cl_2 (F 12), die wichtigsten dieser Treibhaus-Gase. Obwohl ihre Quellen bekannt sind, liegen bis auf die CFKW keine verläßlichen Informationen über die Emissionen vor. Daher sind wir auf Messung ihrer atmosphärischen Konzentrationen angewiesen. Diese sind direkte oder indirekte Folgeerscheinungen menschlicher Aktivitäten.

3.2.1. Die jüngste Vergangenheit

Abbildung 3.8 zeigt die Entwicklung der CH_4 -Konzentration in der Atmosphäre. Die Daten der vergangenen 10 Jahre lassen eindeutig einen Anstieg von etwa 1 % jährlich erkennen. Informationen bezüglich der langfristigen Entwicklung des CH_4 -Gehalts liefert die Analyse von Luftblasen in den Eisflächen Grönlands und der Antarktis. Die Messungen haben relativ konstante Mischungsverhältnisse vor 1700 n. Chr. ergeben. Der beobachtete Anstieg des CH_4 -Gehalts in der Atmosphäre hängt sehr wahrscheinlich mit den Aktivitäten des Menschen insbesondere im Bereich der Landwirtschaft zusammen, zumal Methan durch Reisfelder

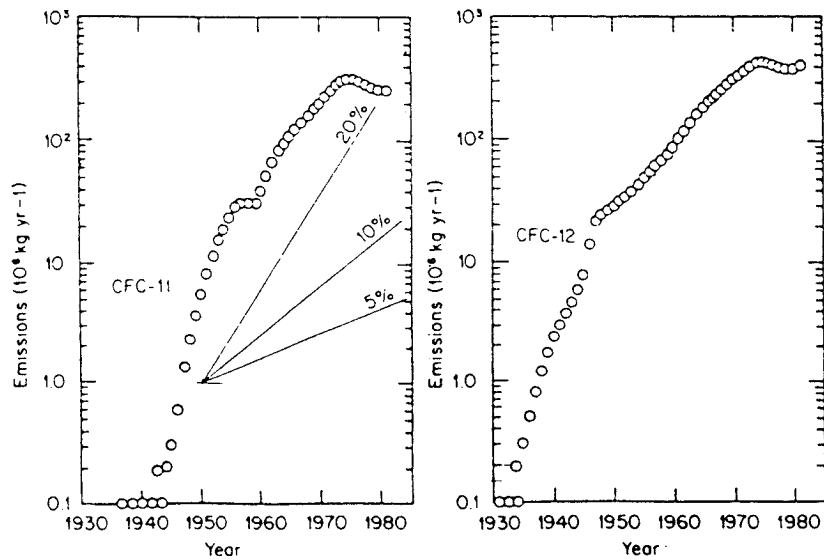
Fig. 3.8.



(Quelle: Bolle u.a. 1986)

Fig. 3.9.

Historische Emissionen von CFC_{13} und CF_2Cl_2



(Quelle: Bolle u.a. 86)

und enterische Fermentationsprozesse bei Tieren freigesetzt wird (Bolle et al. 1986).

In den letzten 100 Jahren ist auch ein Anstieg in der N_2O -Konzentration beobachtet worden. Die Steigerungsraten sind aber nicht so hoch wie beim Methan. Während sie in den 70er Jahren auf 0,2 % jährlich geschätzt wurde (Weiss 1981), lassen kürzlich durchgeführte Messungen darauf schließen, daß die derzeitige jährliche Steigerungsrate eher bei 0,3 % liegt (NRC 1983). Die menschlichen Tätigkeiten, die zur N_2O -Erhöhung beitragen, sind Landwirtschaft, Einsatz fossiler Brennstoffe und Verbrennung von Biomasse.

Der Ozon-Gehalt in der unteren Atmosphäre (Troposphäre) steigt infolge photochemischer Prozesse. In den vergangenen 20 bis 30 Jahren hat eindeutig eine Erhöhung des Ozon-Gehalts in den mittleren und höheren Breitengraden der nördlichen Hemisphäre stattgefunden. Die derzeitige jährliche Steigerungsrate wird auf 1-2 % geschätzt (Bolle et al. 1986).

Chlorfluorkohlenwasserstoffe (CFKW) werden für zahlreiche Verwendungszwecke wie Lösungsmittel, Kühlflüssigkeiten und Spraydosen-Treibgas produziert. Auch wenn Messungen in der Atmosphäre erst seit 10 Jahren durchgeführt werden, lassen sich die CFKW-Konzentrationen in früheren Zeiten auf der Grundlage von Produktions- und Emissionsdaten ableiten. Abbildung 3.9 zeigt die Entwicklung der Emission von F11 und F12 seit den 30er Jahren. Auch andere nicht so häufig vorkommende Chlor- und Fluor-

Verbindungen weisen erhebliche Wachstumsraten auf und verstärkten somit den Treibhaus-Effekt.

3.2.2. Szenario

Ramanathan et al. [1985] haben die klimatischen Auswirkungen aller dieser Gase unter Berücksichtigung der für 1980 ermittelten Konzentrationen untersucht und auch die Konsequenzen eines Szenariums erforscht, dem ihre eigenen Schätzungen hinsichtlich der in Zukunft zu erwartenden Emissionen zugrunde liegen. Dieses Szenarium ist in Tabelle 3.5 wiedergegeben. Die Ergebnisse der Berechnungen, die die ein-dimensionalen Strahlungskonvektionsmodelle haben ergeben, daß die "anderen" Treibhaus-Gase mit etwa 50% an den auf CO₂ zurückgeführten Auswirkungen im Jahr 1980 beteiligt gewesen sein könnten und daß sie möglicherweise den Treibhaus-Effekt infolge CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2030 um einen Faktor zwischen 1,5 und 3 erhöhen, wenn ihre Konzentration in der Atmosphäre in dem im Szenario angenommenen Maß zunimmt.

Bolle et al. [1986] haben dazu folgendes bemerkt: "Es ist durchaus interessant, den Einfluß anderer Treibhaus-Gase in der Atmosphäre als äquivalente zusätzliche CO₂-Konzentration darzustellen, was hinsichtlich der Erwärmung der Erdoberfläche ungefähr die gleichen Auswirkungen hätte." Seinen Ermittlungen zufolge entspricht die künftige Zunahme der im Szenarium berücksichtigten anderen Treibhaus-Gase (s. Tabelle 3.5) für das Jahr 2030 einem zusätzlichen CO₂-Wert von 140 ppm, so daß die CO₂-Konzentration

Tabelle 3.5.

*Werte (1980) und Projektionen (2030) über einige
Treibhausgase in der globalen Atmosphäre*

	Durchschnittliche Kon- zentration, ppb		Durch. Verweildauer in Jahren
	1980	2030	
Distickstoff Ox., N_2O	300	375	120
Methane, CH_4	1650	2340	5-10
Ozone, O_3 (trop.)	Wachstum 0.25%/Jahr		0.1-0.3
$CFCl_3$ (F 11)	0.18	1.1	65
CF_2Cl_1 (F 12)	0.28	1.8	110

(nach Ramanathan u.a. 85, s.a. Fig. 4.1.)

dann insgesamt mit einem potentiellen Wert von 590 ppm über dem oben erörterten CO₂-Verdopplungswert liegt.

3.3. Limitierung der Emissionen bei Treibhaus-Gasen

Solche Überlegungen haben dazu geführt, daß die Entwicklung von Strategien zur Vermeidung oder zumindest Verzögerung einer voraussichtlichen Erwärmung der Erdoberfläche viel Beachtung gefunden hat. Die damit verbundenen klimatischen Auswirkungen sind möglicherweise so schwerwiegend, daß sich eine Reduktionsstrategie zur Verringerung der CO₂-Emissionen als angemessen erweist (s. auch Abschnitt 7.).

Im Fall von CO₂ ist eine Strategie zur Reduzierung der Emissionen mit der Notwendigkeit einer quantitativen und qualitativen Umstrukturierung des globalen Energiesystems verbunden. Genau darum geht es bei der Erarbeitung von Modellen künftiger Energiesysteme. So haben auch die von Keepin, Mintzer und Kristoferson [1986] erörterten Energieanalysen zu verschiedenen Szenarien geführt, die den jeweils auf Prognosen demographischer und ökonomischer Zuwachsraten beruhenden Anforderungen an Energieleistungen Rechnung tragen. Wenn die zu erbringenden Energieleistungen konstant bleiben, stellt sich die Frage, ob die damit verbundenen CO₂-Emissionen allein durch technische Maßnahmen zu reduzieren sind.

Es ist darauf hinzuweisen, daß die genannten Energieszenarien nicht als eine Antwort auf die CO₂-Frage konzipiert wurden.

Allerdings sind gewisse Maßnahmen, die eine Reduktion der CO₂-Emissionen bewirken würden, in den meisten Szenarien enthalten: Sie umfassen Effizienzverbesserungen oder die Ersetzung fossiler Brennstoffe durch nichtfossile Energieträger. Beispielsweise hat das IIASA-Low-Szenario den Einfluß eines ständig verbesserten Wirkungsgrad bei Energieumwandlung und Endverbrauch in seine Berechnungen einbezogen und so eine Einsparung von rund 1/3 der globale Endenergie bis zum Jahr 2030 ermittelt, die natürlich eine Verminderung von CO₂-Emissionen bewirkt würde.

Im allgemeinen aber sind Energiestudien eher pauschal auf eine Wirkung technologischer Fortschritt eingegangen. Dagegen enthält ein im Jahre 1986 erschienener Forschungsbericht die Ergebnisse einer detaillierten Analyse von Verbesserungsmöglichkeiten hinsichtlich des technischen Wirkungsgrads bei vorhandenen und potentiellen Endverbrauchstechnologien sowie bei Technologien auf dem Gebiet der Elektrizitätserzeugung. Es zeigt sich, daß bis zu 58% des Bedarfs an fossilen Brennstoffen im Jahr 2050 eingespart werden könnten: "Kohlenstoff-Emissionen lassen sich von 17 Gt C ohne Wirkungsgradverbesserungen auf 7 Gt C mit den in dieser Studie dargestellten Wirkungsgradverbesserungen reduzieren." [Cheng/Steinberg/Beller 1986.] Der mit Wirkungsgradverbesserungen zu erreichende Wert von 7 Gt Kohlenstoff entspricht den Emissionswerten, die in den beiden weiter oben beschriebenen Szenarien (s. Abschnitt 3.1.2.) für das Jahr 2000 angenommen worden sind. Die Studie von Cheng, Steinberg und Beller [1986] macht überdies deutlich, daß eine nur pauschale Berücksichtigung von Wirkungsgradverbesserungen zu einer Unterschätzung der damit

möglicherweise verbundenen Reduktion von CO₂-Emissionen führen kann.

Eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung potentieller Reduktionen bei CO₂-Emissionen besteht darin, die interne Austauschbarkeit fossiler Brennstoffe zu untersuchen. Betrachtet man noch einmal die in den Tabellen 3.1 und 3.3 dargestellten Szenarien, so ist leicht zu erkennen, daß eine Substitution aller flüssigen und festen Brennstoffe durch Erdgas zu einer Verringerung der CO₂-Emissionen von etwa 30% führen würde. Beispielsweise würde die Realisierung des IIASA Low Szenarios eine kumulative Verbrennung von insgesamt 633 Twa fossiler Energieträger bedeuten. Die Zusammensetzung der Energieträger wird in Tabelle 3.6 verdeutlicht (IIASA 1981, II, Tabelle 17/14, S. 589). Aus dieser Tabelle geht ebenso hervor, daß eine solche Verbrennung eine Gesamtemission von 391 Gt Kohlenstoff in der Form von CO₂ über den hier in Betracht befindlichen Zeitraum von 55 Jahre bringen würde. Angenommen, Erdgas würde die gesamte eingesetzte Kohle und das gesamte Erdöl in dieser Periode ersetzen, könnten die CO₂-Emissionen auf 273 Gt Kohlenstoff, d.h. um nur 30 % reduziert werden. Einer solchen Substitution kommt allerdings keine praktische Bedeutung zu, da keinerlei Angaben darüber gemacht werden, was technisch möglich ist. Vielmehr ist zunächst einmal festzustellen, in welchen Anwendungsbereichen Brennstoffe eingesetzt werden, die wie die Motorkraftstoffe auf dem Transportsektor nicht ohne weiteres substituierbar sind. Allerdings ist eine Substitution indirekt möglich, indem beispielsweise durch Umwandlung von festen Brennstoffen oder Erdgas flüssige Brennstoffe hergestellt werden: Die Vorteile einer solchen Substitution sind danach zu beurteilen,

Tabelle 3.6.

IIASA Low Scenario

*Kumulativer Verbrauch von fossilen Brennstoffen
und die verbundenen CO₂ - Emissionen*

	Primärenergie TWyr	CO ₂ -Emissionen Gt C
ERDÖL	264	160
ERDGAS	145	63
KOHLE	224	168
<i>FOSSILE INS</i>	<i>633</i>	<i>391</i>

wie wirtschaftlich die beteiligten Prozesse sind und welche Emissionen bei den gewählten Umwandlungstechniken anfallen.

Unter Berücksichtigung solcher Faktoren hat Hiller [1987] kürzlich verschiedene Substitutionsmöglichkeiten unter Bezugnahme auf allgemein bekannte und kommerziell wettbewerbsfähige Technologien untersucht. Allerdings lautete die Fragestellung bei ihm etwas anders: Sein Interesse galt insbesondere der Erhöhung von CO₂-Emissionen, wie sie bei der Substitution derzeit verwendeter flüssiger Brennstoffe durch Kohle bzw. die flüssigen und gasförmigen Derivate aus ihrer Umwandlung anfallen. Seine Ausgangsdaten waren die nach Quellen aufgeschlüsselten globalen CO₂-Emissionswerte für 1985: Die von ihm betrachteten Emissionen waren entweder auf direkte Verbrennung (Wärmeerzeugung) oder auf den Einsatz von Motorkraftstoffen (Transportwesen) zurückzuführen. Dabei ging er von der vereinfachenden Annahme aus, daß die globale Verbrauchsstruktur dem für die Bundesrepublik Deutschland charakteristischen Verbrauch entspricht. Wenn bei der direkten Verbrennung Kohle anstelle von Ölprodukten eingesetzt würde, nähmen die Emissionen um 11% zu; mit einer Erhöhung um 45% wäre zu rechnen, wenn auch Motorkraftstoffe durch flüssige Brennstoffe ersetzt würden, die wie Benzin und Dieselöl über Prozesse der Kohleverflüssigung hergestellt werden. Wenn außer der Substitution

von Öl auch noch Erdgas durch Synthesegas aus der Kohlevergasung ersetzt würde, stiegen die CO₂-Emissionen um 82% an. Würde andererseits überall dort Erdgas eingesetzt, wo derzeit flüssige Brennstoffe zur Anwendung kommen, ließen sich nur 8% der CO₂-Emissionen einsparen.

Natürlich läßt sich eine Reduzierung von CO₂-Emissionen erreichen, indem die fossilen Brennstoffe durch nicht-fossile Energiequellen ersetzt werden. Da diese Alternative bei den meisten Projektionen vorrangig betrachtet wird, sollen die weitreichenden Möglichkeiten einer erheblichen Emissionsreduzierung, wie sie mit dem Einsatz von Kernenergie, Sonnenenergie sowie andere nichtfossile Energiequellen verbunden wäre, hier nicht weiter erörtert werden.

Bezüglich einer Reduzierung der Emissionen bei anderen Treibhausgasen ist darauf hinzuweisen, daß einige Staaten in dem 1987 vereinbarten (noch nicht in Kraft getretenen) *Protokoll von Montreal* festgelegt haben, Produktion und Verbrauch von Chlorfluorkohlenwasserstoffen bis zur Jahrhundertwende um 50% zu verringern. Diese Konvention ist eine praktische Maßnahme im Sinn des *Wiener Abkommens zum Schutz der Ozon-Schicht* (1985). Weniger einfach erscheint zur Zeit die Entwicklung von Strategien und Zielvorstellungen zur Reduzierung von Emissionen bei anderen Spurengasen wie Methan und Distickstoffoxid. Die damit verbundene Problematik sollte aufgegriffen werden, um durch kontinuierliche Forschungsbemühungen zu weiteren Erkenntnissen über Produktion und Emissionen dieser Spurengase zu gelangen.

Faßt man zusammen, so zeigt sich, daß die Problematik einer durch Treibhaus-Gase verursachten möglichen Klimaerwärmung nicht auf die Betrachtung von CO₂-Emissionen infolge Verfeuerung fossiler Brennstoffe beschränkt sein darf, auch wenn die Freisetzung von CO₂ aufgrund der direkten Verbindung mit dem Energiesektor sowie der Bedeutung dieses Gases als der wichtigsten anthropogene Quelle bei bisherigen Betrachtungen im Vordergrund gestanden hat. Überdies gilt es, mehr über den Beitrag der Biosphäre zur CO₂-Freisetzung in Erfahrung zu bringen. Aber als noch dringlicher erweist es sich, die voraussichtliche Erhöhung der Emissionen anderer Treibhaus-Gase mit ihren langen Verweilzeiten in der Atmosphäre und starken Strahlungseigenschaften zu erfassen und in die Projektionen einzubeziehen.

Die Betrachtung der potentiellen klimatischen Auswirkungen von Emissionen, wie sie im Rahmen durchaus moderater Szenarien hinsichtlich des künftigen Energieverbrauchs sowie unter Berücksichtigung plausibler Steigerungsraten für andere Treibhaus-Gase heute abgeschätzt werden können, legt somit die Vermutung nahe, daß eine "effektive" Verdopplung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre noch vor Mitte des nächsten Jahrhunderts erreicht sein könnte.

In dem nächsten Abschnitt wird das Problem einer Überführung von Emissionsdaten bzw. atmosphärischen Treibhausgasen in Temperaturwerte mit Hilfe von Klimamodellen diskutiert.

4. Klimatische Veränderungen auf Grund von anthropogenen Treibhausgasen.

4.1 Die Ergebnisse von Klimamodellen

Zur Erfassung des Einflusses von Treibhausgasen auf das Klima stehen Klimamodelle unterschiedlicher Komplexität zur Verfügung. Die frühesten und einfachsten sind null-dimensionale Energiebilanzmodelle. Später kamen eindimensionale Strahlungs-Konvektions-Gleichgewichtsmodelle hinzu, heute finden auch dreidimensionale allgemeine Zirkulationsmodelle Verwendung. Bei einer Verdoppelung des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre errechnen fast alle Klimamodelle einen Anstieg der durchschnittlichen globalen Oberflächentemperatur von 1.5 Grad C bis 4.5 C, d.h. die Modellunsicherheit beträgt bei einem erwarteten Temperaturanstieg von 3°C +/- 50 Prozent.

Die verwendeten Klimamodelle lassen keinen Hinweis darauf zu, welcher Temperaturanstieg überhaupt als noch vertretbar betrachtet werden kann. Um das zu leisten, müßten die mit einem bestimmten mittleren Temperaturanstieg einhergehenden lokalen und regionalen Klimaänderungen bestimmt werden: Zu erfassen wäre also die Gesamtheit aller für biologische und zivilisatorische Abläufe relevanten Klimavariablen (neben der Temperatur vor allem die Niederschlagsverteilung, ihre saisonale Spreizung, die Häufigkeit von extremen Ereignissen etc.). Das ist nicht möglich. Zu einem Teil hat das seine Ursache in den Schwächen der heutigen Klimamodelle. Zu ihnen zählen:

- eine zu starke Vereinfachung der Modellierung des Ozeans;
- die ungenügende Erfassung des Wasserkreislaufs, insbesondere der Wolkenbildung;
- die ungenügende Erfassung "subskaliger" Phänomene, d.h. solcher Phänomene mit geringerer Auflösung als in den heutigen Modellen verfügbar.

Über die Aussagen einer globalen mittleren Temperaturveränderungen hinaus lassen die jetzt verfügbaren Klimamodelle nur einige grobe Abschätzungen zu den regionalen klimatischen Folgen zu: So nimmt man an, daß die durchschnittliche Temperatur vom Äquator in Richtung Pol immer mehr ansteigen; der Temperatureffekt ist größer im Winter als im Sommer; Niederschlagsmengen nehmen in polaren Breiten im Winter zu, während die Niederschlagsmengen in mittleren Breiten im Sommer reduziert sind.

Quantitativen Aussagen über den Zusammenhang zwischen einer Erhöhung des CO₂-Gehaltes und einer daraus resultierenden mittleren Temperaturerhöhung gelten nur im Sinne einer Störungsrechnung. Aus den verfügbaren Klimamodellen läßt sich nicht ablesen, bis zu welcher Störungstiefe die Ergebnisse der Rechnungen zutreffende Voraussagen abgeben. Es ist unklar, bei welcher Störungstiefe sich das Verhalten des Klimasystems grundsätzlich verändert. Damit ist auch offen, ob eine Temperaturerhöhung von "nur" 1.5° C bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts einen noch tolerierbaren menschlichen Eingriff darstellt, oder ob eine solche Entwicklung nicht zu unabsehbaren

Folgen führt, beispielsweise zu einer Veränderung der Strömungsmuster in einzelnen Ozeanen mit drastischen regionalen Konsequenzen (Broecker 1987).

4.2 Gegenüberstellung von Modellrechnungen und beobachteten Temperaturveränderungen

Die beobachteten globalen durchschnittlichen Schwankungen in der mittleren Oberflächentemperatur seit 1860 sind in Abbildung 2.3. dargestellt. Die Werte lassen zwischen 1880 und 1985 eine mittlere Erwärmung um etwa 0.5°C erkennen. Wigley et al. (1986) errechneten für diesen Zeitraum auf der Basis von Modellergebnissen, daß die erhöhten Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre (unter Einbeziehung der zeitlichen Verzögerung infolge Wärmeaufnahme durch die Ozeane sowie Berücksichtigung aller Modellunsicherheiten) eine Erwärmung zwischen 0.3°C und 1.1°C in diesem Zeitraum verursacht hat. Der beobachtete Temperaturanstieg liegt damit zwar innerhalb des von Modellen vorausgesagten Bereichs, ist aber wissenschaftlich-exakt nicht ausschließlich auf die Auswirkung erhöhter Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre zurückzuführen (WCP 1986). Eine kürzlich durchgeführte Gegenüberstellung (Wigley/Raper 1987) hat ergeben, daß die beobachtete Temperaturveränderung gegenüber der von Klimamodellen vorausgesagten Veränderung eher klein ist. Vermutlich ist diese Diskrepanz darauf zurückzuführen, daß entweder die Sensitivität des Klimasystems gegenüber einer CO_2 -Erhöhung in den Modellen überschätzt worden ist, oder daß ein

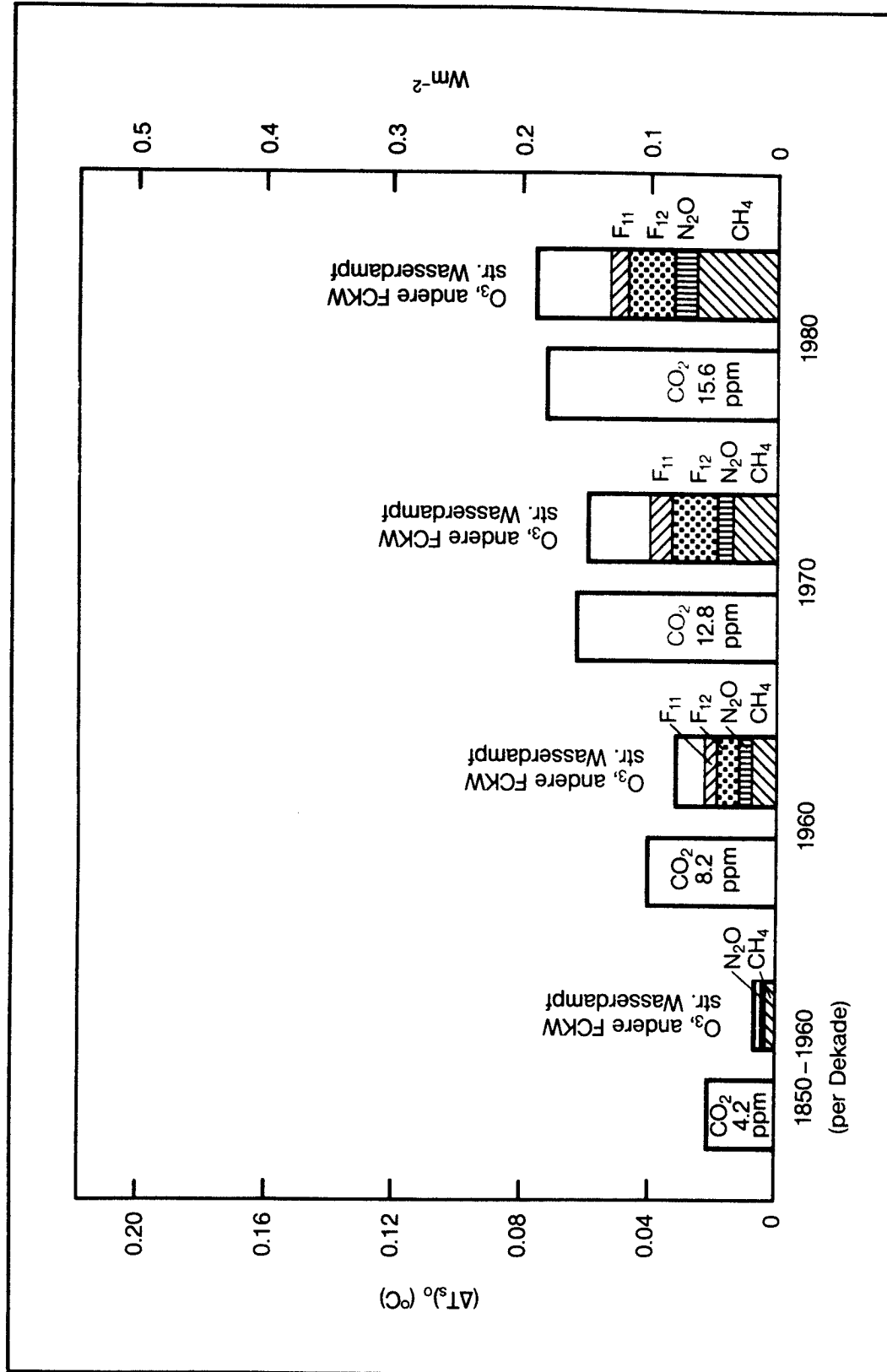
weiterer Einflußfaktor hinzukommt, der im Verlauf des letzten Jahrhunderts eine allgemeine Abkühlung bewirkt hat.

Anhand der beobachteten Entwicklungen bezüglich der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre haben Ramanathan et al. (1986) den globalen durchschnittlichen Treibhauseffekt für alle Dekaden in dem letzten Jahrhundert berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4.1. zusammengestellt. Zwischen 1850 und 1960 hat die Kohlendioxid-Konzentration um etwa 4,2 ppmv pro Dekade zugenommen. In dieser Zeit haben die Konzentrationen und dadurch auch der Treibhauseffekt von den anderen Treibhausgasen nicht so schnell zugenommen. In den letzten 30 Jahren tragen die anderen Treibhausgase in einem dem CO₂ vergleichbaren Ausmaß zum Treibhauseffekt bei. In den 80er Jahren schließlich war die Zunahme des Treibhauseffektes etwa viermal so groß wie die Zunahme pro Dekade in den Jahrzehnten vor 1960 (s. Abbildung 4.1.).

4.3 Künftige Veränderungen infolge von Treibhausgasen.

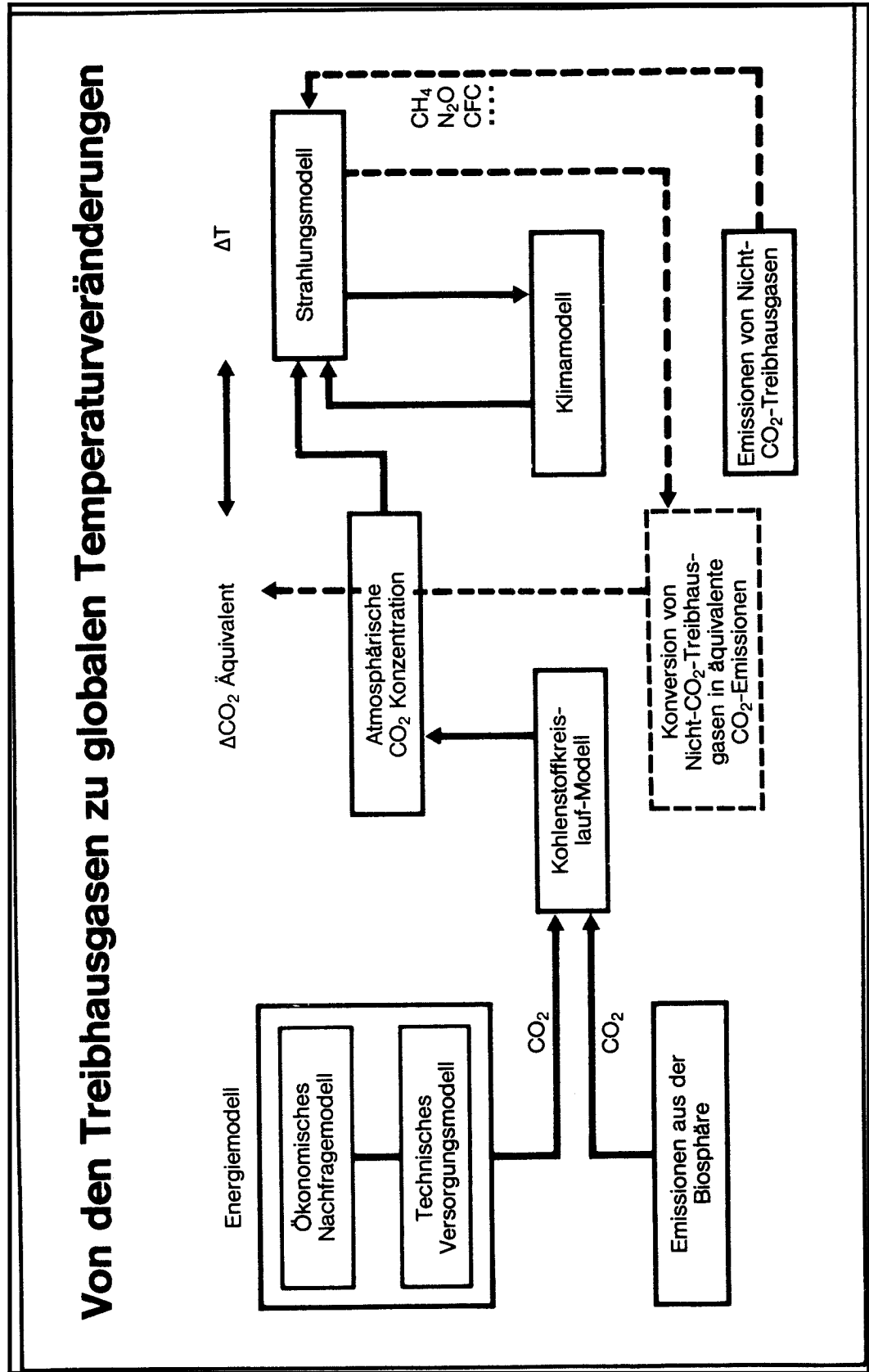
Um die heutigen klimatischen Veränderungen infolge von Treibhausgasen vorauszusagen, werden eine Reihe von Modellen gebraucht. Abbildung 4.2 zeigt, welche Verwendung finden und wie sie verkoppelt sind. Um die CO₂-Emissionen zu erfassen, werden Energie-Modelle (technische und ökonomische Modelle) und Biosphären-Modelle benötigt. Die errechneten CO₂-Emissionen gehen in ein Kohlenstoffkreislaufmodell ein, um die künftige atmosphärische CO₂-Konzentration zu berechnen. Klimamodelle und Strahlungsmodelle werden eingesetzt, um die Auswirkungen von Änderungen in den Konzentrationen von Treibhausgasen zu

Fig. 4.1.



Strahlungsbilanzänderung am Atmosphärenrand pro Jahrzehnt verursacht durch Zunahme der Spurengaskonzentration, getrennt nach CO_2 und anderen Treibhausgasen (Quelle: Graßl 88)

Fig. 4.2.



untersuchen. In den meisten Studien werden die Auswirkungen von allen Treibhausgasen kombiniert, indem der reale CO₂-Effekt mit dem "äquivalenten" CO₂-Effekt von den anderen Treibhausgasen summiert wird. Mit Hilfe von Strahlungsmodellen wird der Treibhauseffekt von anderen Treibhausgasen in CO₂-Äquivalenten ausgedrückt.

In den letzten zehn Jahren haben sich eine Reihe von Studien mit den möglichen klimatischen Auswirkungen erhöhter Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre befaßt (z.B., Clark, 1982; Seidel/Keyes, 1983; CDAC, 1983; Bolin et al., 1986). Während die früheren Studien sich auf die CO₂-Auswirkungen konzentrierten, berücksichtigen die neueren Arbeiten auch die Auswirkungen anderer Treibhausgase. Wie oben beschrieben, erfordert eine Untersuchung potentieller klimatischer Auswirkungen die Erstellung von Schätzwerten hinsichtlich der künftigen Emissionen von Treibhausgasen, der künftige Konzentration der Gase in der Atmosphäre und der daraus resultierenden Klimaänderungen. Wie schon in Abschnitt 3 dargelegt, liegen große Unsicherheiten in den Voraussagen von künftigen atmosphärischen CO₂-Konzentrationen in der Projektion künftiger CO₂-Emissionen und den noch mehr im Ungewissen liegenden Entwicklungen der Emissionen anderer Treibhausgase.

Dazu kommt, daß bei CO₂ unterstellt wird, daß sich der Luftanteil künftig nicht nennenswert verändert. Der für die letzten drei Jahrzehnte gebrauchte Zahlenwert liegt bei 50%. Modelle des Kohlenstoffkreislaufes (Oeschger u.a. 1975, Maier-Reimer/Hasselmann 1987) lassen die Möglichkeit offen, daß bei einer Verminderung künftiger CO₂-Emissionen der Luftanteil geringer werden und auf diese Weise über längere Zeiträume hinweg

(trotz - beschränkter - weiterer Emissionen) der atmosphärische CO_2 -Pegel stabilisiert werden könnte (Firor 88). Diese Kohlenstoffkreislaufmodelle vernachlässigen aber die Wirkung der marinen Biomasse. Die Aufnahmefähigkeit der einzelnen Ozeanschichten wird durch biologische Prozesse auf indirekte Weise und in nichtlinearer Form beeinflusst. Es kann gegenwärtig nicht entschieden werden, ob unter Berücksichtigung der biologischen Prozesse künftig ein größerer oder auch ein kleinerer Anteil der in die Atmosphäre abgegebenen CO_2 -Menge vom Ozean aufgenommen wird.

Bei den "Workshops" in Villach und Bellagio über Klimaprobleme und die mit ihnen verbundenen politischen Herausforderungen wurden drei Szenarien von Klimaveränderungen durch Treibhausgase vorgestellt, die etwa den Zeitraum bis zum Jahr 2030 abdecken (Jäger 88). Ein Trendszenario, in dessen Rahmen politisch bereits vereinbarte Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasen schon berücksichtigt wurden, unterstellt eine jährliche Steigerung der CO_2 -Abgaben um 2 Prozent und einen Zuwachs bei den anderen Treibhausgasen zwischen 0.3 und 1% pro Jahr. Wenn angenommen wird, daß die Sensitivität des Klimasystems eher einen mittleren Wert hat (bezogen auf das aus den Klimamodellen resultierende Wertespektrum), so errechnet sich ein durchschnittlicher Anstieg der globalen Mitteltemperatur von 0.3°C pro Dekade und ein Anstieg der Ozeane um 6 cm pro Dekade. Ein Szenarium steigender Emissionen, in dem eine Forcierung des Wirtschaftswachstums ohne Beachtung der emissionsseitigen Folgen angenommen wird, läßt nicht nur eine Steigerung der Kohlendioxid-Abgaben auf 13 Gt Kohlenstoff pro Jahr, sondern auch ein verstärktes Wachstum anderer Treibhausgase zu. Die berechnete Temperaturerhöhung beträgt unter

der Annahme mittlerer Klimasensitivität dann 0.6° C pro Dekade, und der Meeresspiegel steigt um 12 cm pro Dekade. Im Szenarium reduzierter Emissionen werden realisierbare politische Eingriffe mit dem Ziel unterstellt, die Emissionen zu verlangsamen und dann zu reduzieren. Die Kohlendioxid-Emissionen sollen auf 3 Gt Kohlenstoff pro Jahr reduziert und die atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid stabilisiert werden. Bei diesem Szenarium (mittlere Klimasensitivität unterstellt) läßt sich der Temperaturanstieg auf 0.1° C und der Meeresanstieg auf 1 cm pro Dekade begrenzen. Die Szenarien zeigen, daß eine Fortschreibung heutiger Emissionstrend oder gar ihre Beschleunigung drastische Klimaveränderungen zur Folge haben könnten. Im Zeitraum 2000-2050 würden die so errechneten globalen Temperaturänderungen $0.1^{\circ}\text{ C/Dekade}$ im "unteren" Szenarium betragen, $0.3^{\circ}\text{ C/Dekade}$ im Trendszenarium und $0.6^{\circ}\text{ C/Dekade}$ im "oberen" Szenarium. Interessant ist ein Vergleich der sich im IIASA-Low-Szenario ergebenden Erhöhungen von Kohlendioxid-Emissionen mit den drei Szenarien: IIASA-Low läßt eine Steigerung der Kohlendioxid-Emissionen von 1.32 Prozent pro Jahr zu und liegt damit deutlich unter dem "Trendszenario". Dies bedingt der relativ hohe Anteil an Kernenergie, aber auch die erwartete größerer Nutzungseffizienz der Energie. Insofern ist IIASA Low - ohne daß dies von den Konstrukteuren des Szenarios gewollt wurde - in einer realistischen Bandbreite von Szenarien zur Begrenzung des CO_2 -Problems.

In dem nächsten Abschnitt soll untersucht werden, welche Temperaturerhöhung überhaupt noch als tolerierbar betrachtet werden kann und worin ein solcher Maßstab liegen könnte.

5. Ein Entscheidungsrahmen zur Beurteilung des CO₂ Problems

Umsetzung bestehender Unsicherheiten in ein quantitatives Bild

In dem Abschnitt 2. ist der Zusammenhang zwischen den Veränderungsgeschwindigkeiten der globalen Mitteltemperatur und den maximal erreichten Temperaturhüben herausgestellt worden, der das Verhalten des globalen Klimas in den Zeiten herausragender Klimaumbrüche charakterisiert. Die in Abbildung 2.2 enthaltene Variabilität der globalen Mitteltemperatur wurde dort als Grenze des "Erfahrungsbereiches" des Planeten Erde mit Klimaveränderungen interpretiert.

Die mit Hilfe von Klimamodellen projizierten Anstiegsraten der globalen Mitteltemperatur sind im vorhergehenden Abschnitt diskutiert worden. Sie streuen über einen weiten Bereich, abhängig von der Größe der künftigen anthropogenen Emissionsraten an Treibhausgasen und abhängig von der Sensitivität des Klimasystems. Unabhängig von der Streubreite der Klimaprojektionen erhebt sich die Frage, welcher Eingriff in das globale Klima maximal toleriert werden könnte oder sollte. Eine Antwort dazu können die Klimamodelle selbst nicht liefern. Hinweise zu einer Beurteilung des Treibhausproblems sind vorläufig nur aus einem Vergleich der projizierten mit den in der Vergangenheit abgelaufenen natürlichen Klimaänderungen herzuleiten. Dort liegt wenigstens eine zwar nicht im Einzelnen verstandene, aber quantitativ rekonstruierbare Fülle von Reaktionen des Klimasystems auf eine ebensolche Fülle von externen und internen Störungen vor. Alle

grundsätzlich möglichen Rückwirkungen sind in diesem realen System implizit berücksichtigt. In Abbildung 5.1 sind nun die bis zum Jahr 2040 projizierten Temperaturanstiege und die daraus errechenbaren Anstiegsgeschwindigkeiten der historischen Klimavariabilität gegenübergestellt. Die ovale Fläche deckt jenen Bereich ab, der sich aus den Unsicherheiten über die tatsächlichen Emissionsverläufe an Treibhausgasen und aus der Unsicherheit über die "klimatische Antwort" ergibt. Bei einer höheren Sensitivität des Klimas, die in Abbildung 5.1 dem rechten Drittel der ovalen Fläche entspricht¹, befände sich das globale Klimasystem in 50 Jahren schon sehr weit außerhalb des Bereiches, für den aus wissenschaftlicher Sicht analoge Erfahrungen aus der Vergangenheit nicht nur für eine Beurteilung, sondern auch für begründbare technische Maßnahmen herangezogen werden können. Selbst wenn die Sensitivität des Klimas gegenüber Treibhausgasen am unteren Ende der abgeschätzten Bandbreite läge, würde bei einer Fortsetzung der gegenwärtigen Emissionstrends der historische Erfahrungsbereich schon kurz nach der Jahrtausendwende verlassen.

Bereits in der Nähe, erst recht aber jenseits dieses Grenzbereiches sind die wahrscheinlichen Reaktionen des Klimasystems auf die ihm aufgeprägten anthropogenen Störungen mit Hilfe von Klimamodellen, die die Verhältnisse nur in einem stabilen Zustand modellieren, keineswegs mit der Konfidenz abschätzbar, die bei kurzfristigen und geringen Störungen noch gegeben sein mag. Die heute diskutierten Emissionsszenarien für die Treibhausgase führen schon alleine aus diesem Grund in einen Bereich

¹ Hohe Intensivität entspricht hier einer Temperaturerhöhung von 4,5°C bei einer Verdoppelung der atmosphärischen CO₂ Konzentration.

Fig. 5.1

Vergleich der projizierten anthropogenen Klimaveränderungen
mit der rekonstruierten Variabilität des Klimas

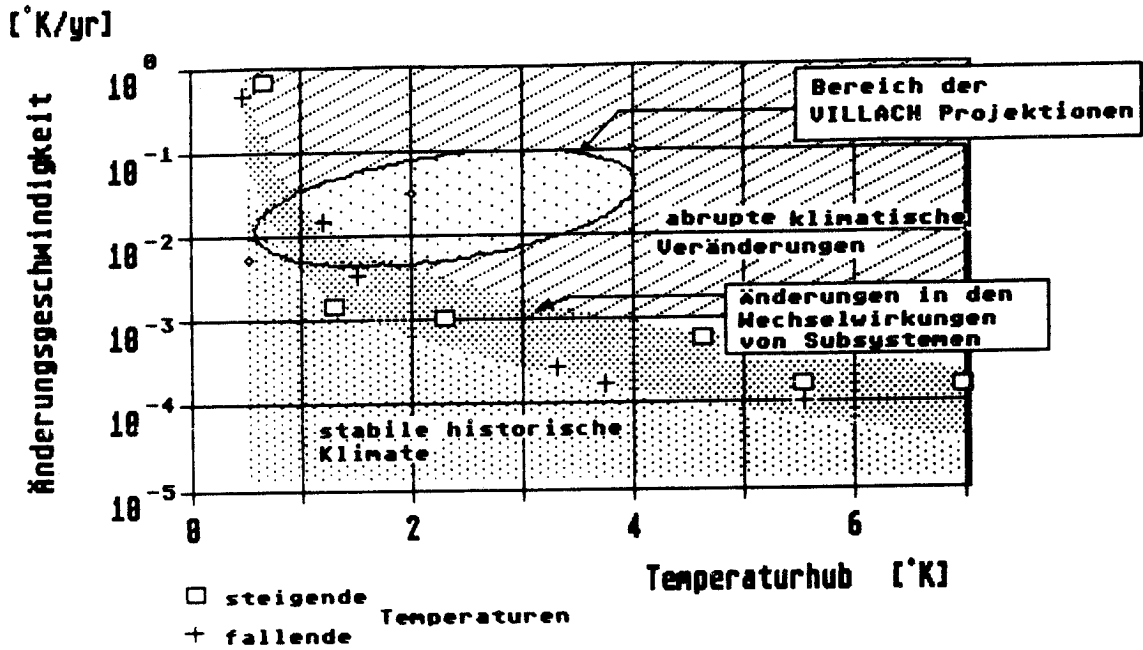
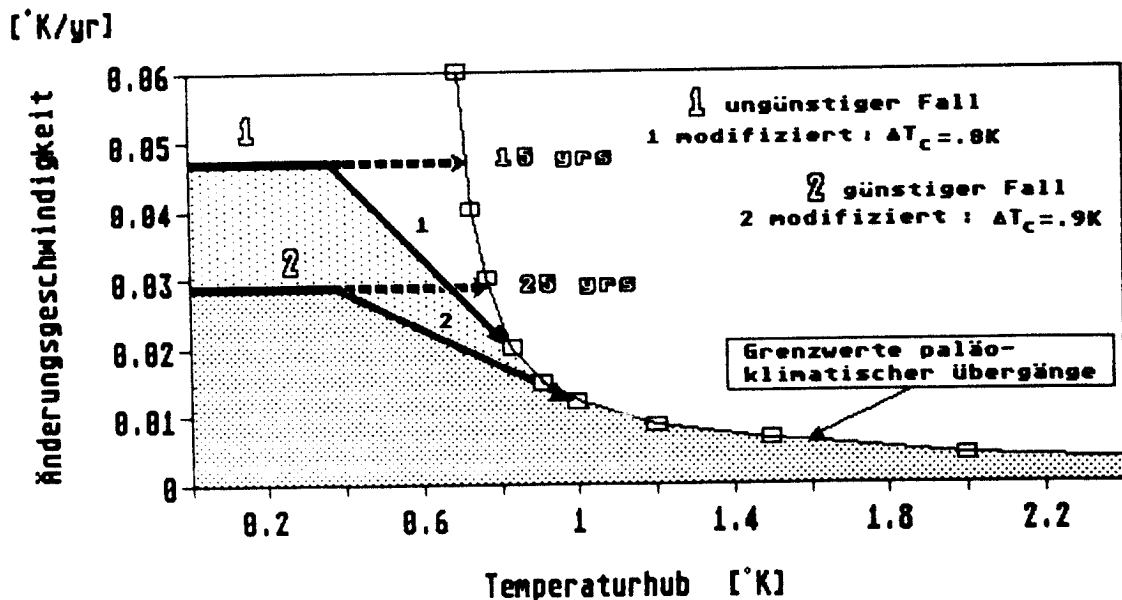


Fig. 5.2

Normative Beschränkung der anthropogenen Klimaveränderungen
unter Berücksichtigung einer Überlagerung mit natürlichen
Klimafluktuationen



fundamentaler *Undeutlichkeit*. Wegen der so gegebenen Unvorhersagbarkeit der klimatischen Entwicklung verschwimmen auch die Möglichkeiten zur Begrenzung von Gefahren, die aus Klimaveränderungen erwachsen. Verlängert man den Betrachtungshorizont über die nächsten 2 oder 3 Jahrzehnte hinaus, dann entzieht sich das Treibhausproblem jeder klaren, wissenschaftlichen Erfassung.

Angesichts der Unmöglichkeit, eine naturwissenschaftlich präzise benennbare obere Grenze für die Folgen einer massiven Störung des Klimas durch den Menschen angeben zu können, liegt es nahe, das Problem durch eine normative Forderung aufzulösen: Sie lautet, die Emission von Treibhausgasen künftig so zu begrenzen, daß der historisch vorgegebene Erfahrungsbereich maximal beobachteter klimatischer Störungen nicht verlassen wird.

Sie kann nur durch eine baldige und kräftige Verminderung von Emissionen erfüllt werden. Die erforderliche Größe dieser Verminderung hängt von den Undeutlichkeiten ab, die den Emissions-szenarien, den verwendeten Klimamodellen und dem Verlauf der Grenzkurve der historischen Erfahrung mit Klimaänderungen zugeordnet werden müssen.

Die Umsetzung dieser Undeutlichkeiten in eine Bandbreite verantwortlich zu setzender maximaler Emissionsraten für Treibhausgase, insbesondere auch für CO₂, konstituiert einen Entscheidungsrahmen. Bezogen auf das ad hoc gesetzte qualitative Ziel, den

klimatischen Erfahrungsbereich nicht zu verlassen, liefert die Umkehrung der üblichen Funktionskette

EMMISSION --- KLIMAÄNDERUNG --- FOLGEN

in einem Kalkül der folgenden Art

ZU VERMEIDENDE FOLGEN -- ZU VERMEIDENDE

STÖRUNGSTIEFE -- MÖGLICHE EMISSIONEN

eine Gruppe normativer, dynamischer Emissionsstandards. Deren Bandbreite spiegelt dann das Maß der Unsicherheiten und Undeutlichkeiten wieder, die sich in der ersten Funktionskette addieren.

Um mit einem solchen Entscheidungsrahmen quantitative Ergebnisse zu erzielen, sind eine Reihe von Festlegungen notwendig. Eine erste Beurteilung des CO₂ Problems ergibt sich aus der Betrachtung eines sehr vereinfachten Falles, bei dem angenommen wird, daß die Emissionen von Treibhausgasen von Beginn der neunziger Jahre an festgeschrieben und keine weiteren Steigerungen zugelassen werden. Repräsentiert wird dieser Fall durch:

- die Festlegung konstanter Emissionswerte ab 1990. Sie schließen ein: CO₂ Emissionen aus fossiler Verbrennung in Höhe von 5 Gt Kohlenstoff pro Jahr; CO₂ Emissionen aus der Nettoverminderung an Biomasse durch Rodung von Waldflächen und Ausdehnung landwirtschaftlicher Aktivitäten auf einem

Niveau von 1 GtC/Jahr²; Emissionen der übrigen Treibhausgase auf dem Niveau der mittleren Erfahrungswerte für die 90er Jahre.³

- die Umrechnung der Emissionsraten aller anderen Treibhausgase außer CO₂ in eine CO₂ äquivalente Emissionsrate und die Verknüpfung zwischen diesen äquivalenten Emissionsraten und dem Aufbau eines entsprechenden äquivalenten CO₂ Pegels. Die von Keeling seit Ende der 50er Jahre durchgeführten regelmäßigen Messungen über den Anstieg des CO₂ Gehaltes ergeben zusammen mit den in Wirtschaftsstatistiken erfaßten globalen Emissionen an CO₂, daß die Emission von 1 Gt Kohlenstoff in Form von CO₂ zu einer Erhöhung des CO₂ Pegels um 0,25 ppmv führt. Der von Bolle et al. (Bolle et al. 86) abgeschätzte Verlauf der Emissionsraten in den kommenden Jahrzehnten und der sich daraus ergebende Beitrag zum Treibhauseffekt entspricht einer gemittelten äquivalenten Emissionsrate von 8 GtC Äquivalenten pro Jahr. Mit Blick auf wahrscheinliche, verstärkte Anstrengungen zur Verminderung auch der Emissionsraten in diesem Bereich werden hier als Mittelwert für das nächste Jahrzehnt nur 7 GtC Äquivalente pro Jahr angesetzt.

² 1 GtC/Jahr an CO₂ Emissionen aus Landwirtschaft und allgemeiner Ausdehnung der intensiven Landnutzung ist ein sehr konservativer Wert. Für 1980 liegen die Schätzungen bei bis zu 1,8 GtC/Jahr mit steigender Tendenz.

³ Auch dabei handelt es sich um einen sehr niedrig angesetzten Wert, vor allem wegen der notwendigen Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion als Folge der wachsenden Weltbevölkerung.

- die Benutzung des durch Klimamodelle quantifizierten Zusammenhanges zwischen einer Erhöhung des Pegels an Treibhausgasen und der dadurch induzierten Erhöhung der globalen Mitteltemperatur. Für den hier betrachteten vereinfachten Fall findet der mittlere Erwartungswert von $0,011^{\circ}\text{C}$ Temperaturanstieg bei einer Erhöhung des CO_2 -Gehaltes der Atmosphäre um 1 ppmv Anwendung⁴.

Die angegebenen quantitativen Festlegungen führen zu einer mittleren Erwartung von etwa $0,36^{\circ}\text{C}$ Temperaturanstieg pro Dekade. Dies ist vergleichbar mit dem im Abschnitt 4 vorgestellten Trendszenario.

In welchem Umfang die hier betrachtete Emissionsbeschränkung durch natürliche Klimafluktuationen in ihrer Wirkung potentiell unterstützt oder beeinträchtigt wird, ergibt sich für den ungünstigen Fall aus einer Addition und für den günstigeren Fall aus einer teilweisen Kompensation von natürlichen Temperaturfluktuationen und Temperaturerhöhungen, die durch Treibhausgase hervorgerufen werden. Die in den vergangenen 120 Jahren beobachtete natürliche⁵ Variabilität ist in Abbildung 2.3 angegeben worden. Für eine Zeitspanne von 3 bis 4 Jahrzehnten, die dem Beurteilungshorizont entspricht, lag der größte beobachtete Temperaturanstieg bei $+0,125^{\circ}\text{C}$ pro Dekade, der größte beobachtete

⁴ Das entspricht einem rechnerischen Anstieg der globalen Oberflächentemperatur um 3°C bei einer Verdoppelung des vorindustriellen CO_2 Pegels.

⁵ Unter natürlicher Variabilität werden hier alle Temperaturschwankungen subsummiert, die nicht auf die vom Menschen verursachten Emissionen von Treibhausgasen zurückzuführen sind. Dabei kann es sich teilweise auch um andere anthropogene Klimaeinflüsse, etwa um die Sekundärfolgen einer Veränderung der globalen Biomasse, handeln.

Abfall bei $-0,07^{\circ}\text{C}$ pro Dekade (Jones et al. 86). Die Überlagerung der vorherrschenden natürlichen Variabilität mit einem aufgeprägten mittleren Erwärmungstrend führt zu einer Bandbreite an möglichen Anstiegsraten für die globale Mitteltemperatur zwischen $+0,048^{\circ}\text{C}$ pro Dekade im ungünstigen Fall und $+0,29^{\circ}\text{C}$ pro Dekade im günstigen Fall.

Wie sich in Abbildung 5.2 zeigt, verkürzt oder verlängert eine nicht auszuschließende natürliche Fluktuation der globalen Mitteltemperatur jenen Zeitraum erheblich, der bei einem unmittelbaren Einfrieren der Emission von Treibhausgasen noch zur Verfügung steht, bevor die aufgestellte Forderung verletzt würde, innerhalb des klimatischen Erfahrungsbereiches zu verbleiben. Bereits an dem eben skizzierten Trivialfall erweist sich, daß eine vorausschauende Entscheidung mit dem Ziel, den klimatischen Erfahrungsbereich nicht zu überschreiten, durch bestehende Undeutlichkeiten über Größe und Richtung natürlicher Klimafluktuationen immer erschwert, nicht aber entlastet wird. Die Erfordernis, auf der sicheren Seite zu bleiben, legt es nahe, die einzuleitenden Maßnahmen an dem ungünstigen Fall (in Abbildung 5.2 ist das die obere Kurve) und nicht an der erwarteten Teilwirkung aus den anthropogenen Emissionen zu orientieren. Ein "mittlerer Fall" ist aus diesem Grund in Abbildung 5.2 gar nicht eingetragen worden.

Die zweite Art der Undeutlichkeit, die in eine Entscheidung über zu treffende Maßnahmen einbezogen werden muß, betrifft die tatsächliche Lage der Grenzkurve. Ihr Verlauf ist aufgrund des sehr lückenhaften und ungenauen Kenntnisstandes über die einzelnen Klimaepisoden der Vergangenheit nur annähernd zu vermuten. Die

Breite des in der Abbildung 5.1. schattierten Grenzbereiches ist sehr groß⁶. In dem mit Abbildung 5.2 vorgestellten Entscheidungsrahmen entspricht die ausgezogene Grenzkurve dem oberen Rand des durch die historischen Daten in Abbildung 5.1. aufgespannten Grenzbereiches. Eine solche Wahl ist gleichbedeutend mit einer optimistischen Entscheidungsposition. Selbst die Verknüpfung zweier aus heutiger Sicht optimistischer Annahmen, die aktuell getroffene Festlegung der Grenzkurve und das Einfrieren der Emissionsraten auf einem niedrigen Niveau, würde überraschend früh zum Überschreiten des historischen Erfahrungsbereiches führen: Für den günstigen Fall ist das in etwa 25, im ungünstigen Fall bereits in weniger als 20 Jahren zu befürchten. Mit einer entsprechenden Geschwindigkeit müßte sich das globale Klimasystem danach von der Grenzkurve weg bewegen. Denn es liegt natürlich auf der Hand, daß eben auch die Beibehaltung einer geringen Temperaturerhöhungsrate nach genügend langer Zeit zu beliebig hohen Temperaturanstiegen führt.

Um das gesetzte Ziel zu erreichen und unterhalb der Grenzkurve zu bleiben, müßten die Emissionsraten aller Treibhausgase also in der allernächsten Zukunft nicht nur eingefroren, sondern stark zurückgenommen werden. Eine abrupte Änderung globaler Verhaltensweisen erst kurz vor Erreichen der gesetzten Grenzkurve erscheint unmöglich. Einer allmählichen Rücknahme der Emissionsraten ist in Abbildung 5.2 dadurch Rechnung getragen worden, daß nach Ablauf der halben Zeit bis zum Erreichen der Grenzkurve die zulässigen

⁶ Das in Abbildung 2.3. eingetragene Band hat wegen des halbglobalrithmischen Maßstabes eine Breite von einer Zehnerpotenz: Der Übergang zwischen deutlich voneinander zu unterscheidenden klimatischen Zuständen ist bezüglich der Geschwindigkeit, mit der sie erfolgt sind, nur innerhalb eines Faktors 10 eingegrenzt.

Temperaturanstiegsraten linear abgebaut werden und sich schließlich der Grenzkurve anschmiegen.

Eine solche Vorgabe für künftige Begrenzungen der anthropogenen Störung stellt sicher, daß bei annähernd konstanten Abbauraten der auf diese Weise definierte dynamische Emissionsstandard möglichst vollständig ausgeschöpft wird.

Die beiden in Abbildung 5.2 mit den Ziffern 1 und 2 bezeichneten Pfade geben zeitabhängige globale Standards für eine (wahrscheinlich als obere Grenze anzusehende) Störung des globalen Klimas vor. Ihre Differenz ergibt sich aus der vorläufig nicht zu reduzierenden Unsicherheit über das Auftreten natürlicher Klimafluktuationen in den kommenden Jahrzehnten.

6. Bandbreiten für eine Begrenzung des künftigen Einsatzes an fossiler Energie

Die technische Herausforderung des Treibhausproblems

Die eben hergeleiteten Vorgaben für eine künftig zu reduzierende anthropogene Klimabeeinflussung durch die Emission von Treibhausgasen bedürfen der Umsetzung auf eine operationale Ebene. Dafür wäre eine versuchsweise Zuordnung der notwendigen Begrenzungen einzelner Emissionen notwendig. Das müßte sowohl nach wirtschaftlich-technischen Verursachergruppen wie auch nach chemischen Substanzen differenziert erfolgen. Der erkennbare Druck, die klimatischen Auswirkungen zu begrenzen, ist so stark, daß wenig Spielraum für eine unterschiedliche Behandlung einzelner Gruppen und damit für eine Optimierung übrig zu sein scheint; eine relativ geringere Emissionsrücknahme in einem Teilbereich müßte dann durch entsprechend größer ausfallende Rücknahmen anderer Teilbereiche kompensiert werden.

Da es an dieser Stelle hauptsächlich um eine quantitative Abschätzung der auf die Fossile Energieerzeugung zukommenden Beschränkungen geht, werden im Folgenden die Beschränkungen proportional auf die im vorigen Abschnitt unterschiedenen drei Emmittentenquellen umgelegt. Eine im Laufe der nächsten Jahre notwendige Verminderung der Emission an CO_2 aus fossiler Verbrennung, der Nettoemission an CO_2 aus Land- und Forstwirtschaft einschließlich anderer Arten der Landnutzung und

der Emission aller anderen Treibhausgase würde also nach den gleichen Prozentsätzen zu erfolgen haben, nach denen die gesamte Klimabeeinflussung entsprechend der Pfade in Abbildung 5.2 zurückzunehmen ist. Mit dieser relativ groben, aber als Orientierung ausreichenden Annahme ergibt sich aus den beiden Pfaden 1 und 2 der Abbildung 5.2 ein zeitabhängiger Verlauf der möglichen Kohlendioxidemission aus der Verbrennung fossiler Rohstoffe, der in Abbildung 6.1 dargestellt ist. Der dort besonders hervorgehobene Bereich entspricht in operationaler Form der Unsicherheit, die sich aus der schon behandelten möglichen Überlagerung natürlicher Klimafluktuationen mit einer Temperaturerhöhung infolge der Emission von Treibhausgasen ergibt. Während für den günstigen Fall erst deutlich nach 2000 mit einer moderaten Rücknahme der CO₂-Emissionen begonnen werden müßte, stellt der ungünstige Fall schon eine sehr starke Herausforderung dar: Im Laufe der nächsten 20 Jahre wäre der CO₂ Ausstoß aus der Verbrennung fossiler Energie auf die Hälfte des jetzigen Wertes zu reduzieren, um das gesetzte Ziel sicherzustellen, innerhalb des klimatischen Erfahrungsbereiches zu bleiben.

Noch nicht in operationale Form umgesetzt ist in Abbildung 6.1 jene Art von Unsicherheit, die hinsichtlich der Sensitivität des Klimas gegenüber der Emission von Treibhausgasen besteht. In der bisherigen Betrachtung ist nur der mittlere Erwartungswert von 3°C benutzt worden. Eine geringere Sensitivität von 1,5°C ist ebenso wie eine höhere von 4,5°C für eine Verdopplung des CO₂ Pegels nach den Modellrechnungen als Ergebnis einer Verdopplung aber nicht auszuschließen (Vgl. Abschnitt 4.). In ähnlicher Weise wie bei der Überlagerung natürlicher Klimafluktuationen mit einem

Fig. 6.1

Zeitabhängige Obergrenzen der Emission von CO₂ aus fossiler
Verbrennung unter Berücksichtigung natürlicher
Klimafluktuationen

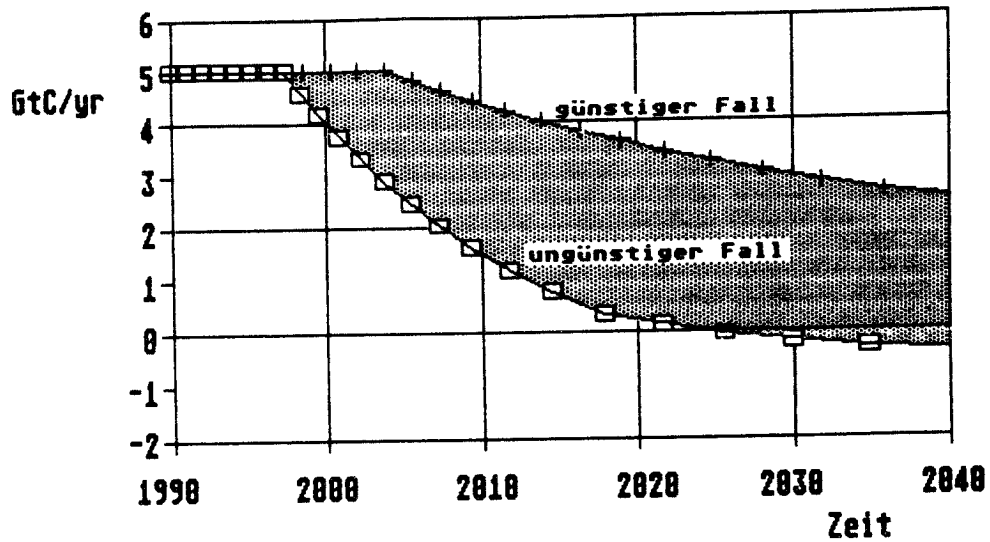
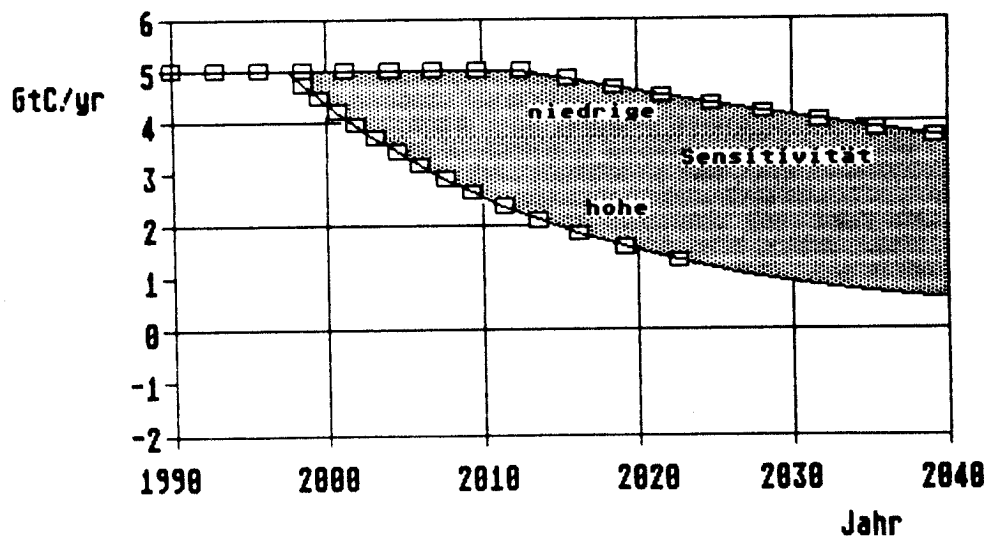


Fig. 6.2

Zeitabhängige Obergrenzen der Emission von CO₂ aus fossiler
Verbrennung bei unterschiedlicher Sensitivität des Klima-
systems gegenüber Treibhausgasen



mittleren anthropogen ausgelösten Erwärmungstrend läßt sich die Unsicherheit über die Sensitivität des Klimas mit Hilfe des anhand der Abbildung 5.2 erläuterten Entscheidungsrahmens in eine entsprechende Bandbreite zulässiger CO₂ Emissionen umrechnen. Das ist in Abbildung 6.2 geschehen. Sie enthält die in den nächsten Jahrzehnten möglichen Emissionsraten für den Fall einer niedrigen und einer hohen Klimasensitivität. Es zeigt sich, daß die Klimasensitivität zu einer vergleichbar starken Spreizung der möglichen Emissionspfade führt, wie das schon bei der Überlagerung des Treibhauseffektes mit natürlichen Klimafluktuationen der Fall war.

Da beide Arten von Unsicherheiten unabhängig voneinander bestehen, können sie sich auch überlagern. Auch hier gilt, daß im Zweifel eine Emissionsbeschränkung so zu wählen wäre, daß die sich entwickelnde Klimaveränderung mit Sicherheit innerhalb des klimatischen Erfahrungsbereiches bleiben sollte.

Die technische Herausforderung liefe damit quantitativ auf eine vollständige Beseitigung von CO₂ Emissionen aus fossiler Verbrennung innerhalb der nächsten 30 Jahre hinaus. Diese Herausforderung resultiert ungefähr zu gleichen Teilen aus einer nicht reduzierbaren Unsicherheit über stets mögliche natürliche Klimafluktuationen und aus einer, durch weitere Forschungsanstrengungen gegebenenfalls zu vermindernenden Unsicherheit über den Grad der Sensitivität des Klimas gegenüber Treibhausgasen.

Die Konsequenzen der heute abschätzbaren Bandbreiten künftig möglicher CO₂ Emissionen aus fossiler Verbrennung lassen sich deutlicher darstellen, wenn man die zeitlich abnehmenden

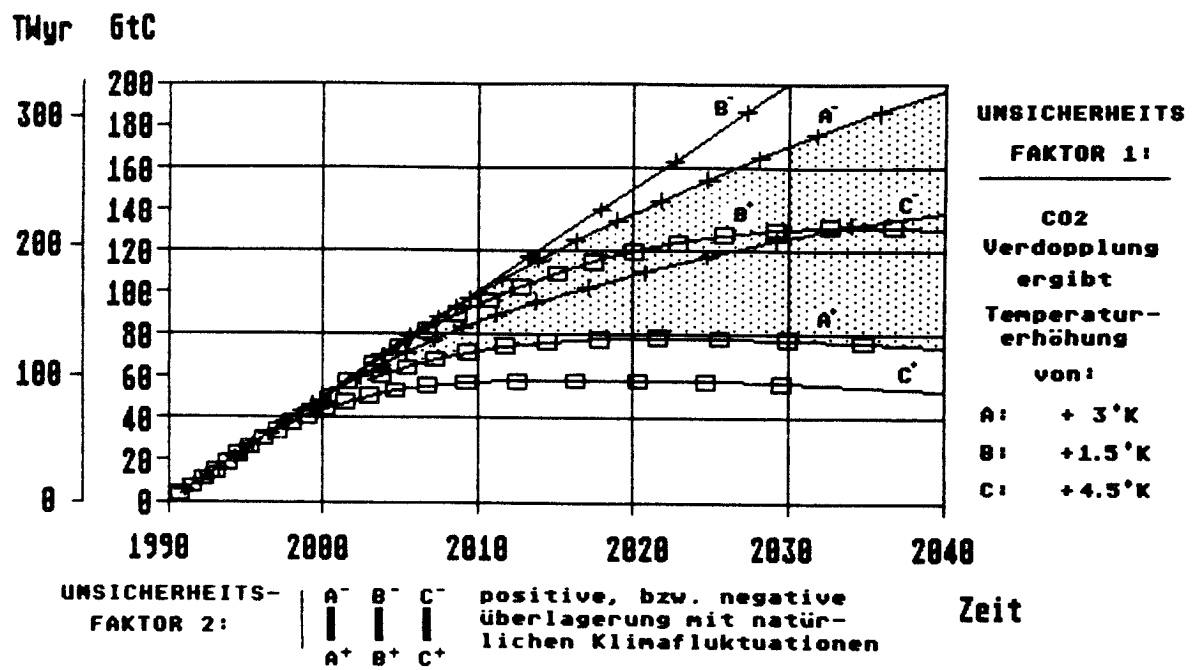
Emissionsraten aus den Abbildungen 6.1 und 6.2 umrechnet in kumulative Energieverbräuche. Dazu sind die Kohlenstoffgehalte von Kohle, Erdöl und Erdgas für die von den einzelnen Energieträgern bereitgestellten Energiemengen zu berücksichtigen. Als vereinfachende Annahme und für Vergleichszwecke werden die relativen Verhältnisse des IIASA Low Szenarios verwendet¹

Abbildung 6.3 gibt die möglichen kumulativen Energiemengen wieder, die für alle Kombinationen von Unsicherheiten in die weitere Planung eingesetzt werden können, ohne daß der in Abbildung 2.2 definierte Erfahrungsbereich historischer Klimaänderungen verlassen würde. Diese maximalen Energiemengen aus fossiler Verbrennung liegen zwischen 100 und etwa 350 Twa. Diese Zahlen liegen deutlich unterhalb der bereits nachgewiesenen fossilen Energiereserven.

Die kritische Beschränkung für den künftigen Einsatz fossiler Energie bilden offenbar nicht länger die Vorräte. Diese Beschränkung ist vielmehr durch das Treibhausproblem vorgegeben. Selbst wenn man sich nicht auf den *sicheren* Standpunkt stellt, und alle wesentlichen Unsicherheiten durch einen entsprechend geringen Einsatz fossiler Energie kompensiert, wie das der Kurve C⁺ entspräche, so bleibt das Treibhausproblem noch immer äußerst ernst. Immerhin ist ja normativ angesetzt, daß alle anderen Spurengase in gleicher Weise wie CO₂ reduziert werden. Eine Ausweichstrategie zugunsten eines höheren

¹ Die Umrechnung einer Einheit fossilen Kohlenstoffs in Energiemengen hängt von der chemischen Zusammensetzung der einzelnen Energieträger ab. Hier wird das für das IIASA Low Szenario ermittelte Energieträgerspektrum benutzt, um zu einer globalen Aussage zu kommen. Danach entspricht 1 Gt fossilen Kohlenstoffs einer Energiemenge von 1.6 Twa.

Fig. 6.3
Obergrenzen für den künftigen Einsatz fossiler Energie
im Rahmen unterschiedlicher Risiko-Beurteilungen



Einsatzvolumens an fossiler Energie ist damit von vorneherein ausgeschlossen.

Angesichts der praktisch kaum erreichbaren Einschränkung auf die niedrigen fossilen Einsatzmengen nach Kurve C⁺ ist es angebracht, auch die Implikationen einer weniger rigorosen Beschränkung fossiler Energie zu betrachten. Die Kurvenzüge C⁻ und B⁺ in Abbildung 6.3 fallen nahezu übereinander. C⁻ entspricht einem Zusammentreffen einer hohen Klimasensitivität mit einer natürlichen globalen Abkühlung; B⁺ andererseits verknüpft eine niedrige Klimasensitivität mit einem parallel zum Treibhauseffekt ablaufenden natürlichen Temperaturanstieg. Beide Kurven stellen also, wenn auch aus unterschiedlichen Argumenten heraus, eine optimistischere Beurteilung des Treibhausproblems dar. Sie fällt überdies mit dem Mittelwert der beiden Kurven A⁺ und A⁻ zusammen, bei dem eine mittlere Klimasensitivität und keine natürliche Klimafluktuation angenommen sind. Käme eine derartige Entwicklung zustande, dann wären im Vergleich zu dem sicheren Pfad statt 100 TWa weitere 100 TWa, insgesamt also etwa 200 TWa an fossiler Energie noch bis zum Jahr 2030 zu verbrauchen. Mit der Verdopplung der eingesetzten Energiemenge ergäbe sich aber eine signifikante Wahrscheinlichkeit, daß als Folge des damit einhergehenden Klimaeingriffes der klimatische Erfahrungsbereich verlassen wird. Die Unvorhersehbarkeit einer dann möglichen Klimaentwicklung würde dabei bewußt in Kauf genommen. Zugunsten einer solchen Position läßt sich anführen, daß verstärkte Bemühungen zur Verminderung des Kohlenstoffgehaltes in dem insgesamt benützten Spektrum fossiler Energieträger durchaus möglich sind. Weiter ist die gezielte Entfernung von CO₂ aus den Verbrennungsabgasen fossiler

Energieträger und die Endlagerung von CO₂ unter Umgehung der Atmosphäre zwar als hypothetische Möglichkeit bezeichnet, aber keineswegs ernsthaft entwickelt und untersucht worden. Schließlich könnte es auch noch Möglichkeiten geben, in gewissem Umfang alle anderen menschlichen Eingriffe in das Klimasystem so zu koordinieren und aufeinander abzustimmen, daß eine teilweise Kompensation ihrer Wirkungen erreicht werden könnte. Alle diese Optionen könnten dem Grunde nach zu einer Verminderung eines wahrscheinlich unvermeidlichen Risikos beitragen und damit eine mittlere anstelle einer sicheren Entscheidungsposition rechtfertigen.

Mit Bezug auf eine entschlossene Ausschöpfung der eben genannten Möglichkeiten ist eine im Bereich der Kurven B⁺ und C- der Abbildung 6.3 liegende Entwicklung als ein hypothetisches Grenzszenario zu betrachten. Es kann mit relativ großer Wahrscheinlichkeit das hier tentativ gesetzte Ziel garantieren, die klimatischen Störungen für die nächsten Dekaden innerhalb der Bandbreite zu halten, die durch die maximalen klimatischen Umbrüche der Vergangenheit vorgezeichnet ist.

Wegen seiner Bedeutung sind die wesentlichsten Parameter für dieses hypothetische Grenzszenario noch einmal angegeben:

- Etwa um das Jahr 2000 wird mit einer allmählichen Verminderung der Freisetzung von CO₂ aus fossiler Verbrennung begonnen.
- Die Emissionsraten an CO₂ sind bis zum Jahre 2030 auf etwa ein Drittel der gegenwärtigen Werte zu senken.
- Eine fast gleich große Senkung der Nettoemission an CO₂

aus land- und forstwirtschaftlichen Aktivitäten sowie eine ebensolche Verminderung der Freisetzung aller anderen Treibhausgase kommt parallel dazu zustande.

- Die Größenordnung der in den nächsten Jahrzehnten konventionell nutzbaren fossilen Energieträger liegt bei rund 240 Twa.

Die Machbarkeit eines solchen Szenarios ist unklar. Es besteht kein Zweifel, daß die daraus fließenden Anforderungen an eine Umstrukturierung des globalen Energiesystems den Erfahrungshorizont sprengen, der aus den bekannten großen Übergang von erneuerbaren Energieformen vor der ersten industriellen Revolution zur fossilen Energieversorgung des Industriezeitalters vorgegeben ist.

Andererseits besteht die Gefahr, daß eine langsamere und weniger entschlossen eingeleitete Verminderung der Geschwindigkeit, mit der gegenwärtig die Atmosphäre chemisch verändert wird, innerhalb weniger Jahre dazu zu führen, daß der klimatische Erfahrungshorizont der Biosphäre dieses Planeten verlassen wird.

Wie könnte die Politik auf diese Gefahren reagieren, über welche realistischen Handlungsmöglichkeiten verfügt sie? Dies ist das Thema der letzten Abschnittes.

7. Die politische Herausforderung.

Zwei Merkmale kennzeichnen die Diskussion über das Treibhausproblem. Einmal ein allmählich wachsendes Verständnis der vielgestaltigen naturwissenschaftlichen Zusammenhänge. Dies war das Thema der vorigen Abschnitte. Zweitens die beginnende Ausstrahlung der wissenschaftlichen auf die politische Diskussion. Die Errichtung der Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" beim Deutschen Bundestag ist Ausdruck, aber auch forcierendes Element dieser Entwicklung. Vergleichbares läßt sich in einigen anderen Industriestaaten, etwa in Kanada und den USA, aber auch auf der internationalen Ebene (Weltklimakonferenz von Toronto 1988) beobachten. Damit ist die Frage nach dem Verhalten der Politik gegenüber den Warnungen und den Vorschlägen aus der Wissenschaft aufgeworfen. Im Wissenschaftsbereich gibt es eine Neigung, die politische Herausforderung auf ein "Verkündungsproblem" zu reduzieren: Wird nur lange und deutlich genug auf die Gefahren des Treibhausproblems hingewiesen, werden nationale und internationale Politik schon reagieren. Aus politikwissenschaftlicher Sicht werden dabei aber die für politische Handlungsmöglichkeiten zentralen Strukturmerkmale nationaler und internationaler Politik vernachlässigt.

7.1. Auf dem Weg zu einer "ökologischen Weltinnenpolitik"?

In dem "Treibhausproblem" offenbart sich eine neuartige sachliche und räumliche Dimension ökologischer Probleme: Die Atmosphäre ist mit dem menschlichen Leben und der anthropogenen Produktionsweise in vielfältiger Weise verschlungen, alle Staaten des Globus teilen eine Atmosphäre und werden von ihren Veränderungen berührt. Kein Staat kann für sich allein die drohenden Klimaveränderungen abwenden. Eine oft - implizit oder gar explizit - gezogene Schlußfolgerung lautet, daß eine solche Globalisierung ökologischer Probleme, wird nur die Einsicht in diese Entwicklungen verbreitet, den Weg zu einer gemeinschaftlichen Problemdefinition und zu kooperativen Lösungsansätzen bahnt, die zur Abwendung der Gefahren geeignet sind und eine allen Staaten und Interessen gerecht werdende Verwaltung des "kollektiven Gutes" Atmosphäre ermöglichen. Die vielfältigen Interessen der Staaten werden dann dieser "ökologische Weltinnenpolitik" untergeordnet.

Eine Analyse der Strukturen und Prozesse des internationalen Systems¹ und der Politik (der Handlungszusammenhänge) erschüttert jedoch diese optimistische Erwartung.

Treibhausgase beachten keine Staatsgrenzen, die internationale Politik aber hat sie als Konstitutionsbedingung. Einerseits

¹ Der Begriff bezeichnet kein im naturwissenschaftlichen Sinn systemtheoretisches Beziehungsmuster, sondern verweist darauf, daß internationale Beziehungen keineswegs vollständig unberechenbar und zufällig sind. Sie bauen auf Bedingungen auf, von denen einige recht stabil sind.

stellen die Emissionen von Treibhausgasen die territorialstaatliche Interessendefinition und Legitimation der Politik in Frage, offenbaren einen Substanzverlust des klassischen Souveränitätsbegriffes und lassen das Erfordernis einer Gestaltung der Politik nach Kriterien einer internationalen Verantwortlichkeit erkennen (Tasch 85). Andererseits drängt die (trotz einiger Versuche regionaler Integration und des Auftretens trans- und internationaler Akteure) beharrliche Dominanz der Territorialstaaten, in ihnen auch langfristig die wesentlichen Bestimmungsfaktoren und Akteure der internationalen Politik zu sehen (Behrens/Noack 84). Die Politikwissenschaft hat für diese Spannungsverhältnis zwischen staatlicher Souveränität und den vielgestaltigen Prozessen der Verflechtungen von Staaten untereinander den Begriff der "Interdependenz" geprägt (Keohane/Nye 77).

Auch unter Interdependenzbeziehungen muß sich in einem System von Territorialstaaten die Umweltpolitik durch eine "Sicherung nationaler Interessen" rechtfertigen. Da aber grenzüberschreitende, sogar globale Schadstofftransporte die Wirksamkeit isolierter, nationaler umweltpolitischer Strategien untergraben, deren Entscheidungen jedoch die Interessen anderer Länder berühren, bildet sich in immer mehr Staaten durch einen konfliktreichen Prozeß der Interessenabgleichung zwischen einer Vielzahl von Akteuren eine "Umweltaußenpolitik" heraus, die Interdependenzen auf internationaler Ebene bearbeitet (Prittwitz 84). Umweltpolitik wird zu einem Gegenstand internationaler Politik.

Aus dieser Struktur des internationalen Systems folgt, daß wachsende Interdependenzen an sich noch kein einheitliches Handeln der Staaten hervorbringen. Internationale Umweltpolitik ist ein Resultat der über "Macht" (zum Begriff vgl. Mickel 86:373ff) vermittelten Interaktion von Staaten mit häufig gegensätzlichen Interessen und Problemperzeptionen im Rahmen des internationalen Systems. Staatliches Handeln wird dabei von der jeweiligen internen gesellschaftlich-ökonomischen Kräfteverteilung geprägt, die wiederum von inter- und transnationalen (staatlichen und nichtstaatlichen) Prozessen und Akteuren beeinflusst wird. Dieser gewachsene interne Kompromiß aus gegensätzlichen Interessen muß sich auf der internationalen Ebene in einem langwierigen Prozeß in die dort vorherrschenden Interessen- und Kräfteverteilung, die "Machtstruktur", einfügen und formt diese selbst mit. Gelingt es nicht, alle relevanten Staaten in das Kompromißgeflecht einzubinden, drohen nur zu oft einseitige wirtschaftliche Belastungen und Wettbewerbsverzerrungen, die eine Akzeptanz der Umweltmaßnahmen in den an Absprachen beteiligten Staaten gefährden. Angesichts einer komplexen Problem- und Interessenkonfiguration, die sich an dem "Protokoll von Montreal" nachzeichnen läßt (Lang 88), kann es nicht überraschen, daß internationale Umweltpolitik ein aus ökologischer Sicht oft unzulänglicher Kompromiß ist. Die weit unter den technischen Möglichkeiten bleibenden Abgasvorschriften der "Europäischen Gemeinschaften" im Automobilsektor, das von der ECE ("European Commission for Europe") der Vereinten Nationen angeregte, aber von wichtigen Emittentenstaaten nicht mitgetragene Ziel einer Reduzierung der SO₂-Emissionen um 30 Prozent und der global

gesehen unzureichende Abbau der FCKW durch das "Montreal-Protokoll" legen ein Zeugnis ab.

Festzuhalten bleibt, daß auch internationale Umweltpolitik noch zu oft als "symbolische Politik" nur der Sicherung politischer Legitimation dient. Die Erfahrung weist auf ein weiteres Merkmal der Umweltpolitik hin, das sich erst allmählich unter dem Druck ökologischer Lasten und der hohen Kosten verspäteter Eingriffe abzuschwächen beginnt: Sie ist in der Regel reaktiv, wird erst entwickelt und implementiert, nachdem ökologische Schäden sichtbar bzw. absehbar geworden sind oder politischer Druck die ihr im Wege stehenden Hindernisse beiseite drängt.

Bei solchen politischen Randbedingungen ist die Annahme gerechtfertigt, daß allein aus der Perzeption eines künftigen Treibhausproblems keine "ökologische Weltinnenpolitik" erwächst. Eine ihrer Voraussetzungen wäre die Ersetzung des Systems von Territorialstaaten durch einen in Entscheidungs- und Handlungskompetenz unbeschränkten "Weltstaat" - ein oft gehegter, aber auf unabsehbare Zeit nicht zu realisierender Wunsch. Ebensowenig ist zu erwarten, daß die klimatischen Gefahren alle innen- und zwischenstaatlichen Konflikte, Rivalitäten und traditionelles Sicherheitsdenken obsolet werden lassen. Alle Aktivitäten zum Schutz der Atmosphäre müssen sich in diese Struktur einordnen. Sicherlich schaffen sie auch starke Anreize zur Kooperation. Zugleich trägt das Klimaproblem aber auch neue Konfliktfelder in die Politik (Gleick 88).

7.2. Die Zielfelder einer Klimastrategie als politisches Problem.

Aus den Erfahrungswerten läßt sich die These herleiten, daß die Strukturen und Prozesse des internationalen politischen Systems umfassende, rasch implementierbare und erfolgversprechende Maßnahmen zur Bewältigung des Klimaproblems behindern. Daraus zu schließen, das System von Territorialstaaten müsse einer drohenden Klimaveränderung indifferent gegenüberstehen und sei gänzlich handlungsunfähig, wäre aber falsch. In verschiedenen Bereichen der internationalen Politik und Wirtschaft ist es Staaten gelungen, gemeinschaftlich und einvernehmlich "kollektive Güter" auf internationaler Ebene zur Nutzung durch alle Länder bereitzustellen und zu unterhalten (Ruloff 86; s. Abschnitt 7.3.).

Noch ist die Politik der Staaten weit davon entfernt, das Treibhausproblem generell so ernst zu nehmen, daß es in den wirtschaftlich-politischen Entscheidungen berücksichtigt wird. Keines der verfügbaren Klimamodelle ist in der Lage, in einer von der Politik gewünschten Spezifikation und Präzision die Folgen des Treibhauseffektes für ein Land zu benennen. Zudem stehen der Politik unterschiedliche Zielfelder politischen Handelns zur Verfügung (Schelling 83):

- *Die Vermeidungsstrategie.* Durch den drastischen Abbau der einschlägigen anthropogene Emissionen von Treibhausgasen bzw. durch eine Entnahme von CO₂ soll eine Erwärmung der Atmosphäre verhindert, der klimatische "Status Quo" gesichert werden. Im Abschnitt 6 wurde die enorme Herausforderung dieser Strategie für die Energiewirtschaft verdeutlicht, der Abschnitt 3.3 beleuchtete einige eher technische Aspekte der Limitierung von Treibhausgasen.

Die *Anpassungsstrategie* zielt auf eine Veränderung der menschlichen Lebens- und Produktionsweise, um sie in Übereinstimmung mit den im Wandlungsprozeß befindlichen, aus heutiger Sicht noch unbekannten Klimabedingungen zu halten. Innerhalb dieser Strategie kann zwischen einer langfristig angelegten, international abgestimmten "gesteuerten" und einer "chaotischen", krisenhaften Anpassung unterschieden werden, die sich planlos unter dem Druck hoher klimatischer Veränderungsgeschwindigkeiten vollziehen muß. Der langfristig gesteuerten Anpassungsstrategie wird künftig erhebliche Bedeutung beizumessen sein (s. u.).

Eine *aktive Lenkungsstrategie* strebt die Kontrolle über das Klimasystem an, um es letztlich steuerbar und damit menschlichen Zwecken verfügbar zu machen.

Die aus der wissenschaftlichen Diskussion stammenden Vorschläge zur Bewältigung des Treibhausproblems verbinden Elemente der

beiden ersten Strategien in einer hierarchischen Weise: Sie konzentrieren sich auf die Vermeidungsstrategie, während der Anpassung die Aufgabe zukommt, die Auswirkungen von nicht mehr abzuwendenden klimatischen Veränderungen abzufedern (Jäger 88).

Die dritte Strategie hat in den letzten Monaten vor allem in den USA verstärktes Interesse gefunden (vgl. International Herald Tribune v. 17.8.88). Über die technisch-ökonomischen Voraussetzungen der aktiven Klimalenkungsstrategie gibt es zwar erste Überlegungen, die jedoch noch weit weg von präzisen Aussagen sind. Sie ist eher ein erster Gedankenentwurf. Die Kenntnisse der ökologischen Systeme und ihrer Verflechtungen sind zu rudimentär, um als Grundlage gezielter Eingriffe auf der Basis gesicherten Wissens über die Folgen des Handelns zu dienen. Aus dem Blickwinkel der internationalen Politik birgt ein solcher Eingriff in das Klimasystem erhebliche Gefahren in sich: Eine gezielte Klimabeeinflussung könnte zu einem Instrument des Machtpolitik und der Kriegsführung werden, sie ist daher schon heute präventiv durch einen völkerrechtlichen Abkommen ("Environmental Modification Convention") untersagt (Fischer/Häckel 87:295 f.). Diese Argumentation bleibt aber unzureichend. Denn schon heute beeinflussen menschliche Handlungen das Klima, jedoch in einer planlosen Weise mit unkalkulierbaren Ergebnissen. Sehr langfristig könnte ein Management des klimatischen Systems durchaus als ein Instrument zur Sicherung der menschlichen Lebenssphäre betrachtet werden. Dies könnte aber nur dann ein positiver Beitrag zur Entwicklung der Menschheit sein, wenn eine "globale politische Vernunft" die Eingriffe lenkt.

Einige prinzipiell verfügbare Instrumente der Vermeidungsstrategie wurden schon im Abschnitt 3.3 diskutiert, einige mit ihr einhergehende energiewirtschaftliche und technische Herausforderungen verdeutlicht. Für diese Strategie spricht, daß ein "erster Zugriff" recht präzise zu definieren und die Folgen abzuschätzen sind: Die Quellen etwa der CO₂-Emissionen sind bekannt, Alternativen prinzipiell verfügbar. Dies Kalkulierbarkeit einer Vermeidungsstrategie gilt jedoch nur, wenn sie sachlich und räumlich eng begrenzt ist. Je drastischer die Reduktion des Kohlendioxids sein soll und je mehr Staaten zu diesem Ziel beitragen müssen, um so weitreichender sind die induzierten wirtschaftlichen und politischen Auswirkungen: Nationale Energiesysteme müßten grundlegend umgebaut werden; im Bereich der internationalen Energiewirtschaft ist eine Neuordnung der energiewirtschaftlichen Beziehungen, begleitet von unabsehbaren ökonomischen und (versorgungs)politischen Auswirkungen, zu erwarten. Während Erdgasbesitzer eine "Prämie" auf ihren vergleichsweise kohlenstoffarmen Energieträger erzielen könnten, müßten Produzenten und Exporteure insbesondere von Kohle, eventuell auch Erdöl, ihre Ressourcen abschreiben und würden schwere finanzielle Einbußen erleiden. Alles dies würde die Bereitschaft zu drastischen Vermeidungsmaßnahmen in Grenzen halten. Für eine Industrieland wie die Bundesrepublik, mit langfristig sinkender Bevölkerung (und schon daher zurückgehendem Energieverbrauch) und hoher Kapitalverfügbarkeit, die Energieträger durch andere substituieren und höhere Energieeffizienzen erreichen kann, erscheint die Reduktion der CO₂-Abgaben auf ein Drittel des heutigen Wertes bis zum Jahre 2030 bei entsprechender politischer Entschlossenheit und hohem

Kapitaleinsatz technisch machbar (M. Walbeck u.a. 88). Vermutlich gilt dies auch für die von der "Weltklimakonferenz" gegebene Empfehlung, die wohlhabenden Industriestaaten sollten bis kurz nach der Jahrtausendwende ihre CO₂-Emissionen um 20 Prozent gegenüber heute abgebaut haben (s. Abbildung 7.1., Arbeitsgruppe Energie). Global gesehen erscheinen solche Reduzierungsziele wenig aussichtsreich, denn eine vergleichbare Reduktionsstrategie steht vor einer doppelten Aufgabe: Sie muß die mit dem globalen Bevölkerungszuwachs einhergehende wachsende Energienachfrage weitgehend ohne den Einsatz von kohlenstoffhaltigen Energieträgern decken und zugleich den heutigen Emissionswert unterbieten. Dazu kommt die Notwendigkeit, die anderen Treibhausgase, die langfristig gesehen den größten Treibhauseffekt produzieren könnten (Graßl 88), ebenfalls drastisch abzubauen. Eine so umfassende Klimastrategie stellt als Aufgabe die grundlegende Veränderung der bisherigen Produktions- und Lebensweise nach Maßgabe ökologischer Randbedingungen. Dies wird deutlich, wenn man einige Empfehlungen der Arbeitsgruppen der "Weltklimakonferenz" betrachtet (s. Abb. 7.1.). Weniger weitreichende Maßnahmen sind bestenfalls geeignet, Zeit zu gewinnen und einen Treibhauseffekt zu mindern, ihn aber nicht gänzlich zu vermeiden. Eine Vermeidungsstrategie steht schließlich vor einem weiteren Hindernis: Die Staaten des Globus dürften durch die klimatischen "Direktfolgen" in unterschiedlicher Weise betroffen sein. Erste Modellrechnungen deuten daraufhin, daß es klimatische "Gewinner" und "Verlierer" geben wird. Eine einheitliche Interessenlage im Hinblick auf eine Vermeidung ist also nicht sichergestellt. Zugleich, und dies könnte ein politisch entlastender Faktor werden, erweckt eine kritische Betrachtung Zweifel an dem Wert des

Begriffes "Gewinner". "Extreme" Klimaereignisse können sich einstellen, zwischen den Staaten des Globus hat sich ein hohes Maß an Interdependenz herausgebildet. Kein Land könnte voraussetzen, in einer sich in unvorhersehbarer Weise verändernden Welt auf Dauer einen "Klimabonus" einzustreichen: Die Rückkopplungen im ökologischen, aber auch den wirtschaftlichen und politisch-militärischen Bereichen wären so vielfältig und unkalkulierbar, daß ein "Gewinner" rasch zu der Gemeinschaft der "Verlierer" stoßen könnte. Vielleicht wäre dies ein Anknüpfungspunkt, auch die "Gewinner" an eine Vermeidungsstrategie heranzuführen, die zumindest "Zeit" bis zum Eintritt von Klimaänderungen "kauft".

Auch die inhaltliche Bestimmung einer Anpassungsstrategie bleibt wenig greifbar. Der Blick auf die Empfehlungen in Abbildung 7.1. offenbart, daß die dort formulierten Anforderungen einerseits sehr umfassend sind und Kernbereiche unserer Lebensweise berühren, sie andererseits aber in der Regel wenig spezifisch bleiben und einer Politik nur undeutliche Hinweise auf den spezifischen Anpassungsbedarf geben. Gerade eine gelenkte Anpassung bedarf aber genauer Kenntnisse über die ablaufenden bzw. zu erwartenden Veränderungen. Sicherlich werden klimatische Veränderungen große Auswirkungen auch auf die Produktionsweise, die Weltwirtschaft und Weltpolitik haben, also vielschichtige Anpassungsreaktionen erzwingen. Da aber keine deutlichen Aussagen über die Intensität und Reichweite solcher Anpassungserfordernisse möglich sind, ihre präzise Abgrenzung von den in den nächsten Dekaden ohnehin aus

Zusammenstellung der Ergebnisse von Arbeitsgruppen

<u>Küsten/maritime Ressourcen</u>	<u>Energie</u>	<u>Ernährungssicherheit</u>
<u>Auswirkungen des Treibhauseffektes:</u> - Veränderungen maritimer Ressourcen - Gefährdung küstennaher Aktivitäten und Ökosysteme durch Meeresanstieg - Schaffung neuer Seepassagen in Eismereen	<u>Auswirkungen:</u> keine Angaben (k.A.)	<u>Auswirkungen:</u> - Gefährdung der rationalen Nutzung des Bodens, des Wassers und der genetischen Ressourcen
<u>Maßnahmen:</u> - Forschung über anthropogenen Einfluß auf maritime Ressourcen - Internationale Regelung der Bewirtschaftung von Ressourcen - Flexibilitätssteigerung der von Ressourcen abhängigen Industrien (Gemeinschaften) - Studien zu Problemen eines Anstiegs des Meeresspiegels - Bereitstellung v. Mitteln für verstärkte Küstenzonenplanung	<u>Maßnahmen:</u> - höhere Energieeffizienz (bis 2005 Reduktion der globalen CO₂-Abgabe um 10 Prozent) - Veränderung des Energieangebots (weitere Reduktion um 10 Prozent bis 2005) - Verbesserung Biomassennutzung - Reduzierung Entwaldung Wiederaufforstung - Neubewertung Kernenergie (konditioniert: Safety, waste, non-proliferation) - Internalisierung externer Kosten	<u>Maßnahmen:</u> - Verringerung des Beitrags der Emissionen aus der Landwirtschaft - Berücksichtigung der Klimaeffekte bei Landwirtschaftlicher Planung - Erhöhung Resilienz der Landwirtschaft im Hinblick auf Klimaveränderungen - Regionale Kooperation zur Lebensmittelsicherung - Forschung über ökologisch verträgliche Landwirtschaft

Geopolitik

Auswirkungen:

- keine Aussagen möglich über Regionen/Sektoren, die zuerst betroffen sind
- aber Erwartung von nationalen und internationalen Konflikten.

Maßnahmen:

- Bewältigung "traditioneller Probleme" (Bevölkerungswachstum, Konflikte, Rüstung, Armut und Überfluß)
- "Dualer Prozeß": internationale Koordination und rasches Handeln staatlicher/nichtstaatlicher Akteure
- Effizienzsteigerung Energienutzung
- Reduktion Nutzung fossiler Energien
- Transfer von Technologien in die Entwicklungsländer

Industrie/Investitionen

Auswirkungen:

k.A.

Maßnahmen:

- Fonds in Industriestaaten zur Finanzierung Technologietransfer
- Inkorporierung Umweltverantwortlichkeit in die Entscheidungsmechanismen von Industrie und Handel
- Internationaler Konsultativrat auf höchster politischer Ebene. Aufgabe: Forcierung Forschung und Entwicklung; Erhöhung Energieeffizienz; Marktinformation zur Stärkung des Absatzes ökologisch verträglicher Produkte

Integrierte Programme

Auswirkungen:

k.A.

Maßnahmen:

- Internationale Kooperation bei Forschung, Folgenabschätzung und der Entwicklung politischer Optionen
- Globale Beobachtung und Informationssystem über die Umwelt
- Erziehungsprogramme

Landressourcen:

Auswirkungen:

k.A.

Maßnahmen:

- Fonds zur Erforschung Klimaprobleme
- Schutz und Ausbau der Kohlenstoffreservoirs (Wälder, Boden, Tundra, Feuchtgebiete)
- Entwicklung bestandserhaltender der Landnutzungsformen
- Landreservensystem
- Bewußtseinsbildung/Information
- Ausbau der vorhandenen Ansätze für Bodenschutz
- Einfügung der Ziele in verbesserte Entwicklungspolitik

Rechtssystem:

Auswirkungen:

k.A.

Maßnahmen:

- Ausbau des fragmentarischen Rechtsregimes über Luftverschmutzung
- "Konvention zum Schutz der Atmosphäre" (Ottawa-Treffen 1989).
- Ineinandergreifen globaler Rahmenregelungen und regionaler Abmachungen

Politik und Unsicherheit

Auswirkungen:

- Risiken für politische und ökonomische Systeme und Stabilität

Maßnahmen:

- Sofort politisch handeln
- Forschung über Atmosphärenchemie
- Umfassende Forschung über Auswirkungen Klimaveränderung und Gegenmaßnahmen (Vermeidung, Kompensation und Anpassung)
- Verursacherprinzip (Verantwortliche müssen zuerst handeln)
- Gefahr für Atmosphäre als "Angelpunkt" aller ökonomischen Entscheidungen
- "Pfadfindermodell" (zuerst Reduktion Emissionen durch große Emittenten, Vorbild "Ozon-Protokoll")
- demokratische Diskussion
- Stützung der Entwicklungsländer durch "Norden" bei Emissionsbegrenzung (Technologie und Finanzen)

Verstädterung/Siedlungswesen

Auswirkungen:

- Urbanisierung/Industriearialisierung und Klima stehen in Wechselwirkung
- Bevölkerungsentwicklung/Lebensstil beeinflussen Klima und werden vom Klima beeinflusst.

Maßnahmen:

- Substantielle Veränderungen der Lebensweise (energiesparende Technologie und Lebensweise, Begrenzung individuelle Verkehrsmittel, nichtverschmutzende erneuerbare Energien)
- Planung der Landnutzung in Übereinstimmung mit Umwelt (Konservierung, Begrenzung Siedlungen in überflutungsgefährlichen Gebieten)
- Kommunikation und Erziehung über Verknüpfung Siedlungswesen-Atmosphäre
- "act locally and think globally"-Ansatz

Wasserressourcen

Auswirkungen:

- Klimaänderung und Verschmutzung gefährden die Wasserverfügbarkeit
- die Anfälligkeit für Trockenheit und Fluten wächst
- die aquatischen Ökosysteme werden gefährdet
- das politische Konfliktniveau über Wasserprobleme wächst.

Maßnahmen:

- rasche Reduzierung der toxischen/schädlichen Niederschläge und des Eintrages organischer Gifte
- Forschung über die Sensitivität der Wasserressourcen
- Identifikation kritischer Mangelgebiete der Wasserverfügbarkeit
- Untersuchung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Wassersysteme
- Kooperation, Technologietransfer, Information und Diskussion über Wasserprobleme

(Zusammenstellung nach: The Changing Atmosphere: Implications for Global Security, Conference Statement, Toronto, Canada, 27. - 30.06.1988, Draft)

bevölkerungspolitischen sowie wirtschaftlich- technischen Gründen erforderlichen Anpassungen auf den nationalen und der internationalen Ebene ausbleiben muß, ist ein Plädoyer für eine antizipierende Anpassungsstrategie nur begrenzt nützlich - denn Anpassungsfähigkeit ist Grundlage jeglicher menschlicher Existenz. Nur scheinbar im Widerspruch hierzu steht die potentielle Krisenhaftigkeit einer Anpassung. Soziale und politische Systeme weisen "Verkrustungen" auf, die ihre Anpassungsgeschwindigkeit herabsetzen. In dieser potentiellen Diskrepanz zwischen raschen klimatischen Veränderungen und der Beharrlichkeit der Strukturen auf nationaler und internationaler Ebene liegt eine der großen Unwägbarkeiten der Anpassungsstrategie. Zusammenbrüche von "Strukturen", von Produktions- und Lebensweisen, auf nationaler und internationaler Ebene und damit schwere internationale politische Krisen liegen im Spektrum möglicher Folgen dieser Strategie.

Die Unsicherheiten und Undeutlichkeiten sind zahlreich. Sie betreffen klimatische Änderungsgeschwindigkeiten und die Auswirkungen einer Klimaveränderung auf die gelenkten und ungelenkten ökologischen Systeme, die Folgen für Regionen, Staaten und das internationale System. Darüber hinaus offenbart sich auch eine Unkenntnis über die ökonomisch-politischen Anforderungen und die Konsequenzen, die bei einer Verfolgung der Klimastrategien zu erwarten wären. Das gilt im besonderen Maße für die Anpassungs- und Lenkungsstrategie. Die politischen Akteure können ihre Reaktionen auf das Klimaproblem daher nicht unmittelbar aus wissenschaftlich abgesicherten Bewertungen von Vor- und Nachteilen

der Klimaveränderungen bzw. der Strategien herleiten. Sie müssen, wollen sie überhaupt aktiv werden, unter den Bedingungen der Unsicherheit handeln.

7.3. Das Klimaproblem als Handlungsfeld der Politik.

Nun ist die Frage berechtigt, warum staatliche Akteure angesichts dieser Unsicherheiten überhaupt tätig werden sollten?

Unmittelbarer Problemdruck kann kein Motiv sein: Die Wissenschaft ist nicht in der Lage, die klimatischen Ereignisse des Jahres 1988 (vor allem die Dürre in Teilen Nordamerikas) eindeutig auf eine schon wirkende Klimaveränderung zurückzuführen. Eine der Triebkräfte zumindest für ein erstes Interesse der Politik könnte in der Notwendigkeit zur allgemeinen staatlichen Zukunftsvorsorge liegen, die vorausschauend gravierende Veränderungen der Rahmenbedingungen ihres politischen Handelns zu erkennen und zu bearbeiten sucht. Verglichen mit anderen Umweltproblemen ist das Klimaproblem von einmaligem Gewicht, da es die gesamte Lebensweise der Menschen berührt. Auch wenn es heute noch nicht möglich ist, einen strengen wissenschaftlichen Beweis über das Eintreten eines Treibhauseffektes zu führen, darf dies die Politik nicht lähmen. Sie muß auf der Basis unvollständigen Wissens handeln. Beispielhaft ist die Volkswirtschaftslehre, die - obwohl

keinesfalls "beweisbarer" als die Ergebnisse der Klimaforschung und häufig auf umstrittenen Fundamenten aufgebaut - der Politik oft als Richtschnur dient. Wartet die Politik auf eine "endgültige wissenschaftliche Klärung" des Treibhausproblems, die angesichts der Überschneidung natürlicher und anthropogener Prozesse vielleicht nie zu erreichen ist, verliert sie jegliche Gestaltungsmöglichkeit. Zu der Bereitschaft zu antizipierendem Handeln muß aber noch die Fähigkeit kommen. Sie hat als notwendige Bedingung eine hohe ökonomisch-technische und wissenschaftliche Leistungsfähigkeit. Die Chancen, daß die Politik agiert, wachsen, wenn sie von der Öffentlichkeit gestützt oder gar gedrängt wird. In diesem Sinne sind Innen- und (Umwelt)Außenpolitik eng verknüpft.

Eine Herausarbeitung wissenschaftlicher Daten allein kann aber keine Legitimation entschlossener Maßnahmen der Politik abgeben. Sie bedürfen einer "Übersetzung", um eine Mobilisierung der öffentlichen Meinung überhaupt erst zu ermöglichen. Öffentliche Meinung entsteht durch Selektion von Information, steuert Selektivität aber auch ihrerseits. Ausschlaggebend für eine Veränderung der öffentlichen Meinung sind Informationen, die abgegeben von "Primärkommunikatoren" wie Wissenschaftlern und Fachjournalisten, eine bestimmte "Signalstärke" überschreiten und deshalb wahrgenommen werden (Peters 1984). Durchdringend wird dieses Signal nur dann sein, wenn es sich populärer Begriffe und Denkmuster bedient, die im Alltagsbewußtsein der Menschen eine Platz haben. Dies erscheint dann möglich, wenn die wissenschaftlichen Daten in einen gesellschaftlich-politischen Gesamtrahmen eingeordnet werden, der Gefahren des Treibhauses für

die heutige zivilisatorische Lebensweise (in einem umfassenden Verständnis) greifbar macht. Kern der Schaffung legitimatorischer Grundlagen für eine aktive Politik ist also die Herstellung eines Risikoverständnisses, das für die Menschen die klimatischen Effekte und ihre Auswirkungen mit politischen Zielen und Handlungen verknüpft (. Abbildung 7.2. a). Dazu gehört die Schaffung und Besetzung von populären Begriffen und Denkmustern, die "begriffliche Hegemonie", die Risiken der Klimaveränderung für den Alltag verdeutlicht. Lediglich die klimatische Strategie der "chaotischen Anpassung" kann auf ein frühzeitiges Risikoverständnis verzichten. Alle anderen Strategien haben die Perzeption eines Risikos für die menschliche, individuelle Lebensweise als notwendige Voraussetzung (s. Abbildung 7.2. b).

Der innenpolitische Konsens ist aber nur eine Voraussetzung für die Implementation einer Klimastrategie. Nationale und internationale Prozesse müssen verzahnt werden: Eine beständige und erfolgversprechende innere Mobilisierung ist dann zu erwarten, wenn auch im internationalen Umfeld die Gefahren problembewußt diskutiert werden. Die internationale Politik wiederum kann zu gemeinschaftlichen Maßnahmen gelangen, wenn sich wichtige Staaten des Themas aktiv und vorantreibend annehmen. Nach allen Erfahrungen werden dies am ehesten Staaten sein, deren grundlegende sozialen und ökonomischen Probleme gelöst sind und die Ressourcen für die Bearbeitung solcher Zukunftsaufgaben freistellen können. Es ist offensichtlich, daß dies im Kern nur von den westlichen und einigen östlichen Industriestaaten zu leisten ist, die ja zu einem bestimmenden Teil die Verursacher des Problems sind. Sie müssen dann aber auch die notwendigen und

Fig. 7.2.a

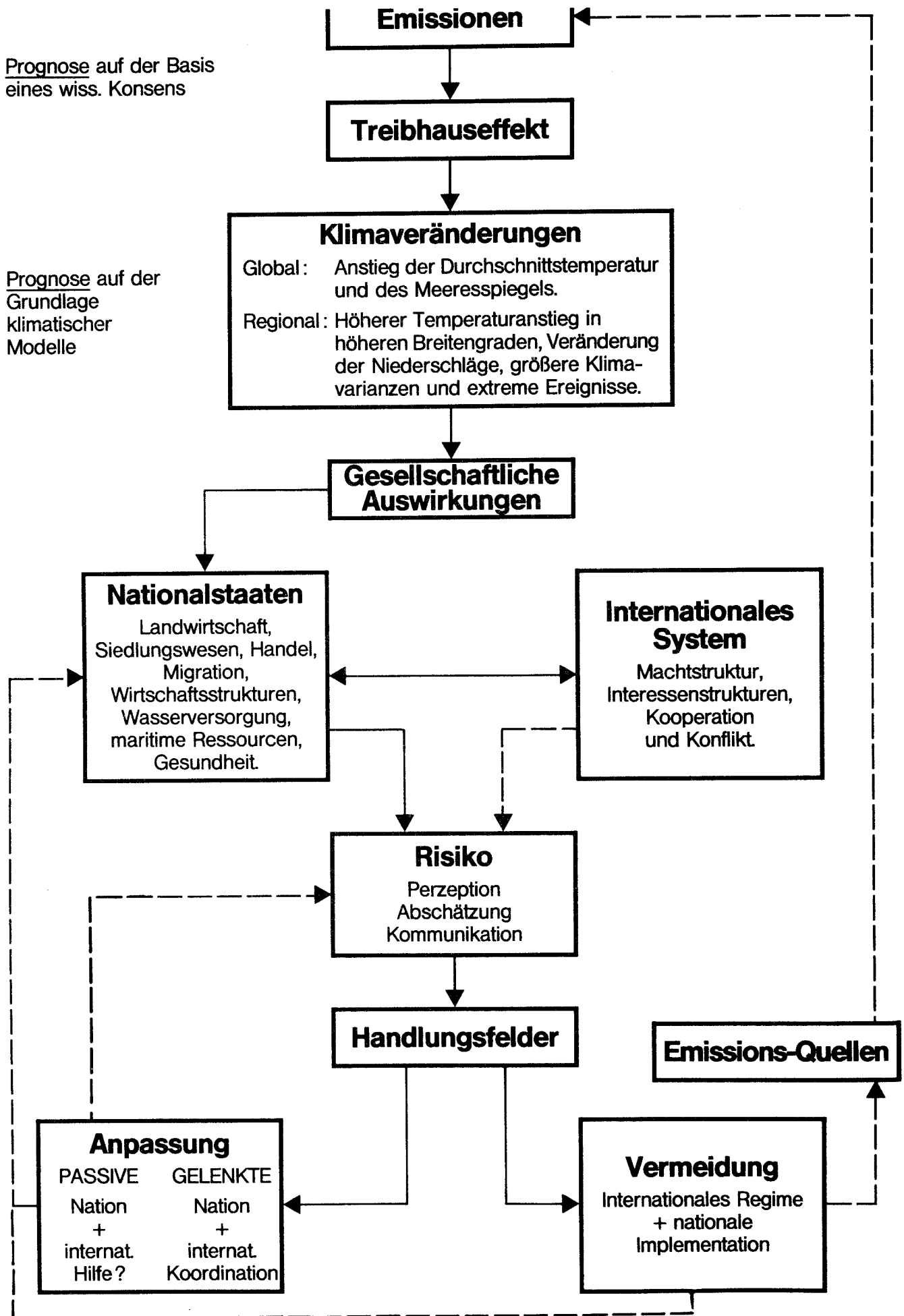


Fig. 7.2.b

Risikoperzeption-Klimastrategien-Internationale Kooperation

Vermeidungsstrategie

- * Rasches staatliches Handeln hat als notwendige Voraussetzung die Perzeption des "Treibhauseffektes" als ein individuelles und gesellschaftliches Risiko.
- * Staaten können nur unter der Bedingung internationaler Kooperation erfolgversprechend handeln. Dies erfordert eine vergleichbare Risikoperzeption in den relevanten Staaten.
- * Deutlich bezeichnenbar sind die notwendigen allgemeinen Maßnahmen einer Vermeidungsstrategie; umstritten ist eine Optimierung der Instrumente (angebots- versus nachfrageorientierte Politik); undeutlich sind die Folgen (Risiken) der Maßnahmen auf (für) die Weltwirtschaft und die (inter)nationale (Energie)Politik.

Anpassungsstrategie

- * Eine rasche Risikoperzeption ist bei einer gelenkten (gezielten) Anpassungsstrategie unbedingt notwendig, jedoch bleibt mehr Zeit.
- * Eine chaotische (ungesteuerte) Anpassung entwickelt sich als Reaktion auf eingetretene Ereignisse, die nicht antizipiert wurden. Eine Risikoperzeption findet also erst unter der Wirkung der Ereignisse statt.
- * Gelenkte Anpassung vollzieht sich in erster Linie auf nationaler Ebene. Sie erfordert jedoch internationale Koordination zur "Abfederung" der Interaktion nationaler Strategien und ihrer Folgen. Chaotische Anpassung ist fast exklusiv (sub)national. Möglicherweise wächst der objektive Koordinierungsbedarf, ohne daß Aussagen über Koordinierungschancen im "Chaos" möglich sind.

	Vermeidungsstrategie	Anpassungsstrategie	
		gelenkte	chaotische
Risiko- perzeption	unbedingt und rasch notwendig	unbedingt notwendig, aber mehr Zeit verfügbar	nicht notwendig
Internationale Koordination	unbedingt und rasch notwendig (Internationales Regime)	gegenüber nationalen Maßnahmen zweitrangig, mehr Zeit verfügbar	

geeigneten Techniken bzw. Strategien entwickeln und vorhalten, um sie gegebenenfalls rasch und global zum Einsatz zu bringen.

Auch die Präferenz für eine Klimastrategie kann nicht nur aus klimatischen Argumenten (s. Abschnitt 5), sondern auch aus dem politisch-normativen Raum hergeleitet werden. Angesicht der unklaren Anforderungen, die mit der Anpassung oder einer aktiven Klimabeeinflussung verbunden sind, kann einer Wahrung des vertrauten, "gelebten" und kalkulierbaren "Status Quo" der Vorzug gegeben werden. Eine Präferenz für Vermeidung folgt also einem verständlichen Kalkül. Für diese Strategie spricht auch, daß im Gegensatz zu den beiden anderen Strategien zumindest die ersten Maßnahmen innerhalb der heutigen Strukturen eingeleitet werden können: Energieträger mit geringeren oder ohne CO₂-Emissionen und Techniken zur Steigerung der Energieeffizienz sind schon verfügbar oder in Entwicklung - allesamt gute Voraussetzungen für die Implementation einer Strategie. Es ist daher sinnvoll, daß sich auch eine bundesdeutsche Klimapolitik an dem Vermeidungsziel ausrichtet. Zugleich hat sich aber ein Konsens herausgebildet, daß ein Treibhauseffekt nicht mehr vollständig abzuwenden ist: Die Vermeidungsstrategie hat dann die wesentliche Aufgabe, den Anpassungsbedarf "möglichst gering zu halten" (Schmidtbauer 88; The Changing Atmosphere, S. 8). Eine solche Aussage kann, wie noch auszuführen ist, für die energiepolitische Strategie von großem Gewicht sein.

7.4. Ein wichtiger Schritt: Das "Internationale Regime".

Welche weiterführenden wissenschaftlichen und politischen Ziele sollten die Politik der Bundesrepublik leiten?

Zunächst müssen die Restriktionen in Erinnerung gerufen werden. Nationale Alleingänge sind sinnlos: Der Beitrag der Bundesrepublik zu den globalen anthropogenen CO₂-Abgaben beträgt kaum 4 Prozent, ein isolierter Abbau hätte keinerlei positive Auswirkungen auf das Klima. Für internationale politische Empfehlungen oder gar bindende Abmachungen über die Reduktion von CO₂ und anderen Treibhausgasen (lassen sie sich nicht, wie bei den FCKW, aus deren unmittelbaren Schädigungswirkung ableiten)² ist es aus politischen Gründen zu früh: Noch ist das CO₂-Problem ein "Spielstein" von mehreren in der energiepolitischen Diskussion, sind die "Risiken" noch nicht konzeptionell erfaßt, werden Gefahren nicht gesehen oder wirklich ernstgenommen, und es fehlt auf internationaler Ebene die Bereitschaft zum Handeln. Diese ungünstigen Randbedingungen entlassen die Politik aber nicht aus der Verantwortung, solche Aktivitäten einzuleiten, die eine Grundlage für künftige, vielleicht unter Zeitdruck zu implementierende Maßnahmen auf nationaler und internationaler Ebene schaffen können.

² Erhöhte ultraviolette Strahlung durch Ozonverlust schädigt direkt lebende Organismen. Aus dem Ozonabbau kann kein Staat einen Nutzen ziehen: In einem solchen "Negativsummenspiel" verlieren alle. Diese Unmittelbarkeit gefährlicher Folgen stellt sich bei CO₂ nicht ein.

Die inzwischen vielfältigen Forschungsanstrengungen auf nationaler und internationaler Ebene (BMFT 87 : 32 ff.) müssen auch auf eine Identifizierung von Klimasignalen ausgerichtet sein, die Risiken für die Menschen verdeutlichen.

Weltraumaktivitäten kommt bei dem Umgang mit dem Klimaproblem eine steigende Bedeutung zu: Die Fernerkundung mittels Satelliten liefert Informationen über die Atmosphäre und Emissionsquellen, die Erkundung der erdähnlichen Planeten Venus und Mars könnte der vergleichenden Klimaforschung neue Einsichten liefern. Schließlich können Satelliten oder Weltraumstationen Informationen über Emissionsquellen, die Atmosphäre, die Ozeane und andere CO₂-Speicher sowie über die Befolgung von potentiellen Emissionsgrenzen liefern. Ohne ein gewisses Maß an "Weltraummacht" (vgl. Kaiser/v. Welck 1987) ist eine prägende westeuropäischen Beteiligung an der erfolgversprechenden Realisierung von Klimastrategien nicht zu erwarten.

Eine dritte Aufgabe mit politischen Implikationen liegt in der Untersuchung und Demonstration von Techniken, die zur Vermeidung aller Arten von Treibhausgasen bzw. zur potentiellen Kompensation von deren Wirkung in den Zeithorizonten, die das Problem vergibt, geeignet erscheinen. Dies erzwingt nicht nur die Erhöhung von Energieeffizienzen, sondern auch die Sicherung bewährter Energiesysteme, die einen (selbst bescheidenen) Beitrag zur

Vermeidung von CO₂-Emissionen leisten können. Dies ist eine Aufgabe der innenpolitischen Konsensfindung auch in der Bundesrepublik. Mehr noch: Gelingt es nicht, einen Treibhauseffekt vollständig abzuwenden, kann nicht ausgeschlossen werden, daß die dann erforderlichen Anpassungsmaßnahmen mit sehr hohem Energieaufwand betrieben werden müssen (Umsiedlungen, Deichbau, Be- und Entwässerung). Dann müssen kohlenstofffreie Energieträger verfügbar sein, die nach heutigem Wissensstand nur Kernenergie, "harte" Solarenergie oder Kernfusion sein können. In diesem Sinne erfordert das Treibhausproblem eine Erweiterung, nicht aber eine Beschneidung energiepolitischer Freiheitsgrade. Das betrifft auch die Kernenergie, deren Rolle auf der "Weltklimakonferenz" ansatzweise neu bewertet wurde - freilich mit der Einschränkung, daß die technische Sicherheit gewährleistet, das Abfallproblem gelöst und die Nichtverbreitung von Atomwaffen sichergestellt sei.

Von größtem Gewicht sind die politisch-institutionellen Maßnahmen: Die Bundesrepublik sollte in Abstimmung mit der Europäischen Gemeinschaft auf die Bildung eines internationalen politischen Arbeitskörpers hinwirken, der die Ergebnisse der Klimaforschung auf ihre politisch-wirtschaftlichen Konsequenzen hin untersucht und Strategieüberlegungen betreibt. Ihm sollten Wissenschaftler und Vertreter interessierter Staaten angehören. Ein solcher Zusammenschluß kann als Nukleus eines "Internationalen Regimes" betrachtet werden, in dessen Rahmen eine möglichst konsensfähige, wenn auch im Detail noch nicht absehbare, Strategie entwickelt werden müßte. Zu prüfen ist, ob das von der WMO und UNEP kürzlich

eingerrichtete "Intergovernmental Panel for Climatic Change" einen solchen Regimeansatz bietet.

Internationale Regime sind eine Form der multilateralen, zumeist von Staaten getragenen Bearbeitung von regelungsbedürftigen oder konfliktträchtigen Interdependenzbeziehungen. Durch Prinzipien (Ziele), Normen (konzeptionelle Grundlagen der Zielverwirklichung) Regeln (Rechte und Pflichten) und Entscheidungsprozeduren (Verfahrensregeln), soll das Verhalten der Akteure in einem abgegrenzten Problemfeld eingehegt werden. Beteiligt sind in der Regel nur die an einem Problem interessierten Länder, feste, vertragliche Regelungen bzw. eine Übertragung staatlicher Kompetenzen an internationale Institutionen muß es nicht geben (Krasner 82). Diese Flexibilität und Offenheit des Regimes entspricht der noch unklaren Problemstruktur bei den Folgen und den länderspezifischen Betroffenheiten durch eine Klimaveränderung. Wachsen die Kenntnisse, bietet das Regime eine Grundlage zur Erweiterung der Mitgliedschaft und zur Vereinbarung international bindender Normen und Regeln. Internationale Regime bilden sich zumeist in den "unpolitischen" kommunikativen und verkehrspolitischen, aber auch den ökonomischen, seltener in den sicherheitspolitischen Interdependenzbeziehungen heraus. Erwähnt seien die "Internationale Zivilluftfahrorganisation" (ICAO), der "Weltpostverein" (UPU), das "Allgemeine Zoll- und Handelsabkommen" (GATT), die "Pariser Verbandsübereinkunft zum Schutz der gewerblichen Wirtschaft" (PVÜ), und - als das größte "Sicherheitsregime" - das Nichtverbreitungsregime für Atomwaffen mit seinen völkerrechtlichen Kernen, dem "Non-Proliferation Treaty" (NPT) und dem Vertrag über die Atomwaffenfreiheit

Lateinamerikas ("Tlatelolco"-Vertrag). Eine Reihe vom wichtigen Verträgen, die Regime konstituieren, deren Bestandteil sind oder sogar Institutionen bilden, enthalten umweltpolitische Empfehlungen oder Implikationen, die aber für das Klimaproblem nicht von unmittelbarer Bedeutung sind (vgl. Kilian 87).

Solche Regime wachsen aus objektiven Interdependenzen und der in ihnen wurzelnden Einsicht, daß kein Staat für sich die Probleme und Gefahren in den jeweiligen Sachbereichen bewältigen kann, da er auf ein Mindestmaß an Zusammenarbeit mit den anderen Akteuren angewiesen ist.

Wie stehen die Chancen für ein "Regime zum Schutz der Atmosphäre"? Die Erfahrungen mit Regimen sind auf das Treibhausproblem nur sehr begrenzt zu übertragen. Spezifische Hindernisse, etwa das "Gewinner-Problem", wurden schon genannt. Zudem ging es in den oben erwähnten Regimen zumeist um die Verteilung noch "unbesetzter Räume" oder die Abstimmung konkurrierender Rechtsnormen. Beim Treibhausproblem hingegen geht es um die Beschränkung gewachsener und scheinbar akzeptierter energetischer Basistechnologien. Auch gibt es heute keine Rechtsgrundlage, die Staaten grundsätzlich die Emission von Treibhausgasen untersagt, auch innerstaatliches Recht ist erst im Ausbildungsprozeß. Für ein Schutzregime fehlt die allgemeine Rechtsgrundlage. Mit dem "Protokoll von Montreal" könnte ein erster Anknüpfungspunkt für rechtliche Regeln geschaffen sein. Vor zu großem Optimismus ist aber zu warnen, da die Verwendung von FCKW nicht direkt mit der anderer Treibhausgase vergleichbar ist. Für die meisten FCKW können Substitute

eingesetzt werden, die Güterpalette bleibt unverändert. Dieser Anpassung auf der "Mikroebene" stünde bei einem Abbau oder einem Verzicht auf CO₂-Emissionen aus dem Energiesektor die Notwendigkeit einer Anpassung der "Makrostrukturen" gegenüber: Das Energiesystem muß nach den neuen Vorgaben umgestaltet werden. Energiepolitische "Freiheitsgrade" fallen der Klimapolitik zum Opfer, energiewirtschaftliche Marktprozesse auf nationaler und internationaler Ebene müßten durch staatliche Eingriffe oder gar eine direkte Lenkung ergänzt oder ersetzt werden. Vergleichbare Probleme dürfte es bei einer Begrenzung der Methan-Emissionen und den mit ihr verbundenen Eingriffen in die Landwirtschaft geben. Die Widerstände vieler gesellschaftlicher Gruppen und Staaten gegen so weitreichende Einschränkungen dürften eine andere Qualität annehmen als das Zögern einiger Länder, sich der "Montreal-Konvention" anzuschließen. Schließlich könnte ein Klimaregime negative Folgen für etablierte Regime nach sich ziehen. So könnten die mit geringen Förderkosten belasteten großen Kohlenexporteure nur dann von den Märkten verdrängt werden, wenn sie durch Steuern, Zölle oder Einfuhrverbote diskriminiert würden. Solche Eingriffe in den Welthandel wären schwere Verstöße gegen die GATT-Prinzipien.

Eine Politik, die Anlaß sieht, eine Klimaveränderung antizipierend als Gefahr zu sehen, muß trotz dieser Restriktionen und der drohenden Konflikte langfristige Ziele definieren, die sie schrittweise in praktische Politik zu überführen hat. Das Instrument der Politik, das Regime, bedarf einer allgemeinen Zielvorgabe: die Schaffung einer völkerrechtlichen "Atmosphärenrechtskonvention". Dieses Recht muß das "klassische

Recht souveräner Staaten", nämlich die Atmosphäre nach eigenem Gutdünken schädigen zu können, durch eine zwischenstaatliche (völkerrechtliche) Norm beschneiden: Auf der Basis einer maximal zulässigen globalen Gesamtemission an Treibhausgasen dürfen Staaten die ihnen zugesagten Emissionen nicht überschreiten.

Es ist unklar, ob am Ende eines so schwierigen politischen Aushandlungsprozesses ein solches globales Recht (eine notwendige Voraussetzung einer "ökologischen Weltinnenpolitik") stehen kann, das von allen relevanten Staaten anerkannt ist. Politisch und psychologisch wichtig erscheint aber ein erster Einbruch in tradiertes Souveränitätsdenken. Möglicherweise wurde er mit der "Montreal-Konvention" über FCKWs im Ansatz vollzogen. Die Entwicklung des Völkerrechts gibt Anlaß zur Hoffnung. Das klassische Souveränitätsrecht der Staaten, das "ius ad bellum" ist in diesem Jahrhundert durch das zwischenstaatliche Gewalt- und Kriegsverbot abgelöst worden (Vgl. Lexikon des Rechts 81). Eine gänzlich andere Wirklichkeit zeigt aber auch, wie weit der Weg von der Norm zu einer Politik ist, die widerstreitende Interessen und unterschiedliche Perzeptionen in den immer komplexer werdenden Strukturen und Prozessen des internationalen Systems in einen Ausgleich bringen muß.

Ein internationales Regime zum Schutz der Erdatmosphäre auf der Basis einer neuen Völkerrechtsnorm ist ein Maximalziel, das - wird es nicht als solches formuliert - keine Realisierungschance hätte. Praktisch wird ein solches Regime aber nur schrittweise erreicht werden können; seine Bestimmungen müssen spezifisch sein, d.h.

Übergangs- und Sonderregelungen enthalten. Sie dürften zumeist von Entwicklungsländern in Anspruch genommen werden, die auf ihren bislang bescheidenen Beitrag zu den Emissionen hinweisen können. Eine realistische Lastenverteilung zwischen Industrie- und Entwicklungsländern wird dies im Grundsatz akzeptieren müssen. Insbesondere der Verbrauch an Brennholz etc. im "Süden" von über 1 Twhr/yr wird nicht zu reduzieren sein. Dies wird aber dann kein klimatisches Problem, wenn eine Forstwirtschaft für den Ausgleich der CO₂-Bilanz sorgt. Ein für die Regimebildung sinnvoller, weil am ehesten praktikabler erster Schritt wäre die Bildung von flexiblen Staatengruppierungen, die eine Präferenz für eine Vermeidungsstrategie haben und gemeinsam eine Vorreiterrolle einnehmen wollen. Durch Erweiterung einer solchen Gruppierung und durch die Abstimmung mit anderen Regimeelementen könnte allmählich die Struktur eines Gesamtregimes wachsen, innerhalb dessen durchaus eigenständige Maßnahmen von Staatengruppen verfolgt werden könnten, die aber mit den Vorgaben des Gesamtregimes kompatibel sein müssen.

Sicherlich wären erste Maßnahmen angesichts der Herausforderung objektiv unzulänglich, ist die Erweiterung eines Regimes nur eine Hoffnung. Die Erfahrung, etwa mit Nichtverbreitungsregime, offenbart aber auch, daß ein schrittweiser Aufbau einem Erfolg nicht im Wege stehen muß. Auch wenn ein Regime dem optimalen Entwurf nicht gerecht werden wird, kann es doch seine gestaltende Kraft entwickeln, die auch solche Staaten nicht unberührt läßt, die seinen Normen eher ablehnend gegenüberstehen. Eine Politik, die sich in diesem Sinne nicht zu einem "Stückwerk" bekennt, verharret in abstrakten und fruchtlosen Regimeforderungen.

Eine der genannten flexiblen Gruppierungen, die einen Anstoß zur Regimebildung geben könnte, sollte die Staaten Westeuropas umfassen. Angesichts des immer enger werden Verflechtung ist die Bewältigung auch der klimatischen Herausforderungen, ganz gleich wie sich klimatische "Primäreffekte" in den einzelnen Staaten darstellen würden, objektiv eine gemeinschaftliche Aufgabe, in die sich die nationale Politik der Bundesrepublik einzufügen hat. Dies heißt auch, daß sich die bundesdeutsche Energiepolitik ihrer Auswirkungen auf und ihren Abhängigkeiten von der Gemeinschaftspolitik bewußt werden muß. Dabei kann eine nationale Energiepolitik, die CO₂-Emissionen über die nächsten Dekaden auf die Hälfte oder gar ein Drittel des heutigen Wertes reduzieren will, eine "Pfadfinderfunktion" übernehmen. Praktisch kann dieser Weg aber nur im Rahmen der Europäischen Gemeinschaft vollzogen werden.

Ohne einen innenpolitischen Konsens wird kein Land in der Lage sein, die hohen ökonomischen und politischen Kosten zu tragen, die ihm durch eine Klimastrategie auferlegt werden. Der Mobilisierung der öffentlichen Meinung kommt also eine zentrale Bedeutung zu. Durch sie wachsen auch die Chancen der Regimeteilnehmer, gegebenenfalls eine Politik der "positiven und negativen" Anreize (Lockungen und Strafen) einzuleiten, die durch Machtpolitik auf die außerhalb des Regimes stehenden Staaten einwirken soll, um sie zu Vermeidungsmaßnahmen zu bewegen. Die Interessenabstimmung zwischen den beiden "Supermächten", die zusammen etwa 45 Prozent des CO₂ aus dem kommerziellen Energiesektor abgeben, ist ein Voraussetzung für eine erfolgsversprechende Klimastrategie. Die

politischen Risiken einer solchen Politik wären aber hoch, die erwünschten Ergebnisse keinesfalls selbstverständlich: Staaten wie China, aber auch Indien, potentielle Großmächte des 21. Jahrhunderts und auf die Nutzung fossiler Energien (insbesondere Kohle) ausgerichtet, können von den Supermächten nicht ohne ein hohes Maß an Konfliktbereitschaft durch die "Sanktionsspannen der Macht" zu durchgreifenden, sie wirtschaftlich schwer belastenden Vermeidungsmaßnahmen gedrängt werden. Aus ihrer Interessenposition heraus könnten solche Länder, wie andere Staaten mit reichen Kohlenwasserstoff-Vorräten oder die großen "Tropenwaldbesitzer" (Brasilien, Zaire, Indonesien) auch, der ihnen nahegelegten Vermeidungsstrategie eine "Blockierungsmacht" entgegenstellen, um die Bildung eines umfassenden Regimes zu verhindern. Diese Überlegungen führen zu der für die Politikwissenschaft und die Praxis interessanten Frage nach dem Verhältnis von Machtstruktur und Politikergebnis und damit zu den Chancen für die Implementation eines Vermeidungsregimes unter den konkreten Bedingungen internationaler Politik.

Die nationalen und die internationale Politik könnte vor einer schwierigen Wahl stehen: Die zumindest ansatzweise antizipierbaren Konflikte im Rahmen einer Vermeidungsstrategie auszutragen oder gänzlich unvorhersehbare Konflikte in einer mit einem "neuen Klima" konfrontierten Welt zu riskieren.

Literaturverzeichnis

AGU= American Geophysical Union 1988, Proceedings Chapman-Conference, 7.-11.3.1988, San Diego, to be published.

J.M. Barnola et al. 1987: Vostok ice core provides 160,000-year record of atmospheric CO₂. in: NATURE Vol.329 1 Oct 87, p 408-14.

Henning Behrens/Paul Noack 1984: Theorien der Internationalen Politik, München 1984 (Deutscher Taschenbuch Verlag).

Beijer Institute, Developing Policies for Responding to Climatic Change. A summary of the discussions and recommendations of the workshops held in Villach (28 September-2 October, 1987) and Bellagio (9-13 November, 1987) under the auspices of the Beijer Institute, Stockholm. Written by Jill Jäger, April 1988, World Climate Impact Studies, World Meteorological Organization/United Nations Environment Programme, WMO/TD-No. 225.

B. Bolin 1986: "How Much CO₂ Will Remain in the Atmosphere", p. 93 - 155. In B. Bolin/ B.R. Döös/ J. Jäger/R.A. Warrick (Hrg.) "The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems" (Scope 29) J. Wiley and Sons. New York.

B. Bolin/B.R. Döös/J. Jäger/R.A. Warrick (Hrsg.) 1986: The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystem, J. Wiley and Sons, New York.

H.-J. Bolle/W. Seiler/B. Bolin 1986: "Other Greenhouse Gases and Aerosols", p. 157 - 203. In B. Bolin, B.R. Döös, J. Jäger and R.A. Warrick (Eds.) "The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems" (Scope 29). J. Wiley and Sons, New York.

Wallace S. Broecker 1987: Der Ozean, in Raymond Siever, Reinhart Kraatz: Die Dynamik der Erde. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH & Co. Heidelberg 1987, S. 144 - 155

Wallace S. Broecker 1987: Unpleasant surprises in the greenhouse? Nature Vol. 328 9 July 87, p. 123-6

Wallace S. Broecker/D. M. Peterson/D. Rind, 1985: Does the ocean-atmosphere system have more than one stable mode of operation?, in: Nature 315, S. 21-26.

Der Bundesminister für Forschung und Technologie 1987, Klimaprobleme und ihre Erforschung, Bonn 1987 (BMFT).

CDAC=Changing Climate: Report of the Carbon Dioxide assessment Committee, Washington D.C., National Academy Press.

The Changing Atmosphere: Implications for Global Security, Conference Statement, Toronto, Kanada, June 27-30, 1988, June 29 version (draft).

H.C.Cheng/M. Steinberg/M. Beller: Effects of Energy Technology on Global CO₂-Emissions. DOE/NNB-0076 (TR030), US Department of Energy, Washington.

William C. Clark (Hrsg.) 1982: Carbon Dioxide Review: 1982, New York 1982, Oxford University Press.

Conservation Commission 1986: World Energy Conference, Long term evolution of the world energy demand and resources balance, Cannes 1986 (World Energy Conference).

R. E. Dickinson 1986: How will climate change? In: B. Bolin (Hrsg.), The Greenhouse Effect, Climatic Change and Ecosystems, J. Wiley and Sons, Chichester.

J. Edmons/J. M.Reilly 1985: Global Energy. Assessing the Future. Oxford University Press, New York 1985.

Firor 1988, Editorial, in: Climate Change, April 1988.

Wolfgang Fischer/Erwin Häckel 1987: Internationale Energieversorgung und politische Zukunftssicherung, München 1987 (Oldenbourg).

P.H. Gleick 1988: Global Climatic Changes and Geopolitics: Pressures On Developed and Developing Countries, Paper, Climate and Geo-Sciences: A Challenge for Science and Society in the 21th Century, Louvain-la-Neuve, Belgium, 22-27 May 1988, (to be published, Publisher: D. Reidel Publishing Company, Dordrecht).

Hartmut Graßl 1988 : Globale Klimaveränderungen durch den Menschen, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 2/1988, Vol. 38, S. 88-91.

W. Häfele 1981, s. IIASA 1981.

H. Hiller 1987: "Grenzbetrachtungen für die CO₂-Emissionen der weltweiten Energieversorgung durch zukünftige Änderungen bei der zur Verwendung kommenden fossilen Primärenergieträger". Unveröffentlichtes Manuskript, KFA Jülich 1987.

IIASA 1981: "Energy in a Finite World". W. Häfele, Program Leader. Ballinger, Cambridge, MA.

IIASA 87 = R.S. Chen/M.L. Parry: Policy-oriented impact assessment of climatic variations. RR-87-7, Intern. Institute f. Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 1987.

Jill Jäger 88, s. Beijer Institute, Developing Policies.

P.D. Jones/T.M.L. Wigley/P.B. Wright 1986: Global temperature variations between 1861 and 1984. Nature Vol. 322 31 July 86, p. 430 - 434.

J. Jouzel et al. 1987: Vostok ice core: a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000 years). Nature Vol. 329 1 Oct 87, p. 403 - 408.

Karl Kaiser/Stephan Frhr. von Welck (Hrsg.) 1987: Weltraum und Internationale Politik, München 1987 (Oldenbourg).

C. D. Keeling, 1983: "The Global Carbon Cycle: What We Know and Could Know from Atmospheric, Biospheric, and Oceanic Observations", p. II.3 - II.62. In "Carbon Dioxide, Science and Consensus" (DOE-CONF-820970). Oak Ridge Associated Universities, Institute for Energy Analysis, Washington, D.C.

W. Keepin/I. Mintzer/L. Kristoferson. 1986: "Emission of CO₂ into the Atmosphere", p. 35 - 91. In B. Bolin, B.R. Döös, J. Jäger and R.A. Warrick (Eds.) "The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems" (Scope 29). J. Wiley and Sons, New York.

Robert O. Keohane/Joseph S. Nye 1977: Power and Interdependence. World Politics in Transition, Boston/ Toronto 1977 (Little, Brown and Company).

Michael Kilian 1987: Umweltschutz durch Internationale Organisationen, Die Antwort des Völkerrechts auf die Krise der Umwelt?, Berlin 1987 (Duncker & Humblot).

Stephen D. Krasner (Hrsg.) 1982: International Regimes. A special issue of International Organization, Vol. 36, No. 2, Spring 1982, Cambridge/MA (MIT Press).

J. E. Kutzbach/F.A. Street-Perrott 1985: Milankovitch forcing of fluctuations in the level of tropical lakes from 18 to 0 kyr B. P., Nature, 317, S. 130-134.

Winfried Lang 1988: Diplomatie zwischen ökonomie und ökologie. Das Beispiel des Ozonvertrages von Montreal, in: Europa-Archiv 4/1988, Vol. 43, S. 105-110.

Lexikon des Rechts, Ergänzbare, Band 1, Gruppe 4, Neuwied/Darnstadt 1981ff, 4 Bände (Luchterhand Verlag).

E. Maier-Reimer/K. Hasselmann 1987: Transport and Storage of CO₂ in the ocean - an inorganic ocean-circulation model, in: Climate Dynamics 2/1987, S. 63-90.

G. Marland/R.M. Rotty 1983: "Carbon Dioxide Emissions from Fossil Fuels: A Procedure for Estimation and Results for 1950 - 1981". DOE/NNB-0036 (TR003). U.S. Department of Energy, Washington, D.C.

Wolfgang Mickel (Hrsg.) 1986: in Verbindung mit Dietrich Zitzlaff, Handbuch zur Politikwissenschaft, Schriftenreihe der Bundeszentrale für Politische Bildung, Bonn 1986 (Bundeszentrale für Politische Bildung).

I. M. Mintzer 1987: A matter of degrees: The potential for controlling the greenhouse effect. World Resources Institute, Washington D.C..

NRC=National Research Council 1983: Global Tropospheric Chemistry: A Plan for Action. National Academy Press, Washington D.C.

A.E. Neftel/E. Moor/H. Oeschger/B. Stauffer 1985: Evidence From Polar Ice Cores for the Increase in Atmospheric CO₂ in the Past Two Centuries. Nature 315, 45 - 47.

Hans Oeschger 1988: Das antarktische Füllhorn. Neue Zürcher Zeitung 20 Jan 88, S. 35.

H. Oeschger u.a. : A box diffusion modell to study the carbon dioxide exchange in nature, in: Tellus 27, S. 168-192.

H. P. Peters 1984: Entstehung, Verarbeitung und Verbreitung von Wissenschaftsnachrichten am Beispiel von 20 Forschungseinrichtungen, Jül-1940, Kernforschungsanlage Jülich GmbH, August 1984.

Volker Prittitz 1984: Umweltaußenpolitik. Grenzüberschreitende Luftverschmutzung in Europa, Frankfurt/ New York 1984 (Campus-Verlag).

V. Ramanathan et. al. 1986: Trace gas effects on climate. In. Atmospheric Ozone 1985, Vol. III, World Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 16, World Meteorological Organization, Geneva.

V. Ramanathan/ R.J. Cicerone/ H.B. Singh/J.T. Kiehl 1985: "Trace Gas Trends and Their Potential Role in Climatic Change". J. Geophysical Research 90 (D3), 5547 - 5566.

R. M. Rotty/G. Marland 1986: Fossil Fuel Combustion: Recent Amounts, Patterns and Trends of CO₂, p. 474 - 490. in: J. R. Trabalka/D. E. Reichle (Hrsg.), The Changing Carbon Cycle - A Global Analysis, New York, Springer Verlag.

Dieter Ruloff 1986: Jenseits der Zweifel am Staat: Neorealismus und internationale Zusammenarbeit, in: Im Spannungsfeld von Wirtschaft, Technik und Politik. Festschrift für Bruno Fritsch, herausgegeben von Rolf Kappel, München 1986, S. 501-521 (Günter Olzog Verlag).

Thomas C. Schelling 1983: Climatic Change: Implications for Welfare and Policy, in: Report of the Carbon Dioxide Assessment Committee, Changing Climate, Washington D.C.. 1983, S. 449-482 (National Academy Press).

Bernd Schmidtbauer 1988: Presseerklärung 21.7.1988, Neues Hochhaus Bonn, Deutscher Bundestag (Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre").

S. H. Schneider 1986: A Goddess of the Earth?: THE Debate on the Gaia Hypothesis, in: Climatic Change 8, S. 1-4.

S. Seidel/D. Keyes 1983: Can we delay a greenhouse Warming? Washington D.C., Environmental Protection Agency.

J. Smagorinsky 1983: Effects of Carbon Dioxide, p. 266 - 284. In: Carbon Dioxide Assessment Committee, Changing Climate. National Academy Press, Washington D.C.

Eric T. Sundquist 1988: Can the biosphere influence tectonic gas emissions? Proceedings of the AGU Chapman Conference on Gaia Hypothesis. San Diego 7/11 Mar 88, to be published.

Eric T. Sundquist 87: Ice core links CO₂ to climate. Nature Vol. 329 1 Oct 87, p. 389 - 90.

Peter Cornelius Tasch 1985: Internationalisierung der Umweltprobleme und staatliche Souveränität, in: Martin Jänicke/Udo Ernst Simonis/Gerd Weigmann (Hrsg.), Wissen für die Umwelt. 17 Wissenschaftler bilanzieren, Berlin usw. 1985, S. 175-193 (de Gruyter).

Toronto Weltklimakonferenz=Changing Atmosphere.

M. Walbeck u.a. 1987: Energie und Umwelt als Optimierungsaufgabe. Das Mrnes-Modell, Berlin 1987 (Springer Verlag).

T. Webb III/P. D. Jones/P. M. Wigley 1985: What past climates can tell us about a warmer world, in: M. C. MacCracken/F. M. Luther (Hrsg.), The potential climatic effects of increasing carbon dioxide, S. 237-257, U.S. Dep. of Energy, Carbon Dioxide Research Division, Washington D. C.

WPC=World Climatic Programme, Report of the international conference on the assessment of the role of carbon dioxide and of other greenhouse gases in climatic variations and associated impacts, WMO-No. 661, World Meteorological Organization, Geneva.

R.F. Weiss 1981: The Temporal and Spatial Distribution of Tropospheric Nitrous Oxide. Journal of Geophysical Research 86, 7185 - 7195.

T.M.L. Wigley/P. D. Jones/P. M. Kelly 1986: Empirical climate studies. In: Bolin et. al. (Hrsg.), 1986.

T.M.L. Wigley/S.C.B. Raper 1987: Thermal Expansion of sea water associated with global warming, in:Nature 1987, S. 327-331

