

**Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung
Globale Umweltveränderungen (WBGU)**



**Szenario zur Ableitung globaler
CO₂-Reduktionsziele und
Umsetzungsstrategien**

**Stellungnahme zur
ersten Vertragsstaatenkonferenz
der Klimarahmenkonvention in Berlin**

März 1995

**Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung
Globale Umweltveränderungen (WBGU)**

**Szenario zur Ableitung globaler
CO₂-Reduktionsziele und
Umsetzungsstrategien**

**Stellungnahme zur
ersten Vertragsstaatenkonferenz
der Klimarahmenkonvention in Berlin**

**beschlossen auf der 26. Sitzung des Beirats
am 17. Februar 1995 in Dortmund**

Der Beirat dankt Herrn Prof. Hasselmann und seinen Mitarbeitern vom Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg für die wissenschaftliche Unterstützung bei der Erstellung dieser Studie.

Impressum:

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung
Globale Umweltveränderungen
Geschäftsstelle am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und
Meeresforschung
Postfach 12 01 61
27515 Bremerhaven

Tel.: 0471/4831-349
Fax: 0471/4831-218
Email: wbg@awi-bremerhaven.de

© 1995, WBGU

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1. Gegenstand der Stellungnahme	3
2. Szenario zur Abschätzung von Mindestzielen globaler Reduktionsanstrengungen	5
2.1. Der „Rückwärts“-Modus des Szenarios.	5
2.2. Die Grundannahmen des Szenarios	7
2.3. Die Hauptergebnisse des Szenarios	9
3. Einheitliche Länderquoten und ihre Bedeutung für internationale Instrumente	14
3.1. Regionale Unterschiede in den technischen Reduktions- potentialen	14
3.2. Folgerung für die Festlegung von Reduktionspflichten.	16
4. Flexibilisierung unter der Voraussetzung einheitlicher Länderquoten: „Gemeinsame Umsetzung“ (<i>Joint Implementation</i>) und Zertifikate	18
4.1. „Gemeinsame Umsetzung“ (<i>Joint Implementation</i>)	18
4.2. Ein zwischenstaatliches Zertifikatesystem	19
5. Umweltbildung als ein zentraler Bestandteil von Umsetzungsstrategien	21
6. Die Klimaproblematik im Kontext des Globalen Wandels: Koordinationsbedarf zwischen internationalen Abkommen .	23
7. Literatur	26

Anhang I: Erläuterungen zum Invers-Szenario in Abschnitt 2.	27
A1.1. Tolerierbare Belastung für Natur und Gesellschaft	27
A1.2. Zulässige Klimaentwicklung	29
A1.3. Zulässige CO ₂ -Anreicherungen bzw. zulässige globale Emissionsprofile	33
A1.4. Nationale Reduktionspflichten.	35
Anhang II: Der Beirat — Mitglieder und Auftrag	39

Zusammenfassung

Aus Anlaß der ersten Vertragsstaatenkonferenz zum Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen veröffentlicht der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen eine Stellungnahme mit einer Ableitung von globalen CO₂-Reduktionszielen und von Umsetzungsstrategien.

Der Beirat gibt ein globales CO₂-Reduktionsziel an, das in einem „Invers-Szenario“ auf der Grundlage mathematisch-physikalischer Modelle berechnet wurde. Aus der Analyse der ökologisch und ökonomisch vermutlich noch tragbaren Belastungen durch Klimaänderungen wird zunächst ein „Toleranzfenster“ für die zulässigen Klimaentwicklungen festgelegt. Ökologische Grenzen ergeben sich dabei aus der Maximaltemperatur und den Temperaturgradienten, an die sich die Biosphäre noch anpassen kann. Ökonomische Grenzen sind durch die für die Weltwirtschaft gerade noch zumutbaren Klimafolgekosten bestimmt. Die Hauptergebnisse des Szenarios sind:

- Die anthropogenen CO₂-Emissionen müssen langfristig, d.h. über mehrere Jahrhunderte, nahezu auf Null reduziert werden. Dabei läßt das Klimasystem allerdings beträchtliche Freiheiten zu, was die Gestaltung des Emissionsprofils anbetrifft.
- Die Fortsetzung der gegenwärtigen Emissionspraxis (*Business as Usual*) würde uns zwar noch ca. 25 Jahre Zeit geben, dann aber innerhalb weniger Jahre einen solch drastischen Minderungszwang erfordern, daß kaum Strukturen und Technologien vorstellbar sind, die diese Minderung erbringen könnten.
- Deshalb erscheint dem Beirat ein Emissionsprofil umsetzbar und sinnvoll, bei dem die globalen CO₂-Emissionen, nach einer Übergangszeit von etwa 5 Jahren, über mehr als 150 Jahre um jährlich knapp 1% reduziert werden.
- Dadurch kommen vor allem auf die Industrieländer mittelfristig große Reduktionspflichten zu. Der Beirat regt an, die aus der Selbstverpflichtung Deutschlands zur Minderung der CO₂-Emissionen entstehenden Maßnahmen konsequent zu verwirklichen. International sind Vereinbarungen abzuschließen, die über das Jahr 2000 hinausreichen.

Es ist zu vermuten, daß die aus dieser Vorgabe resultierenden Reduktionspflichten zunächst auf die Annex-I-Länder (Industrieländer) beschränkt sein werden. Zur Flexibilisierung der zu erwartenden starren Länderquoten empfiehlt der Beirat das Instrument der *Joint Implementation* („Gemeinsame Umsetzung“) mit der möglichen Erweiterung hin zu einem zwischenstaatlichen Zertifikatesystem. Durch diese Instrumente könnten die erforderlichen Emissionsreduktionen kostengünstig gestaltet und gleichzeitig den Entwicklungsländern ein rascher Zugang zu energieeffizienten Technologien ermöglicht werden.

Neben den laufenden Verbesserungen der Energieeffizienz empfiehlt der Beirat, zum Erreichen des anspruchsvollen Reduktionsziels verstärkt Umweltbildungsmaßnahmen einzuleiten, da sie Voraussetzung für eine Suffizienzrevolution sind.

Wie aus der bisherigen Arbeit des Beirats deutlich wird, dürfen globale Umweltprobleme nicht isoliert betrachtet werden, sondern es müssen die Verknüpfungen mit anderen Trends des Globalen Wandels verstärkt in Analyse und Umsetzungsstrategien einbezogen werden. Dies gilt auch für das Thema Klimawandel, dessen Bewältigung nur innerhalb des Leitbildes der nachhaltigen Entwicklung (*Sustainable Development*) erfolgen kann.

1. Gegenstand der Stellungnahme

Die Bedeutung der ersten Vertragsstaatenkonferenz zum Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen (Klimarahmenkonvention) vom 28.3. - 7.4.1995 in Berlin, kurz Klimakonferenz genannt, wird dadurch unterstrichen, daß nicht nur die erforderliche Mindestzahl von 50, sondern mit Stand vom 8.2.1995 bereits 121 Staaten und die EU das Abkommen ratifiziert haben. Damit ist eine gute Ausgangsbasis für eine wirkungsvolle und gemeinsame Anstrengung der Staatengemeinschaft geschaffen, die potentiellen Folgen des anthropogenen Treibhauseffekts abzuwenden. Daß der natürliche Treibhauseffekt tatsächlich vom Menschen verstärkt wird, haben deutsche Wissenschaftler (Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg) kürzlich mit 95%iger Wahrscheinlichkeit nachgewiesen.

Für die konkreten Aufgaben der Klimakonferenz ist davon auszugehen, daß die in Rio de Janeiro 1992 eingegangenen Verpflichtungen allgemein als unzureichend für eine wirksame Eindämmung der globalen Erwärmung eingeschätzt werden. Daher ist die explizit als *Rahmenkonvention* bezeichnete Vereinbarung durch ein Protokoll zu ergänzen, in dem insbesondere genaue Minderungsziele für die einzelnen Treibhausgase verbindlich festgelegt werden.

Mit Blick auf die kommenden Verhandlungen in Berlin begrüßt der Beirat die Position der Bundesrepublik Deutschland, wie sie in den *Elementen für ein umfassendes Protokoll zur Klimarahmenkonvention* („Elementepapier“) vom 26.9.1994 zum Ausdruck kommt. Er schließt sich insbesondere der Forderung an, zur Realisierung des in Artikel 2 der Konvention niedergelegten Ziels — zumindest schrittweise — alle Treibhausgase durch ein umfassendes Protokoll in die Klimaschutzstrategie einzubeziehen. Dazu sind für alle Treibhausgase quantitative und zeitliche Zielvorgaben sowie entsprechende Verpflichtungen zu vereinbaren, die Emissionen zu reduzieren oder — wie etwa in vielen Entwicklungsländern — den Anstieg zu begrenzen. Bei der Festlegung dieser Verpflichtungen ist, darauf hat auch der Beirat ausführlich hingewiesen [1], zu beachten, daß die Aufteilung zwischen den einzelnen Staaten bzw. Staatengruppen ausgewogen „entsprechend der gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten der Parteien und ihren Fähigkeiten und Möglichkeiten“ (Artikel 3 der Konvention) vorgenommen wird.

Im Mittelpunkt der vorliegenden Stellungnahme des Beirats steht ein Szenario oder „Gedankenexperiment“, das — anders als die üblichen Ansätze — nicht von den Ursachen, sondern den *Folgen* eines Klimawandels ausgeht. Das bedeutet, daß zunächst tolerierbare Belastungen für Mensch und Natur definiert und dann „rückwärts“ die langfristigen globalen Reduktionsziele abgeleitet werden, welche die Einhaltung dieses Belastungsrahmens sicherstellen.

Wenn man sich auf ein globales Reduktionsziel geeinigt hat, müssen die Quoten festgelegt werden, mit denen die einzelnen Länder an dieser Reduktion beteiligt sind. Es ist davon auszugehen, daß für alle Annex-I-Staaten (Industriestaaten und die in der Konvention genannten Transformationsländer) ein einheitlicher Prozentsatz der Reduktion vereinbart wird. Das aber würde die Kosten der Emissionsreduktion global gesehen unnötig erhöhen, weil die Aufwendungen für Emissionsminderungen von Staat zu Staat sehr unterschiedlich sind. Um die Nachteile der „starren“ — prozentual gleichen — Länderquoten abzumildern, sollten flexibilisierende Instrumente eingeführt werden. Daher betont der Beirat seine Empfehlung [1], zwischen den Staaten bei der Klimaschutzpolitik eine „Gemeinsame Umsetzung“ (*Joint Implementation*) vorzusehen, Zertifikatlösungen vorzubereiten und letzteres Instrumentarium möglichst bald mit einem Pilotvorhaben innerhalb der Europäischen Union (EU) anzuwenden.

Zusätzlich empfiehlt der Beirat, die Umweltbildung als einen wichtigen Bestandteil der nationalen Umsetzungsstrategie auszubauen (Abschnitt 5).

Eine isolierte Behandlung der Klimaproblematik ist unbefriedigend. Es ist vielmehr dringend erforderlich, die Verknüpfung dieser Problematik mit anderen Trends der globalen Umweltveränderungen aufzuzeigen. Der Beirat weist in diesem Zusammenhang auf den entsprechenden Ausschnitt seines Globalen Beziehungsgeflechts hin (Abschnitt 6).

2. Szenario zur Abschätzung von Mindestzielen globaler Reduktionsanstrengungen

2.1. Der „Rückwärts“-Modus des Szenarios

Bisherige Rechnungen zum Zusammenhang zwischen Treibhausgasemissionen und Klimaentwicklung wurden im „Vorwärts-Modus“ durchgeführt [2]. Dazu wurden aufgrund unterschiedlicher Annahmen über die Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung entsprechende Emissionsszenarien *vorgegeben* und daraus die zukünftigen Klimaänderungen ermittelt. Solche Studien helfen zwar, *nicht-akzeptable* („nicht nachhaltige“) Pfade der globalen Umweltentwicklung zu identifizieren, sie geben aber keine direkte Antwort auf die Frage nach den Voraussetzungen für *akzeptable* („nachhaltige“) Pfade.

Hierzu muß im „Rückwärts-Modus“ vorgegangen werden: Unter Berücksichtigung der Folgen von Klimaänderungen für Mensch und Natur wird hierfür zunächst das „Fenster“ *tolerierbarer* künftiger Klimaentwicklungen vorgegeben. Daraus werden diejenigen globalen Emissionsprofile berechnet, welche einen Verbleib in diesem Fenster sicherstellen. Auf diese Weise lassen sich unmittelbar die Mindestanforderungen an eine weltweite Reduktionsstrategie ableiten.

Neueste Analysen [3] orientieren sich bereits ansatzweise an diesem „Invers-Szenario“. Der Beirat verfolgt diesen Weg konsequent weiter und versucht, politische Schlußfolgerungen innerhalb eines geschlossenen Bildes zu bestimmen. Diese Vorgehensweise ist schematisch in Abb. 1 dargestellt. Ausführliche Erläuterungen zum „Invers-Szenario“ sowie Begriffsdefinitionen finden sich in Anhang I.

In Schritt 1 wird ein — eher großzügig bemessener — Toleranzbereich hinsichtlich der potentiellen Belastungen durch eine Klimaänderung festgelegt. Diese *Setzung*, in die natürlich Vorstellungen über ökologisch und ökonomisch wünschenswerte Bedingungen eingehen, macht es möglich, die Ziele von Artikel 2 der Klimarahmenkonvention zu operationalisieren. Im zweiten Schritt werden die Klimaentwicklungen abgeschätzt, welche zu noch tolerierbaren Belastungen innerhalb der gezogenen Grenzen führen. Die Schritte 3 und 4 bestimmen mittels vereinfachter Modelle für Klimadynamik und Kohlenstoffkreislauf die entsprechend zulässigen globalen Emissionsprofile für

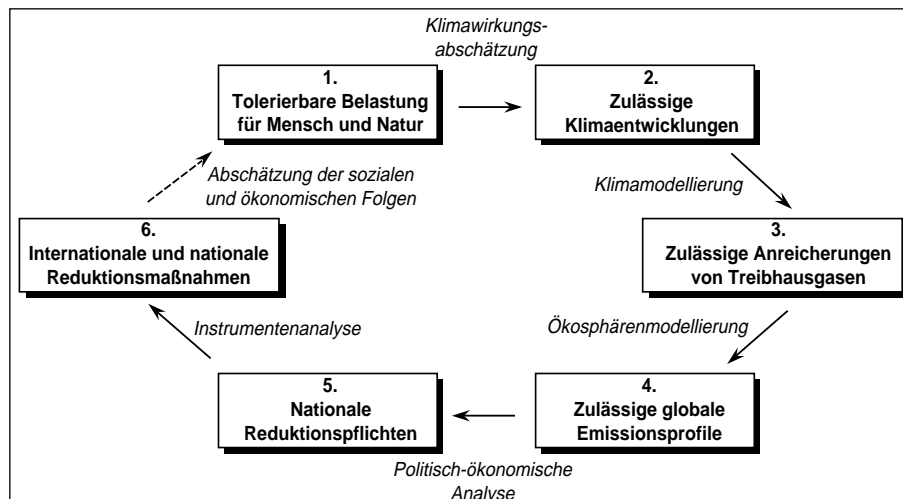


Abb. 1: Das „Invers-Szenario“ des Beirats

CO₂ (andere Treibhausgase aus zivilisatorischen Quellen werden hier nicht berücksichtigt). Insbesondere gilt es, die *Obergrenze* für die Gesamtemissionen von CO₂ innerhalb des gewählten Stabilisierungszeitraums zu ermitteln, sowie „optimale“ Emissionsprofile, die diese Obergrenze annähernd erreichen.

Im fünften Schritt ließen sich daraus — nach Maßgabe der Kriterien internationaler Umwelt- und Entwicklungspolitik — die Reduktionspflichten für die einzelnen Länder bzw. Ländergruppen ableiten. Im letzten und sechsten Schritt müßte schließlich analysiert werden, welche Reduktionsinstrumente an welchem Ort am effektivsten Emissionsminderungen erbringen können und welcher Instrumentenmix die geringsten Kosten verursacht.

Untersuchungen, die auf einer solchen Zusammenschau aller Aspekte der Klimaproblematik fußen, finden neuerdings vermehrt Eingang in die Literatur. Ein aktuelles Beispiel ist die Studie von Bach [4], die in engem Zusammenhang mit der Arbeit der Klima-Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages steht. Allerdings wird auch diese Analyse noch im Vorwärtsmodus durchgeführt (also „gegen den Uhrzeigersinn“ von Abb. 1).

Der Beirat beschränkt sich bei der vorliegenden Ausarbeitung im wesentlichen auf die Schritte 1 bis 4. Darüber hinaus wird die zulässige Mindestreduktionsfunktion für die Annex-I-Länder (also auch Deutschland) auf der Basis des wahrscheinlichen internationalen

Verteilungsschlüssels bestimmt (Abb. 4). Zu den Schritten 5 und 6 gibt der Beirat Hinweise (Abschnitte 3-5), eine umfassende Klärung steht jedoch noch aus und stellt eine besondere Herausforderung für die Forschung dar.

Es sei darauf hingewiesen, daß das gewählte Analyseverfahren durch Abschätzung der weltweiten sozioökonomischen Folgen der Reduktionsmaßnahmen zu einem *integrierten Modell* der klimapolitischen Problematik vervollständigt werden kann (gestrichelter Pfeil zwischen den Schritten 6 und 1 in Abb. 1). Innerhalb eines solchen Modells lassen sich insbesondere die Kosten der Anpassung an veränderte Klimaverhältnisse mit den Kosten der Vermeidung des Klimawandels vergleichen. Der Beirat verzichtet jedoch vorläufig auf diese integrierte Perspektive, da sie derzeit mit zu vielen Unsicherheiten behaftet ist: Die unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen der Reduktionsanstrengungen auf Mensch und Natur (beispielsweise positiv zu Buche schlagende ökologische Entlastungen durch Verkehrsminde- rung) lassen sich derzeit kaum quantifizieren. Durch alleinige Berücksichtigung der *direkten* Klimafolgen wird die Problematik der anthropogenen Klimaverschiebung durch das vorliegende Szenario also eher unterschätzt.

2.2. Die Grundannahmen des Szenarios

Um die möglichen Klimafolgen trotz der hohen Komplexität des Problems grob, aber solide abzuschätzen, stützt sich der Beirat bei dieser Studie auf die Prinzipien

- Bewahrung der Schöpfung
- Vermeidung unzumutbarer Kosten

Daraus werden die Randbedingungen des Szenarios entwickelt.

Ein tolerierbares Temperaturfenster

Das erste Prinzip, die Bewahrung der Schöpfung, wird in diesem Szenario durch ein tolerierbares „Temperaturfenster“ festgelegt. Dieses Fenster ergibt sich aus der Schwankungsbreite für die Temperatur der Erde im jüngeren Quartär. Diese geologische Epoche hat unsere heutige Umwelt geprägt, mit den niedrigsten Mitteltemperaturen in der Würm-Eiszeit (10,4°C) und den höchsten Mitteltemperaturen während

der Eem-Warmzeit ($16,1^{\circ}\text{C}$). Wird dieser Temperaturbereich verlassen, sind einschneidende Veränderungen in Zusammensetzung und Funktion der heutigen Ökosysteme zu erwarten. *Erweitert man den Toleranzbereich vorsichtshalber noch um jeweils $0,5^{\circ}\text{C}$ an beiden Rändern, dann erstreckt sich das tolerierbare Temperaturfenster von $9,9^{\circ}\text{C}$ bis $16,6^{\circ}\text{C}$. Die heutige globale Durchschnittstemperatur liegt bei $15,3^{\circ}\text{C}$, so daß der Abstand bis zum tolerierbaren Maximum derzeit nur $1,3^{\circ}\text{C}$ beträgt.*

Die Belastung der Gesellschaft

Das zweite Prinzip, die Vermeidung unzumutbarer Kosten, wird über einen einfachen ökonomischen Indikator definiert. Wirtschaftswissenschaftler gehen davon aus, daß Kosten der Anpassung an Klimaänderungen inklusive der Reparatur von Klimafolgeschäden in einer Größenordnung von 3-5% des globalen Bruttosozialprodukts (BSP) bereits eine empfindliche Störung des zivilisatorischen Systems bewirken dürften. Im Szenario wird für die Belastung der Gesellschaft (soweit sie monetarisierbar ist) ein globaler Mittelwert von 5% des BSP als gerade noch tragbar zugelassen. Dabei ist zu bedenken, daß bei den beträchtlichen räumlichen Unterschieden in den Klimawirkungen einzelne Staaten in erheblich höherem Maße betroffen sein dürften (z.B. Bangladesch, Inselstaaten).

Die meisten Abschätzungen der weltweiten jährlichen Folgekosten einer CO_2 -Verdopplung bis zum Ende des nächsten Jahrhunderts liegen bei etwa 1-2% des globalen BSP. Dieser CO_2 -Verdopplung im genannten Zeitraum entspricht im Rahmen der verwendeten Klimamodelle eine mittlere Temperaturzunahme von $0,2^{\circ}\text{C}$ pro Dekade. In all diesen Abschätzungen sind aber weder Extremereignisse (Dürren, Überflutungen, Wirbelstürme, usw.) noch mögliche Synergismen zwischen den verschiedenen Trends des Globalen Wandels erfaßt. *Schließt man diese Ereignisse mit ein, scheint die Annahme realistisch, daß eine Temperaturänderung von $0,2^{\circ}\text{C}$ pro Dekade bereits der tragbaren Obergrenze der Anpassungskosten von 5% des globalen BSP entspricht.*

Abnehmende Anpassungsfähigkeit

Die oben diskutierte Obergrenze für die maximal zulässige Geschwindigkeit der Temperaturänderung dürfte nur solange gültig sein, wie die

Ökosphäre im Zentrum des Temperaturfensters verweilt. Mit der Annäherung an die obere Temperaturgrenze von $16,6^{\circ}\text{C}$ wird die Anpassungsfähigkeit jedoch kontinuierlich abnehmen. *Dies bedeutet, daß der tolerierbare Temperaturgradient an der Obergrenze gegen null strebt.*

Mit Hilfe dieser drei Grundannahmen kann man unter Berücksichtigung weiterer Faktoren (z.B. nichtlinearer Abhängigkeiten und Irreversibilitäten) eine zweidimensionale Klimadomäne \mathbf{D} definieren, welche das Klimasystem nicht verlassen sollte. Die entsprechenden Überlegungen sind im *Anhang* im Detail erläutert. Man beachte, daß alle Randbedingungen bewußt weit gefaßt wurden, um die resultierenden Anforderungen an die Klimaschutzpolitik nicht zu pessimistisch abzuschätzen. Die im folgenden dargestellten Reduktionspflichten stellen somit eher eine *Untergrenze* dar.

2.3. Die Hauptergebnisse des Szenarios

Der besondere Vorteil der inversen Betrachtungsweise liegt darin, daß die Klimathematik nicht als Prognose-, sondern als *Steuerungsproblem* aufgefaßt wird: Die Zukunft der globalen Umwelt hängt wesentlich vom CO_2 -Emissionsprofil E der nächsten Jahrhunderte ab, und dieses ist — innerhalb gewisser Grenzen — wählbar.

Die Modellrechnungen, auf die sich diese Studie stützt, gestatten eine Identifizierung und Klassifikation aller wählbaren E . Aus der Fülle der erzielten Resultate werden im folgenden zwei zulässige Profile von sehr unterschiedlichem Charakter herausgegriffen. Angesichts der noch beträchtlichen Lücken beim Verständnis des Klimasystems haben all diese Ergebnisse allerdings den Charakter von Wahrscheinlichkeitsaussagen.

Generelle Aussagen des Szenarios

Um den Verbleib innerhalb der tolerierbaren Klimadomäne \mathbf{D} zu sichern, darf die Gesamtmenge aller künftigen anthropogenen Emissionen einen *endlichen* Wert Σ nicht überschreiten. Auf der Basis der hier benutzten Modellparameter berechnet sich Σ zu knapp 1.600 Gigatonnen Kohlenstoff (Gt C). Würde man etwas abweichende Parametersätze innerhalb des noch bestehenden wissenschaftlichen

Unschärfbereichs verwenden, dann könnte diese Obergrenze auch auf ca. 2.000 Gt C steigen.

Die Schlußfolgerung ist jedoch in allen Fällen die gleiche. *Die zivilisatorischen CO₂-Emissionen müssen langfristig, d.h. über mehrere Jahrhunderte, nahezu auf Null heruntergefahren werden.* Nur falls im System Erde noch unbekannt negative (also klimaschützende) Rückkopplungen – insbesondere unter Mitwirkung der Biosphäre – existieren sollten, wäre diese Aussage einzuschränken.

Die Modellrechnungen weisen klar auf eine Eigenheit der Ökosphäre hin: Das Klimasystem gewährt beträchtliche Freiheiten hinsichtlich der Wahl des Emissionsprofils E , d.h. ganz unterschiedliche Verteilungen derselben Emissionssumme σ ($\leq \Sigma$) über die nächsten Jahrhunderte können den Verbleib in der Klimadomäne \mathbf{D} sicherstellen. Diese Einsicht steht etwas im Gegensatz zur üblichen Auffassung, daß nur noch eine sofortige Vollbremsung der weltweiten CO₂-Emissionen den Klimawandel in tolerierbaren Grenzen halten könnte.

Insofern existiert ein gewisser Spielraum dafür, die Festlegung des globalen Emissionsprofils auch an *soziokulturellen, politischen und ökonomischen Kriterien* zu orientieren. Dies bedeutet jedoch keineswegs, daß die künftigen CO₂-Emissionen willkürlich bemessen werden können: Die durch \mathbf{D} definierten Randbedingungen sind gerade im mittelfristigen Planungsbereich einschneidend, wie am folgenden Beispiel *Business as Usual* illustriert werden kann.

Maximales Emissionsprofil bei zunächst ungebremstem Wachstumstrend

Gegenwärtig nimmt die globale CO₂-Emission jährlich um ca. 1,7% des Wertes von 1994 zu. Die hypothetische Fortschreibung dieses linearen Trends wird als *Business as Usual* bezeichnet. Die Modellrechnung des Beirats zeigt, daß ein solches Emissionsverhalten in weniger als 30 Jahren an die Begrenzung der tolerierbaren Klimadomäne heranführen würde; anschließend wäre das Klimasystem nur durch ein drastisches Umsteuern, *d.h. eine Senkung der Emissionen um ca. 40% innerhalb weniger Jahre*, im zulässigen Bereich zu halten. Ein entsprechendes (geglättetes) Emissionsprofil \tilde{E}_1 ist für die nächsten 200 Jahre in Abb. 2 wiedergegeben.

Das dargestellte Profil ist „optimal“ in dem Sinne, daß die kumulierte

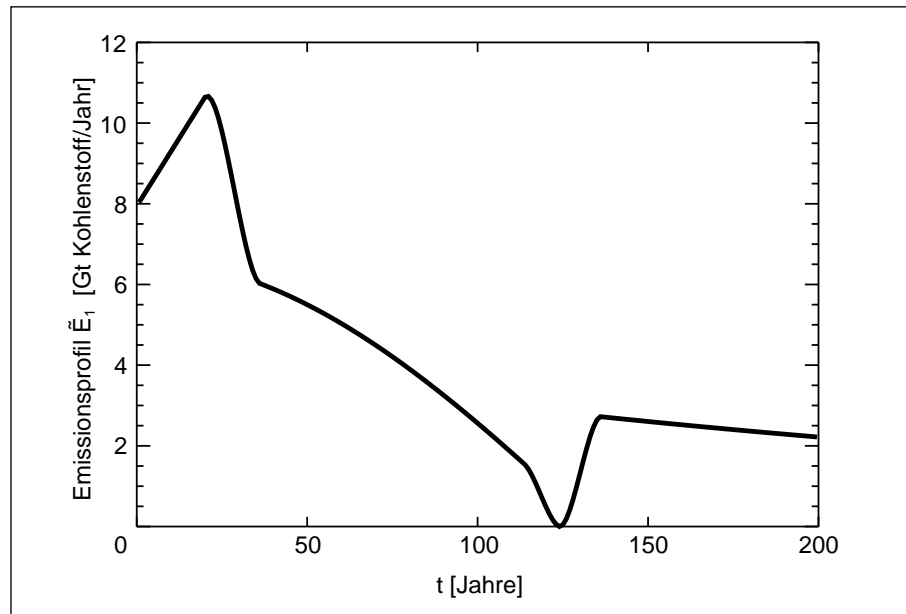


Abb. 2: Globales CO₂-Emissionsprofil \tilde{E}_1 bei anfänglichem „Business as Usual“

CO₂-Emission zu jedem Zeitpunkt ungefähr das klimaverträgliche Maximum realisiert. Im Durchschnitt ergibt sich dabei eine Emission von 4,2 Gt C pro Jahr. Zum Vergleich: Die Emissionen der Industrieländer (Annex-I-Staaten der Klimarahmenkonvention) liegen derzeit bei 6,1 Gt C, derjenige der Entwicklungsländer bei 1,5 Gt C. Somit beläuft sich die aktuelle globale Emission auf ca. 7,6 Gt C jährlich.

Der Beirat geht davon aus, daß das Emissionsprofil \tilde{E}_1 , als Fortsetzung von *Business as Usual*, weder realisierbar noch wünschenswert ist. Insbesondere würden die extremen Reduktionsanforderungen nach ca. 30 Jahren die Elastizität des Weltwirtschaftssystems erheblich überfordern.

Maximales Emissionsprofil bei gleichmäßiger prozentualer Reduktion

Als ökologisch und ökonomisch deutlich günstigere Alternative stellt der Beirat das in Abb. 3 wiedergegebene globale Emissionsprofil \tilde{E}_2 vor.

Bei dieser Klimaschutzstrategie wird nach einer Übergangszeit von etwa 5 Jahren (anfängliches „Umbiegen“ des *Business as Usual*-Trends) bis zum Jahre 2155 die globale CO₂-Emission jährlich um knapp 1% reduziert, anschließend um jährlich ca. 0,25%. \tilde{E}_2 hat den

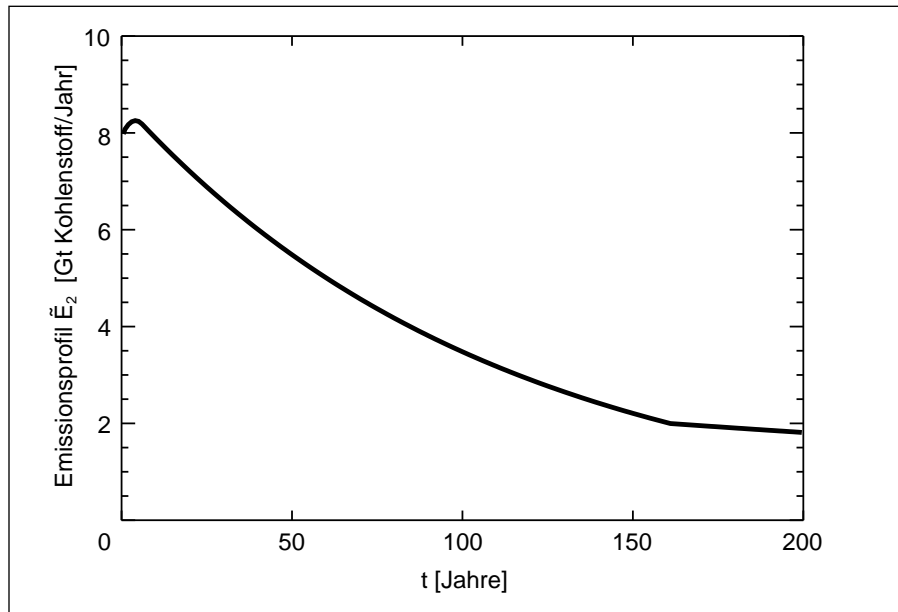


Abb. 3: Globales CO₂-Emissionsprofil \tilde{E}_2 bei jährlicher Reduktion um den gleichen Prozentsatz

Charakter einer zusammengesetzten Exponentialfunktion und stellt unter allen Kurven von diesem Typ die zulässige *Grenzfunktion* dar: Alle höher liegende Emissionsprofile dieser Klasse würden das Klimasystem aus **D** herausführen. Die mit \tilde{E}_2 verbundene Gesamtemission über die kommenden 200 Jahre beträgt 802 Gt C; \tilde{E}_1 (Abb. 2) erlaubt im gleichen Zeitraum einen nur um 2% größere Emission von 820 Gt C. Da das Profil \tilde{E}_2 nicht nur leichter umzusetzen ist als \tilde{E}_1 , sondern über die Vereinbarung einer *konstanten* jährlichen Reduktionsrate vor allem auch *langfristige Planungssicherheit* bietet, ist diese Klimaschutzstrategie eindeutig vorzuziehen.

Prozentuales Reduktionsprofil für die Annex-I-Länder

Die vorgestellten Emissionsprofile \tilde{E}_1 und \tilde{E}_2 definieren gewissermaßen *globale Verschmutzungskontingente* als Funktionen der Zeit. Diese globalen Größen lassen sich in *nationale Reduktionspflichten* transformieren, wenn beispielsweise durch ein CO₂-Protokoll der Vertragsstaaten zur Umsetzung der Klimarahmenkonvention ein politischer Verteilungsschlüssel festgelegt wird. Konsensfähig dürfte am ehesten noch ein Schlüssel sein, der die globale Reduktionspflicht zunächst ausschließlich den Annex-I-Staaten zuweist und vorsieht, daß alle diese Länder ihre Emissionen um den jeweils gleichen Prozentsatz verringern.

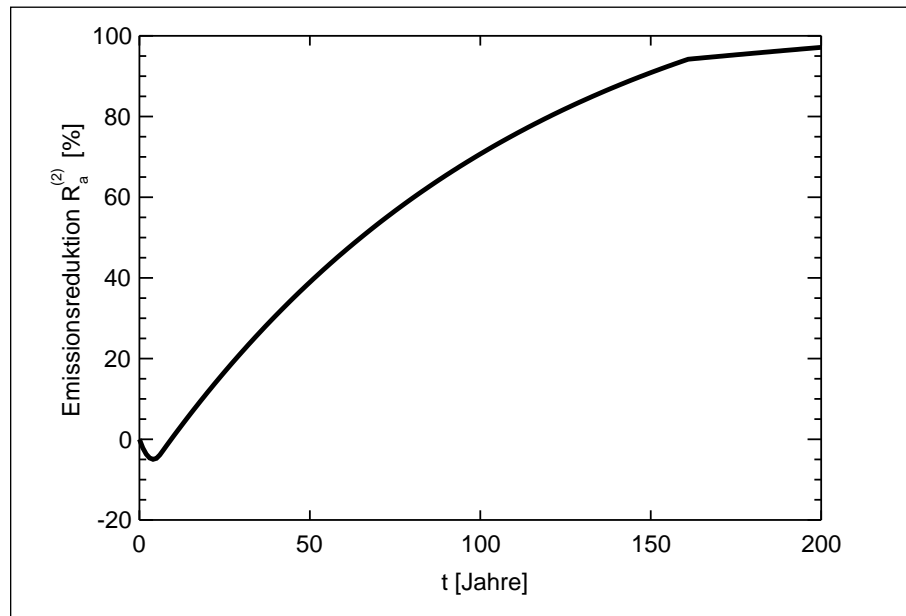


Abb. 4: Reduktionsprofil (in Prozent) für die Annex-I-Länder gemäß \tilde{E}_2

In Abb. 4 ist das zu Emissionsprofil E_2 gehörige Mindest-Reduktionsprofil $R_a^{(2)}$ für die Annex-I-Staaten, das also auch für Deutschland Gültigkeit hätte, dargestellt (die Umrechnung ist im Anhang erläutert). Dieses Profil macht deutlich, daß auf die Industrieländer mit ihrer historischen und gegenwärtigen Hauptverantwortung für CO_2 -Emissionen mittelfristig große Vermeidungspflichten zukommen.

Es muß betont werden, daß der zugrunde gelegte Verteilungsschlüssel ein Einfrieren des Emissionskontingents der Entwicklungsländer beim gegenwärtigen Betrag von ca. 1,5 Gt C/Jahr voraussetzt. Im Sinne einer nachholenden Entwicklung müßte diesen Ländern aber in den nächsten Jahrzehnten fairerweise Spielraum für zusätzliche Emissionen gegeben werden. Berücksichtigt man weiterhin, daß im vorgestellten Szenario die übrigen Treibhausgase wie etwa Methan, Lachgas oder die FCKW ausgeklammert wurden, stellt die in Abb. 4 angegebene Reduktionspflichten zweifellos die unterste Grenze dar.

Selbst wenn die benutzten Klima- und Kohlenstoffkreislaufmodelle den anthropogenen Einfluß überschätzen sollten, verbleibt eine gewaltige Herausforderung für die zukünftige internationale Klimaschutzpolitik.

Der Beirat begrüßt daher ausdrücklich die Selbstverpflichtung Deutschlands bis zum Jahre 2005 eine Minderung der CO₂-Emissionen um wenigstens 25% gegenüber dem Niveau von 1987 anzustreben. Die hierzu notwendigen Maßnahmen sind konsequent zu verwirklichen. International sind Vereinbarungen abzuschließen, die über das Jahr 2000 hinausreichen.

3. Einheitliche Länderquoten und ihre Bedeutung für internationale Instrumente

Die Diskussion um die Festlegung von Länderquoten scheint zur Zeit darauf hinauszulaufen, daß allen Annex-I-Staaten, vielleicht differenziert nach Transformationsländern und den anderen Industriestaaten, prozentual gleiche Reduktionspflichten auferlegt werden. Inwieweit ein solches Vorgehen auch auf eine ökonomisch sinnvolle, weil insgesamt kostengünstigere Lösung hinausläuft, kann nur mit Blick auf die regional unterschiedlichen Reduktionspotentiale beurteilt werden.

3.1. Regionale Unterschiede in den technischen Reduktionspotentialen

Um einen ökologisch unbestreitbaren Handlungsbedarf ökonomisch effizient umzusetzen, sind Verfahren zu bevorzugen, bei denen räumlich (und auch sektoral) vor allem dort angesetzt wird, wo sich gegenwärtig und künftig die größten Potentiale für eine Emissionsminderung befinden. Eine umfassende Ableitung der weltweit bestehenden oder vermuteten technischen CO₂-Reduktionspotentiale fehlt aber bislang und sollte darum möglichst bald erstellt werden. Aus den vorliegenden Informationen läßt sich jedoch bereits ein ungefähres Bild gewinnen. Dazu werden hier Regionen unterschieden,

- die gegenwärtig oder zukünftig quantitativ bedeutsame CO₂-Mengen emittieren,
- die hinsichtlich der Energieeffizienz von Anlagen und Geräten noch deutlich hinter Ländern mit fortschrittlicher Technologie (d.h. vor allem Japan und Staaten Westeuropas) zurückbleiben,

- die mit großer Wahrscheinlichkeit die höchsten wirtschaftlichen Wachstumsraten verzeichnen werden.

Das erste Kriterium, die absolute Höhe der Emissionen, ist wichtig, um jene räumlichen Ansatzpunkte zu bestimmen, die mengenmäßig besonders ins Gewicht fallen. Verbinden sich diese hohen CO₂-Emissionen regional mit einem hohen Wirkungsgrad der Energieerzeugungsanlagen bzw. mit einem bereits realisierten geringen spezifischen Energieverbrauch (zweites Kriterium), deutet dies darauf hin, daß in solchen Ländern *kurzfristig* nur geringer Spielraum für eine signifikante Emissionsreduktion besteht. Weitere Reduktionsmaßnahmen bzw. Steigerungen der Energieproduktivität sind in solchen Fällen erfahrungsgemäß mit sehr hohen Kosten verbunden und könnten die Anpassungsfähigkeit des wirtschaftlichen Systems (vgl. zweite Randbedingung des Szenarios) übersteigen. Negative Wachstumsraten in den hoch entwickelten Nationen würden zwar, wie die Erfahrungen in den neuen Bundesländern zeigen, die Emissionen mindern, jedoch gleichzeitig das Arbeitslosigkeitsproblem vieler Industrienationen verschärfen, den gesamten Welthandel tangieren und damit schließlich auch die Entwicklungsländer treffen. Eine „Suffizienzrevolution“ dagegen setzt hohes Umweltbewußtsein voraus. Sie ist wahrscheinlich nur *langfristig* realisierbar und muß daher durch entsprechende Bildungsmaßnahmen (siehe Abschnitt 5) vorbereitet werden. Bedeutsame kurzfristige Erfolge bei der CO₂-Reduktion wird man darum in der Regel nur dort erzielen, wo bei bereits hohem Energieverbrauch technischer Spielraum für eine Steigerung der Energieproduktivität besteht. Dieser Spielraum ist um so leichter ausschöpfbar, je höher die zu erwartenden bzw. angestrebten Wachstumsraten sind (drittes Kriterium), da hohe Wirkungsgrade bzw. ein niedriger spezifischer Energieverbrauch am wirkungsvollsten mit neuen Anlagen und Technologien zu verwirklichen sind.

Unter diesen Kriterien treten in einer groben Einschätzung bestehender technischer CO₂-Reduktionspotentiale bzw. einer regionalen Prioritätensetzung folgende Länder in den Vordergrund:

- Innerhalb der OECD-Staaten die USA und Kanada,
- Innerhalb der Nicht-OECD-Staaten vor allem die Volksrepublik China sowie die meisten GUS-Staaten und osteuropäischen Staaten.

Auf diese Räume entfielen 1990 rund zwei Drittel der globalen CO₂-Emissionen [5], [6], [1] sowie teilweise die höchsten CO₂-Emissionen je Kopf und Jahr (Tabelle 1).

Die Volksrepublik China ist nach den USA und Rußland der drittgrößte Energiekonsument der Welt, was dort vor allem auf das hohe Gewicht der industriellen Energienachfrage zurückzuführen ist, die zum größten Teil mit Kohle (1991 knapp 72% der industriellen Energienachfrage) befriedigt wird. Nach den Berechnungen der Internationalen Energieagentur wird die Volksrepublik China bei Fortsetzung der gegenwärtigen Entwicklungstrends bzw. der Verwirklichung ihrer Wachstumspläne im Jahr 2010 annähernd 5 Mrd. t CO₂ (= 1,4 Gt C) emittieren, das wären ca. 18% des gegenwärtigen globalen CO₂-Emissionsvolumens. Der Brennstoffverbrauch je BIP-Einheit der hier zusammengefaßten Länder bzw. Regionen lag 1990 deutlich über jenem anderer wichtiger CO₂-Emittenten (Tabelle 1).

Tabelle 1: CO₂-Emissionen je Kopf und Jahr sowie Brennstoffverbrauch je BIP^a-Einheit ausgewählter Länder bzw. Regionen

Region	CO ₂ -Emission je Kopf und Jahr [Tonnen]	Brennstoffverbrauch je BIP-Einheit [Gigajoule/1.000 \$ BIP]
Nordamerika	20,2	11,9
GUS-Staaten	13,6	keine Angabe
Deutschland^b	13,0	11,3
Osteuropa	10,6	28,8
Westeuropa	8,1	7,1
Japan	8,1	3,9
Asien (einschl. China)	1,5	34,9
Indien	0,7	13,7

a) BIP = Bruttoinlandsprodukt; b) einschl. Neue Bundesländer

Quellen: [5], [6], [1]

3.2. Folgerung für die Festlegung von Reduktionspflichten

Für die Aufteilung der Reduktionspflichten zwischen den Staaten müssen weitere Kriterien herangezogen werden, beispielsweise die Verantwortung für den Treibhauseffekt im Sinne des Verursacherprinzips, und damit auch Aspekte zwischenstaatlicher Gerechtigkeit, sowie die ökonomische Leistungsfähigkeit von Staaten, Vermeidungsmaßnahmen größeren Umfangs überhaupt vornehmen zu können. Ein Weg bestünde darin, diese verschiedenen Zielkomponenten in einem Verteilungsschlüssel zu berücksichtigen, wobei die Aufteilungsformel und damit die Verteilung der Pflichten überdies je nach betrachtetem Zeitraum unterschiedlich zu sein hätte. Es ist allerdings eher zu erwarten, daß sich die Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention auf gleiche prozentuale Reduktionssätze für die absoluten Emissionen für alle Annex-I-Staaten einigen werden.

Geht man einmal von dieser Vorgabe aus, so ist es angesichts der höchst unterschiedlichen regionalen Reduktionspotentiale umso wichtiger, daß neben eine Klimaschutzpolitik mit rein nationalen Instrumenten solche internationalen Strategien treten, die eine Flexibilisierung dieser starren Länderquoten erlauben. Die Flexibilisierung ermöglicht es, die oben dargestellten, sehr unterschiedlichen CO₂-Minderungspotentiale, die bereits zwischen den Annex-I-Staaten und selbst innerhalb der Untergruppe der Industrieländer ohne Transformationsländer bestehen (Annex-II-Staaten), zu berücksichtigen. Die einzelnen Staaten könnten auf diese Weise ihre CO₂-Emissionsquoten mit deutlich geringeren Kosten verwirklichen. Angesichts der ohnehin schwierigen Anpassungsprozesse, die mit der Umsetzung der Reduktionsverpflichtungen für jedes Land verbunden sind, spricht sich der Beirat mit Nachdruck für die Nutzung dieser Chancen aus. Eine Flexibilisierung der starren Prozentsatz-Regelung könnte sich als Schlüssel zu einer verbindlichen Einigung in der internationalen Klimapolitik und damit zu Fortschritten bei der Bekämpfung des Treibhauseffekts erweisen. Ein wichtiges Element einer Flexibilisierung der Länderquoten und damit Senkung der Anpassungs- und Vermeidungskosten für alle beteiligten Staaten ist die „Gemeinsame Umsetzung“ (*Joint Implementation*) von Vermeidungsmaßnahmen, ein anderes die Einführung eines Zertifikatesystem.

4. Flexibilisierung unter der Voraussetzung einheitlicher Länderquoten: „Gemeinsame Umsetzung“ (*Joint Implementation*) und Zertifikate

4.1. „Gemeinsame Umsetzung“ (*Joint Implementation*)

Der Beirat unterstützt das in der Klimarahmenkonvention angelegte Vorhaben, einen Teil der nationalen Reduktionsverpflichtungen durch die Finanzierung von Vermeidungsmaßnahmen in anderen Ländern zu erfüllen. Die Klimakonferenz sollte sich daher möglichst auf geeignete Kriterien für diese „Gemeinsame Umsetzung“ sowie ihre institutionelle Einbindung einigen [1].

Neben dem beschriebenen Vorteil, Vermeidungskosten zu senken, bietet *Joint Implementation* die Möglichkeit, den privatwirtschaftlichen Kapital-, Technologie- und Wissenstransfer von den Industrieländern in die Entwicklungsländer zu fördern und zugleich den für Entwicklungsfortschritte unerläßlichen Prozeß des *Capacity Building* voranzutreiben. Diese Funktion darf nach Auffassung des Beirats in Anbetracht äußerst knapper öffentlicher Finanzmittel auch von den Entwicklungsländern nicht unterschätzt werden.

Kann eine Einigung auf bindende Durchführungskriterien auf der ersten Vertragsstaatenkonferenz in Berlin noch nicht erfolgen, sollte zumindest eine *Pilotphase* unter relativ offenen Bedingungen vereinbart werden: Alle Projekte wären dabei lediglich zur Registrierung und Auswertung dem Sekretariat der Klimarahmenkonvention — oder einem anderem Organ mitzuteilen. Dieses Organ sollte ein *Mandat* für die Fortentwicklung international akzeptabler Bedingungen von *Joint Implementation* erhalten. Über die freiwillige Anwendung des Instruments im Laufe der Pilotphase können passende Kriterien erarbeitet werden, die dann zu einem späteren Zeitpunkt als verbindliche Kriterien für die internationale Anerkennung von *Joint Implementation*-Projekten festgelegt werden.

Bezüglich der Frage der *Anrechnung* der durch *Joint Implementation*-Projekte erzielten Emissionsreduktionen auf die Reduktionspflicht der in Annex I aufgeführten Vertragsstaaten weist der Beirat darauf hin, daß mit einem gänzlichen Verzicht auf die Anrechnungsmöglichkeit

eine wichtige Triebkraft für die Durchführung von *Joint Implementation*-Projekten verlorengelassen. Wenn auch in der Pilotphase auf eine Anrechnung verzichtet werden muß, um *Joint Implementation* international konsensfähig zu machen, so ist das Ziel einer umfassenderen Anwendung des Konzepts doch untrennbar mit der Möglichkeit der Anrechnung auf nationale Reduktionsziele und einer entsprechenden Einbindung der Privatwirtschaft verbunden. Die Bedenken einiger Länder und Umweltverbände gegen eine Anrechnung der Emissionsreduktionen können z.B. dadurch aufgefangen werden, daß sich die Annex-I-Staaten verpflichten, den weit überwiegenden Anteil ihrer Reduktionsverpflichtungen — beispielsweise 70-80% — innerhalb ihrer Staatengruppe, d.h. einschließlich der Transformationsländer, zu realisieren. Soweit Maßnahmen zur Emissionsminderung außerhalb des eigenen Landes vorgenommen werden, sollte zusätzlich ein mengenmäßiger Aufschlag auf die Reduktionspflichten erhoben werden.

Umweltschutz wird international — wie bisher schon national — langfristig die gewünschte Akzeptanz und Bedeutung nur erhalten können, wenn gleichzeitig mit dem ökologisch Wichtigen auch das ökonomisch Richtige getan wird. Insgesamt begrüßt der Beirat deshalb das Bemühen der Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention, mit *Joint Implementation* erste ökonomische Lösungsansätze in der Klimaschutzstrategie zu berücksichtigen. Damit kann ein Vertrauensbildungsprozeß im Hinblick auf die Funktionsfähigkeit dieses bislang kaum erprobten Instruments angestoßen und damit dessen Akzeptanz erhöht werden. Zugleich können mit dieser Kompensationslösung, das zeigen etwa die Entwicklungen in den USA, wertvolle Erfahrungen für die spätere umfassendere Einführung ökonomischer Instrumente gewonnen werden. Zu ihnen gehören unter dem Aspekt der Flexibilisierung starrer Länderquoten vor allem international handelbare Zertifikate.

4.2. Ein zwischenstaatliches Zertifikatesystem

Der Beirat befürwortet nachdrücklich den Protokollvorschlag der AOSIS (*Alliance of Small Island States*) und die Vorschläge der Bundesregierung, bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen verstärkt ökonomische Instrumente einzusetzen, um Klimaschutz möglichst kostengünstig zu gestalten. Auf globaler Ebene bietet sich die Einführung eines Zertifikatesystems zur weiteren Flexibilisierung von

Länderquoten an. In einem solchen System wird den Vertragsstaaten erlaubt, die ihnen zugestandenen Emissionen als Emissionsrechte in Zertifikaten verbrieft anderen Staaten auf Zeit zur Verfügung zu stellen. Diese können die Emissionsrechte dann für eigene Emissionen verwenden, etwa bis die eigenen Vermeidungstechnologien ausgereift sind. Als Geber von Zertifikaten könnte beispielsweise ein Entwicklungsland auftreten, das die ihm zugestandene Emissionsmenge nicht ausnutzen kann, aber zunächst Einnahmen aus der „Verpachtung“ dieser Rechte erzielen möchte. Hat sich, auch mit den erzielten Gewinnen aus der Verpachtung, die Wirtschaft weiterentwickelt, können dann später die zugestandenen Emissionsrechte in Anspruch genommen werden.

Durch ein solches System können die Zielvorgaben deutlich kostengünstiger erreicht werden bzw. kann mit einem bestimmten Budget mehr an CO₂-Reduktion erzielt werden, völlig unabhängig davon, welche Ausgangsverteilung (Länderquoten) gewählt wurde [1], [7]. Grundsätzlich würde ein solches internationales Zertifikatesystem also bedeuten, daß die Vertragsstaaten die ihnen zugeteilten Emissionsmengen untereinander handeln können. Welche Maßnahmen die einzelnen Staaten dann zur Einhaltung ihrer nationalen Emissionsmengen ergreifen, bleibt der nationalen Souveränität überlassen.

Der Beirat regt an, daß die Vertragsstaatenkonferenz dem Sekretariat der Klimarahmenkonvention das Mandat erteilt, die Bedingungen für die Einführung eines internationalen Zertifikatesystems untersuchen und bestimmen zu lassen. Dabei sind eine Reihe von Festlegungen zu treffen. Der Beirat geht davon aus, daß die Frage der Ausgangsverteilung der nationalen Emissionsquoten lösbar ist; nicht zuletzt gibt die — in jedem Falle — erforderliche Festlegung der Länderquoten im Rahmen der Vertragsstaatenkonferenzen einen Anhaltspunkt dafür, welche Emissionsmengen den einzelnen Ländern dadurch implizit „erlaubt“ sind. Er weist zudem darauf hin, daß mit der Ausgangszuteilung zugleich über die finanzielle Belastung der einzelnen Vertragsstaaten entschieden wird.

Unabhängig von der Fortentwicklung eines globalen Zertifikatesystems sollten die Mitgliedsländer der Europäischen Union umgehend Vorbereitungen treffen, innerhalb ihrer Ländergruppe ein solches System möglichst bald zu etablieren. Die Erfolgsbedingungen erscheinen dem Beirat in dieser Konstellation besonders günstig.

5. Umweltbildung als ein zentraler Bestandteil von Umsetzungsstrategien

In der Klimarahmenkonvention wird anerkannt, daß es zur Prävention von Klimaänderungen und zur Anpassung an deren Folgen einer weltweiten Sensibilisierung einschließlich einer Veränderung des Umweltbewußtseins der Öffentlichkeit bedarf. Dabei spielen Bildungs- und Ausbildungsprogramme eine wichtige Rolle (Artikel 4, Absatz 1; Artikel 6).

Lernmöglichkeiten für umweltgerechtes Verhalten mit Rückwirkung auf den Klimaschutz müssen weltweit bereits im Vorschulalter, erst recht aber auf allen Stufen des formalen Bildungssystems geschaffen werden, bis hin zur Ausbildung von Lehrern und Forschern an den Hochschulen und Universitäten. Hierbei kommt auch den Bildungsprogrammen, die von vielen Nichtregierungsorganisationen angeboten werden, eine wichtige Rolle zu. Entscheidend ist, daß Umweltbelange nicht einem einzelnen (Schul-)Fach oder einigen wenigen wissenschaftlichen Disziplinen zugeordnet werden, sondern daß eine ökologische Orientierung in alle Fachrichtungen hineingetragen wird, da komplexe Umweltprobleme nur interdisziplinär gelöst werden können.

Ausgehend von der Annahme, daß umweltschädigendes Verhalten von klein auf gelernt wird, zielen Umweltbildungsmaßnahmen letztlich immer darauf ab, eine Veränderung von umweltschädigenden in umweltverträglichere Verhaltensweisen [7] zu erreichen.

Was die Veränderung von Verhalten betrifft, so ist offenkundig, daß es mit „Bewußtseinsänderungen“, die ja durchaus stattgefunden haben, allein nicht getan ist. Vielmehr wird umweltrelevantes Verhalten durch eine ganze Reihe von Faktoren bestimmt; entsprechend müssen auch die Bildungs- und Erziehungsmaßnahmen zu seiner Veränderung vielfältig und variabel sein.

Am Beispiel des für die CO₂-Reduktion wesentlichen Umgangs mit Energie läßt sich zeigen, wie verschiedene, im Rahmen von Bildungsprogrammen angewandte Steuerungsmaßnahmen verhaltensändernd wirksam werden können.

- Eine besonders wichtige Voraussetzung ist, daß *Ursache-Wirkungs-Beziehungen* zwischen dem eigenen Handeln (z.B. Heiz-

energieverbrauch, Mobilitätsverhalten) und möglichen Klimaänderungen veranschaulicht, verständlich und damit begreifbar gemacht werden (z.B. durch Umrechnung einzelner Verhaltensweisen in CO₂- oder Tropenwald-Äquivalente). Ebenso sind Zusammenhänge zwischen Klimaveränderungen und ihren Folgen einsichtig zu machen. Bei der Aufgabe der „Wahrnehmbarmachung“ können die Medien — etwa mit Hilfe der Darstellung und Simulation von Zukunfts-Szenarien — eine wichtige Rolle spielen, zumal die zu erwartenden Klimaänderungen selbst zunächst kaum unmittelbar wahrgenommen werden dürften.

- Ein anderer Bedingungskomplex besteht in der *Bereitstellung von Hinweisen und Anreizen* für ökologisch sinnvolles Verhalten. Hinweise auf Energiesparmöglichkeiten sind hier genauso wichtig wie (keinesfalls ausschließlich monetäre) Anreize zur Investition in private Klimaschutzmaßnahmen oder zur Veränderung des Mobilitätsverhaltens.
- Umweltbildung und „Umweltlernen“ sind umso erfolgreicher, je stärker Lernziele und Erfolgskriterien von den Betroffenen mitgetragen werden. Dies macht ein Agieren auf einer für den einzelnen überschaubaren und vertrauten Ebene erforderlich („global denken, lokal handeln“). Voraussetzung dafür ist die möglichst direkte Beteiligung der Betroffenen an den Entscheidungen über CO₂-relevante Maßnahmen. Solche Prozesse können durch verschiedene Formen der Partizipation (etwa im Rahmen des „Klimabündnisses der europäischen Städte“), aber z.B. auch durch Ideenwettbewerbe in Gemeinden, Schulen gefördert werden. Voraussetzung für eine derartige Partizipation ist allerdings ein einfacher öffentlicher Zugang zu CO₂-relevanten Informationen, nicht nur durch entsprechende Berichte in den Medien, sondern auch durch die Schaffung von „Klimadiensten“ u.ä.

Der Beirat empfiehlt der Bundesregierung, das Thema Umweltbildung auf der zweiten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention zur Behandlung als einen Schwerpunkt vorzuschlagen.

6. Die Klimaproblematik im Kontext des Globalen Wandels: Koordinationsbedarf zwischen internationalen Abkommen

Die Klimakonferenz in Berlin konzentriert sich auf großräumige, in der Atmosphäre auftretende Umweltprobleme, insbesondere den anthropogenen Treibhauseffekt. Das macht eine Konzentration auf konkrete Ziele und wirksame Maßnahmen in diesem Bereich des Globalen Wandels möglich, birgt aber zugleich die Gefahr, daß Querverbindungen zu den übrigen Problembereichen des Globalen Wandels [7] nicht oder zu wenig beachtet werden.

Der Beirat hat eine Methodik entwickelt, mit der die Wechselwirkungen zwischen globalen Umwelttrends sowie ihre Verknüpfung mit sozioökonomischen Entwicklungen anschaulich gemacht werden können [1], [7]. Um die Vernetzung der Klimaproblematik mit anderen Bereichen zu verdeutlichen, soll diese Methodik im folgenden beispielhaft auf den Trend „Verstärkter Treibhauseffekt“ angewendet werden. Dabei sind nur die wichtigsten direkten Ein- und Auswirkungen berücksichtigt worden, um das Diagramm nicht zu überfrachten (Abb. 5, siehe Umschlagrückseite).

Dabei zeigt sich, daß in der internationalen Umweltpolitik erhebliche Zielkonflikte auftreten und sich verschiedene Maßnahmen sogar konterkarieren können. Als Beispiel seien die unterschiedlichen Wechselwirkungen von Trends innerhalb der Atmosphäre aufgeführt. So wird wegen direkter schädlicher Auswirkungen auf Mensch und Natur eine Reduktion von Aerosolen in der Troposphäre angestrebt, andererseits mindern hohe Aerosolkonzentrationen den Treibhauseffekt erheblich. In anderen Fällen, wie z.B. der Vermeidung von Sommersmog, laufen die Zielsetzungen parallel: Eine Verminderung des giftigen troposphärischen Ozons bewirkt auch einen Rückgang des Treibhauseffektes. Davon unabhängig gibt es aber Prozesse, die der Beeinflussung durch internationale Politik gänzlich entzogen sind. So hat beispielsweise die periodisch wechselnde Sonnenaktivität erheblichen Einfluß auf das Klima der Erde. Es wird deutlich, daß die Treibhausproblematik nicht isoliert betrachtet werden darf, sondern daß für erfolgreiche Maßnahmen eine integrierte Betrachtung notwendig ist.

Das gilt besonders dann, wenn unterschiedliche Bereiche der globalen

Umweltpolitik betroffen sind. Zum Beispiel können Zielkonflikte zwischen Klimaschutzmaßnahmen und der Biodiversitätskonvention entstehen, etwa wenn großflächige Aufforstungen mit genetisch auf Kohlenstoffspeicherung optimierten Monokulturwäldern oder gar die Eisendüngung des Südlichen Ozeans vorgeschlagen werden. Ein Ausgleich der unterschiedlichen Zielsetzungen ist hierbei noch am ehesten vorstellbar, wenn die betreffenden globalen Trends bereits Gegenstand der internationalen Umweltpolitik sind, wie z.B. der Trend „Konversion naturnaher Ökosysteme“ (etwa Wälder) mit der Walderklärung von Rio de Janeiro, der Biodiversitätskonvention und der AGENDA 21. Die notwendige Einbeziehung von Bereichen wie der globalen Bodenproblematik [1], die noch nicht oder erst ansatzweise Gegenstand internationaler Abkommen sind, gestaltet sich weitaus schwieriger.

Ein besonderer Handlungsbedarf besteht nach Auffassung des Beirats schließlich darin, Zielkonflikte zwischen internationaler Umweltpolitik und Maßnahmen im sozioökonomischen Bereich zu vermeiden. So ist z.B. der globale Trend „Wachsendes Verkehrsaufkommen“ mit einer verstärkten Freisetzung von Treibhausgasen verbunden, gleichzeitig aber finanzieren multilaterale Entwicklungsbanken mit hohen Beträgen Projekte zum Auf- und Ausbau von Verkehrsinfrastruktur, die mittelbar zu erhöhten CO₂-Emissionen führen.

Der Beirat weist daher auf den dringenden Abstimmungsbedarf zwischen den verschiedenen internationalen Politikbereichen hin, eine Empfehlung, die sich natürlich nicht ausschließlich an die erste Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention, sondern darüber hinaus an alle Akteure in den verschiedenen angesprochenen Bereichen richtet.

Heute steht bei den bereits laufenden Konventionsprozessen deren wechselseitige Verknüpfung erst ganz am Anfang. Diese wird dadurch erschwert, daß die jeweiligen Vertragsstaatenkonferenzen der Abkommen unabhängige Organe sind, die keine Weisungs- oder auch nur Berichtspflicht gegenüber internationalen Institutionen, die zu einer Koordination fähig wären (beispielsweise dem *United Nations Environment Programme*, UNEP oder der *Commission on Sustainable Development*, CSD) haben. Auch beschränken sich die sehr unterschiedlichen Handlungsspielräume der Konventionen ausschließlich

auf ihre Vertragsstaaten, deren Zahl und Zusammensetzung bei jeder abgeschlossenen Konvention anders ist.

Der Beirat sieht angesichts dieser nicht abgestimmten Vorgehensweise eine dringende Aufgabe darin, die Diskussion über eine integrierte Strategie des Umgangs mit globalen Umweltproblemen anzustoßen. Die tatsächliche Vernetzung der verschiedenen umweltrelevanten Trends müßte in den Strukturen und Institutionen der internationalen politischen Prozesse ihre Entsprechung finden. Insgesamt sollte dabei auf eine verstärkte Orientierung an dem während der Konferenz in Rio de Janeiro vereinbarten Leitbild des *Sustainable Development* geachtet werden. Die CSD spielt heute schon eine entsprechende Rolle als Hüterin der AGENDA 21, hat aber keine den genannten Anforderungen entsprechenden Vorgaben und Befugnisse. Die Anpassung und Weiterentwicklung der internationalen Institutionen bleibt eine wichtige Aufgabe und Herausforderung für die Zukunft.

7. Literatur

- [1] WBGU — Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1994): Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden. Bonn: Economica.
- [2] IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change (1990): First Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press.
- [3] IPCC — International Panel on Climate Change (1994): Report of the Scientific Assessment Working Group. Cambridge: Cambridge University Press.
- [3] IEA — International Energy Agency (1993): Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries 1990-1991. Paris: IEA.
- [4] Bach, W. (1995): Klimakonvention und Klimaschutzrichtwerte. *Naturwissenschaften*, 82, 53-67.
- [5] IEA — International Energy Agency (1993): Energy Balances of OECD Countries 1990-1991. Paris: IEA.
- [6] RWI — Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (Hrsg.) (1994): Grundlagen eines mittelfristigen umweltpolitischen Aktionsplans. Essen: RWI.
- [7] WBGU — Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1993): Welt im Wandel: Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen. Bonn: Economica.
- [8] Nakicenovic, N., Nordhaus, W. D., Richels, R. und Toth, F. (Eds.) (1994): Integrative Assessment of Mitigation, Impacts, and Adaptation to Climate Change. CP-94-9. Laxenburg, Austria: IIASA.
- [9] Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.) (1995): Mehr Zukunft für die Erde. Bonn: Economica.
- [10] Hasselmann, K., von Storch, H., Ocaña, V *et al.* (1995): persönliche Mitteilung.

Anhang I: Erläuterungen zum Invers-Szenario in Abschnitt 2

A1.1. Tolerierbare Belastung für Natur und Gesellschaft

Die Auswirkungen eines gravierenden Klimawandels sind — soweit sie sich überhaupt schon überschauen und bewerten lassen — von höchst unterschiedlichem Charakter: das Spektrum reicht von der Bedrohung menschlichen Lebens durch Sturmfluten oder Hitzeperioden bis hin zum Verlust des ästhetischen Wertes einer Landschaft, z.B. durch veränderte Artenzusammensetzung. Wollte man den unterschiedlichen Belastungsqualitäten tatsächlich Rechnung tragen, dann wären die potentiellen Klimafolgen innerhalb eines hochdimensionalen Wirkungsraums darzustellen. Aufgrund des lückenhaften Erkenntnisstands würde diese Darstellung aber wissenschaftliche Präzision nur vortäuschen.

Stützt man sich dagegen auf elementare Wertvorstellungen, kommt man direkt zu groben, aber soliden Aussagen. Der Beirat orientiert sich in seinem „Invers-Szenario“ deshalb an den beiden Prinzipien

- Bewahrung der Schöpfung
- Vermeidung unzumutbarer Kosten

Das erste Prinzip läßt sich im Zusammenhang mit der Klimaproblematik wie folgt konkretisieren: Nicht mehr tolerierbar wären menschliche Störungen der Atmosphäre, welche die Erddurchschnittstemperatur T aus dem Schwankungsbereich des Quartärs herauswandern ließen. Damit würden die globalen Klimabedingungen nämlich deutlich von denjenigen abweichen, welche die Koevolution von Menschheit und Ökosphäre geprägt und damit die heutige Umwelt hervorgebracht haben.

Für die Temperatur T (°C) ergibt sich daraus die explizite Forderung

$$T_{\min} \leq T \leq T_{\max}$$

$$\text{mit } T_{\min} = T_{\min}(\text{Würm}) - 0,5 = 9,9 \quad ,$$

$$T_{\max} = T_{\max}(\text{Eem}) + 0,5 = 16,6 \quad .$$

$T_{\min}(\text{Würm}) = 10,4^\circ\text{C}$ bezeichnet hierbei die (geglättete) Minimal-

temperatur während der letzten Kaltzeit, $T_{\max}(\text{Eem}) = 16,1^\circ\text{C}$ die entsprechende Maximaltemperatur während der davorliegenden Warmzeit. Das tolerierbare Temperaturfenster kommt durch eine beiderseitige Erweiterung des natürlichen Extrembereichs um jeweils $0,5^\circ\text{C}$ zustande, d.h. der Akzeptanzbereich wird möglichst großzügig abgesteckt. Zum Vergleich: Die heutige globale Durchschnittstemperatur T_0 beträgt $15,3^\circ\text{C}$.

Das zweite Prinzip dürfte als solches unmittelbar einleuchten; die Schwierigkeit liegt hier in der Monetarisierung der Klimafolgen (siehe auch A2.2) und in der Interpretation des Begriffs „unzumutbar“. In erster Näherung bietet sich als eindimensionaler Kostenindikator die durch den Klimawandel verursachte Minderung S des globalen Bruttosozialprodukts (BSP) in Prozent an. Eine Diskussion über die Vor- und Nachteile des ökonomischen Indikators BSP soll an dieser Stelle nicht geführt werden.

Wirtschaftswissenschaftler gehen in einer ersten Näherung davon aus, daß Klimafolgekosten in der Größenordnung von 3-5% des jährlichen globalen BSP über einen Zeitraum von vielen Dekaden eine empfindliche Störung der gesellschaftlichen Verhältnisse mit weitreichenden soziale und politischen Konsequenzen bewirken dürften. (Zur Illustration sei angemerkt, daß die derzeitigen jährlichen Nettotransferleistungen von West- nach Ostdeutschland etwa 5% des nationalen BSP betragen). Überdies ist zu beachten, daß wegen der beträchtlichen geographischen Inhomogenität von Klimawirkungen ein mäßiger Wert für S temporäre Extrembelastungen für viele Erdregionen bereits mit einschließt. Somit ergibt sich als zweite Forderung

$$S \leq S_{\max} \quad ,$$

mit $S_{\max} = 5$.

Der insgesamt resultierende Akzeptanzbereich \mathcal{A} im 2-dimensionalen Belastungsraum ist in Abb. A1 dargestellt.

\mathcal{A} ist keineswegs eng bemessen: Die Bewältigung der dadurch umrissenen Belastungspotentiale bedeutet eine enorme Herausforderung für eine wachsende und in weiten Teilen unterentwickelte Erdbevölkerung. Die damit vorgenommene Festlegung eines fundamentalen Toleranzfensters stellt eine Operationalisierung der Zielsetzung von Artikel 2 der Klimarahmenkonvention dar und bildet den Ausgangspunkt für alle weiteren Analysenschritte.

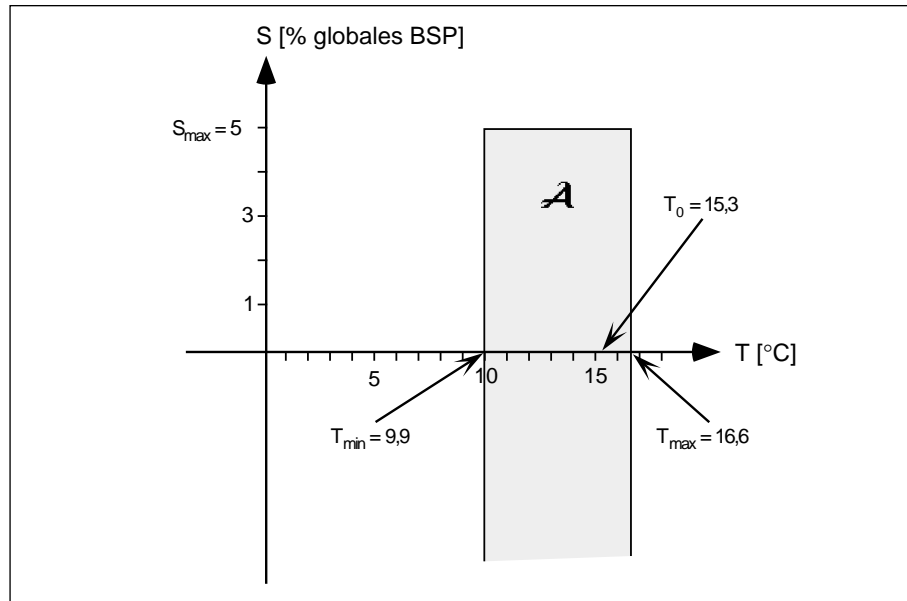


Abb. A1: Tolerierbarer Akzeptanzbereich für ein „Temperaturfenster“. T_0 ist die derzeitige mittlere globale Temperatur

A1.2. Zulässige Klimaentwicklung

Da selbst die besten heute verfügbaren gekoppelten Modelle der atmosphärisch-ozeanischen Zirkulation (GCMs) noch keine zuverlässigen Aussagen über künftige Niederschlagsmuster, Windfelder etc. treffen können, wird hier stark vereinfachend die Klimadynamik allein durch die Temperaturentwicklung $T(t)$ charakterisiert, wobei t die Zeitvariable ist.

Darüber hinaus wird die (plausible) Annahme gemacht, daß die „Klimakostenfunktion“ S lediglich von der globalen Durchschnittstemperatur T und ihrer zeitlichen Ableitung

$$\dot{T} = \frac{d}{dt} T(t) \text{ abhängt, also}$$

$$S = S(T, \dot{T}).$$

Damit wird der Überlegung Rechnung getragen, daß die Geschwindigkeit einer Klimaänderung die Anpassungskosten ganz wesentlich bestimmt.

T und \dot{T} spannen den sogenannten Phasenraum der Klimadynamik auf. Die Menge aller mit dem Akzeptanzbereich \mathcal{A} verträglichen Klima-

entwicklungen $T(t)$ erfüllt einen Teilbereich \mathbf{D} (tolerierbare Klimadomäne) des Phasenraums; eben dieses \mathbf{D} gilt es im nächsten Schritt zu bestimmen.

Zur Erleichterung der Aufgabe werden die folgenden Definitionen gemacht:

Der Zeitnullpunkt $t = 0$ soll dem Jahr 1995 entsprechen.

$$\begin{aligned} X &= T - 0,5 (T_{\max} + T_{\min}) = T - 13,25 \\ Y &= \dot{T} = \dot{X} \end{aligned}$$

Daraus folgt:

$$\begin{aligned} X_{\max} &= T_{\max} - 13,25 = 3,35 \quad , \\ X_{\min} &= T_{\min} - 13,25 = -3,35 \quad , \\ X_0 &= T_0 - 13,25 = 2,05 \quad . \end{aligned}$$

Als Einheit von Y sei $^{\circ}\text{C}$ pro Dekade gewählt; der aktuelle Wert Y_0 liegt bei ca. 0,07. Damit ist die heutige Klimadynamik durch den Punkt $P_0 = (X_0, Y_0) = (2,05, 0,07)$ im X - Y -Raum gekennzeichnet.

Wegen der vorgenommenen Variablentransformation ist statt $S(T, \dot{T})$ im folgenden natürlich $S(X, Y)$ zu betrachten. Für $Y \geq 0$ wird diese Kostenfunktion folgendermaßen angesetzt:

$$S(X, Y) = \begin{cases} S_{\max} \left(\frac{Y}{Y_{\max}} \right)^2 (X - X_{\min}) & , \quad X_{\min} \leq X \leq X_{\min} + 1 \\ S_{\max} \left(\frac{Y}{Y_{\max}} \right)^2 & , \quad X_{\min} + 1 \leq X \leq X_{\max} - 1 \\ S_{\max} \left(\frac{Y}{Y_{\max}} \right)^2 (X_{\max} - X)^{-1} & , \quad X_{\max} - 1 \leq X \leq X_{\max} \end{cases}$$

und

$S(X, Y) = \infty$, falls X außerhalb des Bereichs $[X_{\min}, X_{\max}]$ liegt.

Interpretation des Ansatzes

Innerhalb des überhaupt zulässigen Temperaturintervalls $[X_{\min}, X_{\max}]$ soll S ausschließlich die Kosten der Anpassung an die Klimaänderung reflektieren. Diese Kosten dürften auf alle Fälle nichtlinear von der

Änderungsgeschwindigkeit Y abhängen; die einfachste Annahme ist quadratisches Wachstum.

Im Zentrum des Temperaturfensters, also im Bereich $[X_{\min}+1, X_{\max}-1]$ sollte die Anpassungsfähigkeit bei gegebenem Y kaum variieren. Anders verhält es sich an den Rändern des Fensters: Eine Temperaturerhöhung dürfte mit Annäherung an die rechte („heiße“) Kante zunehmend schwerer verkraftbar sein, dagegen immer leichter mit Annäherung an die linke („kalte“) Kante. Der Einfachheit halber werden diese Zusammenhänge durch Multiplikationsfaktoren, die direkt bzw. umgekehrt proportional zum Abstand von den Temperaturgrenzwerten sind, ausgedrückt. In ähnlicher Weise würde man z.B. die Schädigung des menschlichen Organismus durch Anstieg der Körpertemperatur im Unterkühlungs- bzw. Hochfieberbereich beschreiben.

Mit diesen einfachstmöglichen nicht-trivialen Annahmen ist die Form von $S(X, Y)$ bis auf eine „Eichkonstante“ Y_{\max} vollständig bestimmt. Letztere wird über die folgenden Überlegungen gewonnen:

- Die meisten integrierten Abschätzungen der jährlichen und weltweiten direkten Kosten einer CO_2 -Verdopplung bis zur Mitte des nächsten Jahrhunderts liegen in der Größenordnung von 1-2% des globalen BSP (siehe z.B. [8] und die dortigen Literaturangaben). Dieser CO_2 -Anreicherung im genannten Zeitraum entspricht im Rahmen der verwendeten Klimamodelle aber eine mittlere Temperaturzunahme von etwas weniger als $0,2^\circ\text{C}/\text{Dekade}$.
- Die jährlichen Kosten durch allgemeine Umweltdegradation in Deutschland werden von Experten mit 2-3% des nationalen BSP angesetzt.
- In die bisherigen Abschätzungen der Klimafolgekosten gehen weder die Extremereignisse (Dürren, Überflutungen, Wirbelstürme, Fluktuationen von Meeresströmungen usw.) noch die möglichen Synergismen zwischen den verschiedenen Trends des Globalen Wandels (z.B. Wechselwirkung zwischen anthropogenem Treibhauseffekt und Bodendegradation) systematisch ein.

Würdigt man all diese Faktoren, dann ist die Wahl

$$Y_{\max} = 0,2$$

nicht übertrieben pessimistisch: Im Innern des zulässigen Temperaturfensters könnte ein Temperaturgradient von $0,2^\circ\text{C}/\text{Dekade}$ jährlich wohl in der Tat Anpassungskosten von bis zu 5% des globalen BSP verursachen.

Da die Anpassung an eine Abkühlung in erster Näherung ähnlich große Probleme wie die Anpassung an eine Erwärmung bereiten sollte, kann $S(X, Y)$ durch die Symmetrieforderung

$$S(X, -Y) = S(-X, Y)$$

auf den Bereich $Y < 0$ fortgesetzt werden.

Gesucht ist nun die Domäne \mathbf{D} im X-Y-Raum der Klimadynamik, welche zu keiner Verletzung des Akzeptanzbereichs \mathbf{A} im T-S-Raum der Belastung führt. Aufgrund der getroffenen Annahmen ergibt sich die Umrandung

$$Y = \Gamma(X)$$

von \mathbf{D} direkt aus der Gleichung

$$S(X, \Gamma(X)) = S_{\max} \quad .$$

Für die absehbare Klimazukunft ist insbesondere der 1. Quadrant ($X, Y \geq 0$) des Klimaphasenraums von Bedeutung. Dort gilt

$$\Gamma(X) = \begin{cases} Y_{\max} & , \quad 0 \leq X \leq X_{\max} - 1 \\ Y_{\max} (X_{\max} - X)^{0,5} & , \quad X_{\max} - 1 \leq X \leq X_{\max} . \end{cases}$$

Insgesamt hat die zulässige Domäne der Klimadynamik die in Abb. A2 skizzierte Gestalt.

Verschiedene Annahmen über die Klimaschadensfunktion $S(X, Y)$ haben lediglich den Charakter eines *Educated Guess*. Dies gilt vor allem für den quantitativen Zusammenhang zwischen Y_{\max} und S_{\max} . Die vorgenommene Begrenzung der tolerierbaren Klimadomäne \mathbf{D} ist jedoch auch dann sinnvoll, wenn man von volkswirtschaftlichen Überlegungen absieht. Die Festlegung des akzeptablen Temperaturbereichs $[X_{\min}, X_{\max}]$ reflektiert nämlich gewissermaßen das langfristige Bewahrungsziel, während die Beschränkung von Y den eher kurzfristigen Erhaltungsaspekten Rechnung trägt. Denn die Anpassung der Ökosysteme an Temperaturgradienten über $0,1^\circ\text{C}/\text{Dekade}$ dürften selbst im Innern des Temperaturfensters problematisch sein [9]. Wird

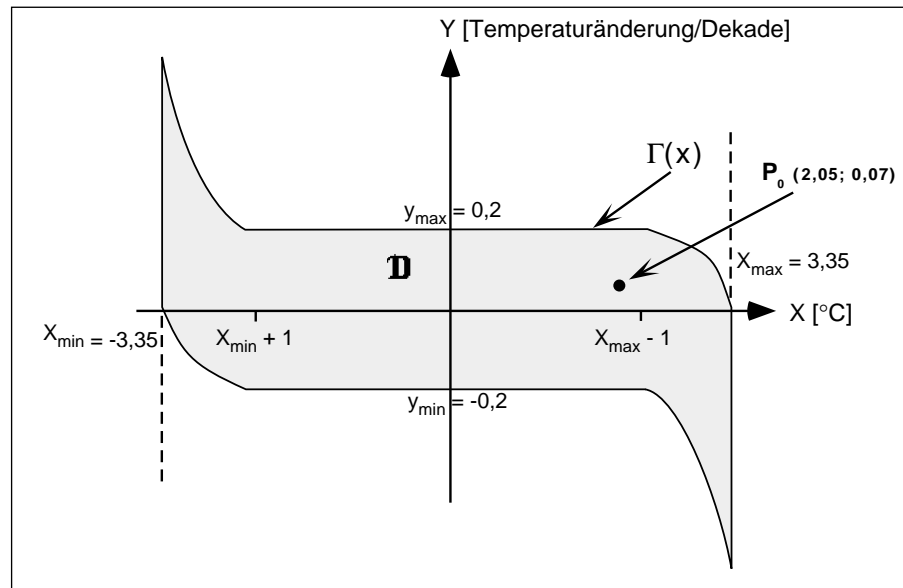


Abb. A2: Tolerierbare Klimadomäne \mathbf{D} . P_0 ist der derzeitige Klimazustand

im Zentrum des Fensters die Elastizität der natürlichen Systeme sogar doppelt so hoch wie üblich veranschlagt und werden wieder die Besonderheiten in der Umgebung der Temperaturkanten berücksichtigt, dann kommt man direkt zum tolerierbaren Klimabereich \mathbf{D} . Diese Domäne würde durch Hinzunahme ökonomischer Klimawirkungen allenfalls eingengt, die Wahl von \mathbf{D} unterschätzt also eher die Risiken für Mensch und Natur.

A1.3. Zulässige CO_2 -Anreicherungen bzw. zulässige globale Emissionsprofile

Mit Hilfe eines vereinfachten gekoppelten Klima-Kohlenstoffkreislauf-Modells des Hamburger Max-Planck-Instituts für Meteorologie [10] kann die tolerierbare Klimaentwicklungsdomäne \mathbf{D} in die Menge zulässiger globaler Emissionsprofile $E(t)$ „rückübersetzt“ werden. Der Dynamik im Gesamtsystem Atmosphäre-Ozean-Biosphäre und dem Strahlungsantrieb von CO_2 wird dabei durch Parametrisierungen Rechnung getragen. Für die Berechnung der CO_2 -Anreicherung im untersuchten Zeitraum wird die Verweildauer des Gases in der Atmosphäre zugrundegelegt, sowie jener Anteil der Emissionen, welcher nicht unmittelbar von den Ozeanen und Ökosystemen aufgenommen wird.

Die überhaupt zu betrachtenden Emissionsprofile sind allerdings nicht völlig willkürliche Funktionen. Sinnvoll wären etwa die folgenden Randbedingungen:

$$\begin{aligned} E(0) &= E_0 \quad , \\ \dot{E}(0) &= E_1 \quad , \\ E(\hat{t}) &= 0 \text{ und } E(t) = E(\hat{t}) = \text{const. für } t > \hat{t} \quad . \end{aligned}$$

Dabei ist E_0 = die aktuelle globale Jahresemission von CO_2 , E = die mittlere Zunahme dieser Emission in den letzten Jahren und \hat{t} der Planungshorizont (z.B. 300 Jahre) für die endgültige Stabilisierung oder Einstellung der Emissionen. Die Randbedingungen könnten im Prinzip auch anders gewählt werden; tatsächlich haben insbesondere die Endbedingungen keinen wesentlichen Einfluß auf die Hauptergebnisse.

Sei nun \mathbf{E} die Menge aller mit \mathbf{D} (und damit mit \mathcal{A}) verträglichen Emissionsprofile $E(t)$, welche zugleich die obigen Randbedingungen erfüllen. Diese Menge ist zweifellos hochdimensional und deshalb der Anschauung nicht unmittelbar zugänglich.

Einer späteren vollständigen Analyse von \mathbf{E} sollte man deshalb einfache Fragen von direkter umweltpolitischer Relevanz voranstellen. Von besonderem Interesse ist dabei z.B. die Frage nach dem zulässigen Grenzemissionsprofil $E_*(t)$, welches die maximalen globalen CO_2 -Emissionen innerhalb eines (oder sogar jedes) Planungshorizonts realisiert.

Mit Hilfe von Optimierungsverfahren kann E_* aus der Gesamtmenge \mathbf{E} ausgewählt werden. Optimale Lösungen einer solchen Problemstellung weisen allerdings häufig relativ bizarre Formen auf und entsprechen insofern meist nicht den externen Steuerungsmöglichkeiten. Gerade im Falle der globalen Emissionsprofile muß man realistischerweise davon ausgehen, daß erfolgreiche Reduktionsvereinbarungen sich an Grundsätzen wie Kontinuität und Planungssicherheit orientieren werden. In ergänzenden Annahmen zu dieser Studie sind deshalb Einschränkungen von \mathbf{E} zu diskutieren, welche die technischen und sozioökonomischen Randbedingungen der Emissionsregelung widerspiegeln.

Festzustellen bleibt jedoch, daß E_* eine jeweils obere Schranke für die

summarische CO₂-Emission definiert.

Darüber hinaus kann man kalkulieren, welchen Vorteil eine zügige Emissionsminderungspolitik im Vergleich zu einer abwartenden Haltung bringt. Konkret heißt dies, daß Emissionsprofile $\bar{E}(t)$ betrachtet werden, deren Anfangsverlauf z.B. durch das IPCC-Szenario *Business as Usual* oder durch ein Einfrieren der CO₂-Emission festgelegt ist. Hinsichtlich des Restverlaufs der Funktion sucht man wiederum nach dem optimalen zulässigen Profil, also nach der Kurve $\bar{E}(t)$, welche innerhalb der eingeschränkten Profilmenge die maximale CO₂-Emission ermöglicht. Der Vergleich der verschiedenen Profile gibt dann Aufschluß über die positiven Effekte einer dem Vorsorgeprinzip verpflichteten Umweltpolitik.

A1.4. Nationale Reduktionspflichten

Es sei nun ein optimales globales Emissionsprofil $\tilde{E}(t)$ gegeben, also die Kurve, die innerhalb der klimatischen und sonstigen Rahmenbedingungen die erste Wahl darstellt. \tilde{E} kann, muß aber nicht mit E_* übereinstimmen. $\tilde{E}(t)$ läßt sich dann nach vorzuzugenden politischen Verteilungsschlüsseln in dynamische nationale „Verschmutzungsrechte“ $\in(L; t)$ zerlegen. Der Index L numeriert hier die verschiedenen Länder der Erde.

Natürlich gilt:

$$\sum_L \in(L; t) = \tilde{E}(t).$$

Aus den nationalen Verschmutzungsrechten folgen wiederum die dynamisierten nationalen Reduktionspflichten $r(L; t)$ gemäß der Formel

$$r(L; t) = 100 \left[1 - \frac{\in(L; t)}{\in_0(L)} \right] .$$

Dabei ist $\in_0(L) = \in(L; 0)$ die aktuelle jährliche CO₂-Emission von Land L und die zugehörige Reduktionspflicht wird in Prozenten von $\in_0(L)$ angegeben. Man beachte, daß $r(L; 0) = 0$ für alle L, d.h. die nationalen Reduktionspflichten wachsen stetig von Null an.

Nach welchem Schlüssel sind nun die Emissionskontingente $\in(L; t)$ der Länder zu bestimmen? Es seien P(t), B(t) die globale Bevölkerungszahl bzw. das globale BSP als Funktion der Zeit und p(L; t), b

(L; t) die entsprechenden nationalen Größen. Dann werden bei der Festlegung der Kontingente der einzelnen Staaten insbesondere die Faktoren

$$f(L) = \frac{\epsilon_0(L)}{E_0} : \text{aktueller Anteil an der Globalemission}$$

$$g(L; t) = \frac{p(L; t)}{P(t)} : \text{dynamischer Anteil an der Weltbevölkerung}$$

$$h(L; t) = \frac{b(L; t)}{B(t)} : \text{dynamischer Anteil am globalen BSP}$$

eine Rolle spielen. D.h.

$$\begin{aligned} \epsilon(L; t) &= \\ &= F(f(L_1), f(L_2) \dots; g(L_1; t), g(L_2; t) \dots; h(L_1; t), h(L_2; t) \dots), \end{aligned}$$

wobei die Zuteilungsfunktion F das Resultat des internationalen Verhandlungsprozesses ist.

Die bloße Fortschreibung der relativen „Verschmutzungsbesitzstände“ würde folgende Kontingentierung bedeuten:

$$\epsilon(L; t) = f(L)\tilde{E}(t)$$

bzw.

$$r(L; t) = 100 \left[1 - \frac{\tilde{E}(t)}{E_0} \right] .$$

In diesem Falle müßten also alle Staaten der Erde stets im Gleichschritt CO₂-Emissionen abbauen.

Etwas einschneidender für die Industrieländer wäre bereits eine Zuteilungsform, welche die Entwicklungsländer von der Reduktionspflicht entbinden würde: Es sei

$$S = \sum_{\text{Nicht-Annex-Länder}} \epsilon_0(L)$$

die aktuelle jährliche Emissionssumme der nicht-industrialisierten Länder. Wird dieses Kontingent nicht angetastet, dann verbleibt den Annex-I-Staaten insgesamt ein Emissionsrecht von der Größe

$$\tilde{E}(t) - S .$$

Bei gleichförmiger Belastung all dieser Staaten berechnet sich ihre

dynamische Reduktionspflicht $R_a(t)$ dann wie folgt:

$$R_a(t) = 100 \left[1 - \left(\frac{\tilde{E}(t) - S}{E_0 - S} \right) \right] .$$

Unter den diskutierten politischen Voraussetzungen wäre dieses Reduktionsprofil auch für Deutschland maßgeblich.

Wesentlich größere Herausforderungen kämen schließlich auf die Industrieländer zu, wenn der elementare humanitäre Grundsatz „Gleiche Emissionsrechte für alle Menschen“ den Verteilungsschlüssel bestimmen würde. In diesem Falle ergäbe sich

$$\epsilon(L;t) = g(L;t) \tilde{E}(t)$$

bzw.

$$r(L;t) = 100 \left[1 - g(L;t) \frac{\tilde{E}(t)}{\epsilon_0(L)} \right] .$$

Allerdings ist bei dieser Rechnung zu beachten, daß die Faktoren $g(L;t)$ noch nicht genau bekannt sind und höchstens über demographische Projektionen abgeschätzt werden können. Einen Eindruck davon, wie die Kontingentierung nach Bevölkerungsanteil die Gewichte verschiebt, erhält man jedoch bereits durch Einsetzen der aktuellen Zahlen.

Ist $g_o(D) = g(D; 0)$ der gegenwärtige Anteil Deutschlands an der Weltbevölkerung, dann ergibt sich die dynamische Reduktionspflicht $R_b(t)$ für Deutschland im Rahmen dieser realistischen egalitären Szenarien folgendermaßen:

$$R_b(t) = 100 \left[1 - g_o(D) \frac{\tilde{E}(t)}{\epsilon_0(D)} \right] .$$

Gewissermaßen der „*Worst Case*“ für die OECD-Länder wäre eine Emissionszuteilung, welche über das demographische Gewicht hinaus auch noch die Bedürfnisse einer nachholenden Entwicklung in den Staaten der Dritten Welt berücksichtigen würde: In diesem Fall wäre

$$\epsilon(L;t) \sim g(L;t)/h(L;t)$$

$$= \left[\frac{p(L;t)}{b(L;t)} \right] / \left[\frac{P(t)}{B(t)} \right]$$

anzusetzen und der Emissionsspielraum der Industrieländer würde gegen Null streben! Da aber die Wahrscheinlichkeit für die Implementierung eines solchen Verteilungsschlüssels ebenfalls nahe bei Null liegt, wird dieses Szenario hier nicht weiter verfolgt.

Anhang II: Der Beirat — Mitglieder und Auftrag

Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (Stand Februar 1995)

Prof. Dr. Friedrich O. Beese

Agronom: Direktor des Instituts für Bodenkunde und Waldernährung an der Universität Göttingen

Prof. Dr. Gotthilf Hempel

Fischereibiologe: Direktor des Zentrums für Marine Tropenökologie an der Universität Bremen

Prof. Dr. Paul Klemmer

Ökonom: Präsident des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung in Essen

Prof. Dr. Lenelis Kruse-Graumann

Psychologin: Schwerpunkt Ökologische Psychologie an der Fernuniversität Hagen

Prof. Dr. Karin Labitzke

Meteorologin: Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin

Prof. Dr. Heidrun Mühle

Agronomin: Projektbereich Agrarlandschaften am Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle

Prof. Dr. Hans-Joachim Schellnhuber (Stellvertretender Vorsitzender)

Physiker: Direktor des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung

Prof. Dr. Udo Ernst Simonis

Ökonom: Forschungsschwerpunkt Technik - Arbeit - Umwelt am Wissenschaftszentrum Berlin

Prof. Dr. Hans-Willi Thoenes

Technologe: Rheinisch-Westfälischer TÜV in Essen

Prof. Dr. Paul Velsinger

Ökonom: Leiter des Fachgebiets Raumwirtschaftspolitik an der Universität Dortmund

Prof. Dr. Horst Zimmermann (Vorsitzender)

Ökonom: Abteilung für Finanzwissenschaft an der Universität Marburg

Auftrag

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) wurde vom Bundeskabinett am 8. April 1992 im Vorfeld der Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro berufen.

Der Beirat soll der Bundesregierung jährlich zur Lage globaler Umweltveränderungen und ihrer Folgen ein Gutachten vorlegen, das Empfehlungen für weitere Forschungen und für die Umsetzung der Forschungsergebnisse in umweltpolitisches Handeln enthält.

Daraus ergeben sich folgende Aufgaben:

1. Zusammenfassende, kontinuierliche Berichterstattung über aktuelle und akute Probleme im Bereich der globalen Umweltveränderungen und ihrer Folgen, z.B. auf den Gebieten Klimaveränderungen, Ozonabbau, Tropenwälder und sensible terrestrische Ökosysteme, aquatische Ökosysteme und Kryosphäre, Artenvielfalt, sozioökonomische Folgen globaler Umweltveränderungen. In die Betrachtung sind die natürlichen und die anthropogenen Ursachen (Industrialisierung, Landwirtschaft, Überbevölkerung, Verstädterung, etc.) einzubeziehen, wobei insbesondere die Rückkopplungseffekte zu berücksichtigen sind (zur Vermeidung von unerwünschten Reaktionen auf durchgeführte Maßnahmen).
2. Beobachtung und Bewertung der nationalen und internationalen Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der globalen Umweltveränderungen (insbesondere Meßprogramme, Datennutzung und -management, etc.).
3. Aufzeigen von Forschungsdefiziten und Koordinierungsbedarf.

4. Hinweise zur Vermeidung von Fehlentwicklungen und deren Beseitigung.

Die Federführung für den Beirat liegt alternierend beim Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Zusätzlich bildete die Bundesregierung eine Interministerielle Arbeitsgruppe (IMA), in der weitere zehn Ministerien über die Arbeit des Beirats unterrichtet werden.

Zur Unterstützung des Beirats wurde am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven eine Geschäftsstelle eingerichtet.

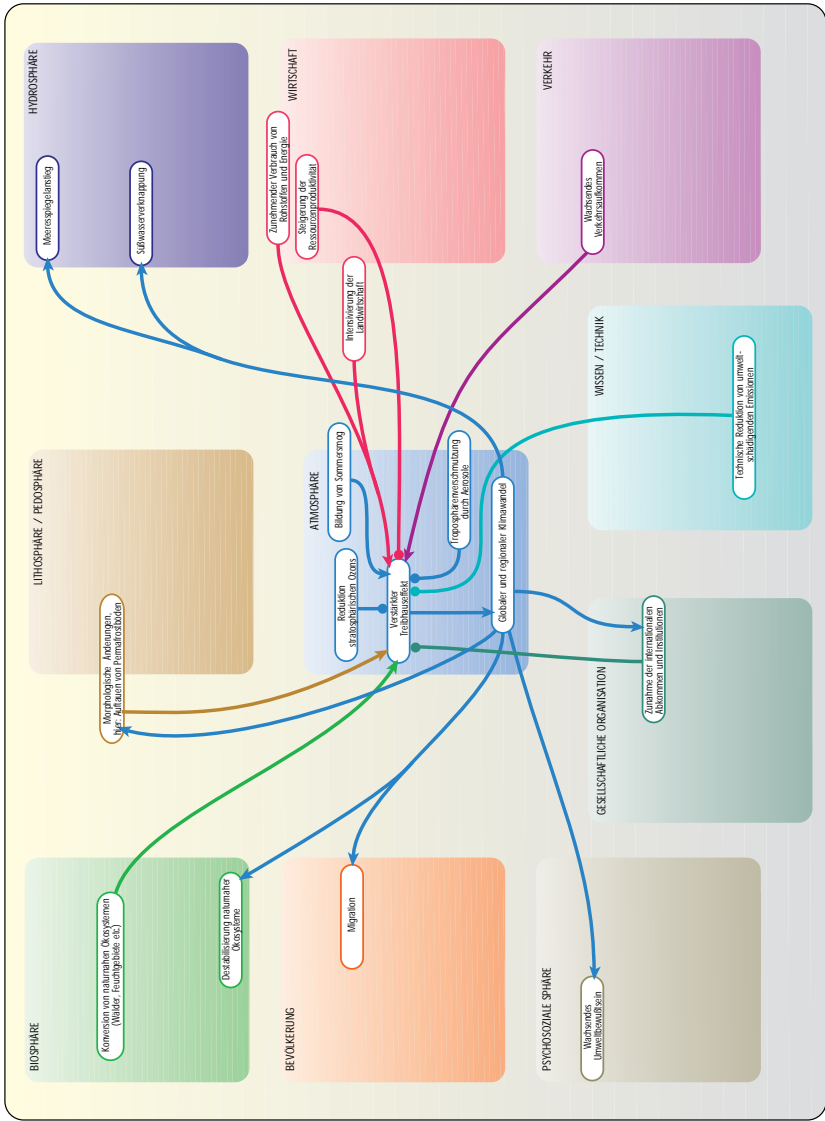


Abbildung 5: Der verstärkte Treibhauseffekt im Globalen Beziehungsgeflecht. Trend wirkt verstärkend: → Trend wirkt hemmend: —