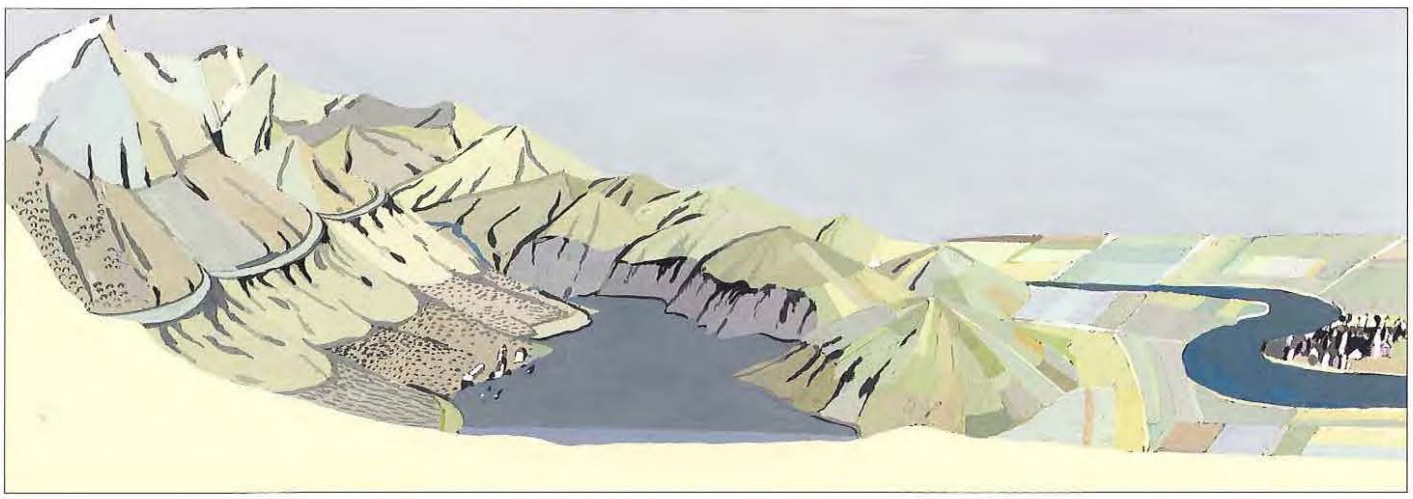
Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger und Synthesebericht

Zweiter umfassender IPCC-Bericht



Zwischenstaatlicher Ausschuss
über Klimaänderungen (IPCC)

1996

Zweiter umfassender IPCC-Bericht

Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger und Synthesebericht

Herausgegeben von

ProClim–

Forum für Klima und Global Change
Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften

Bern, Juni 1996

Zwischenstaatliche Verständigengruppe über Klimaänderungen
(Intergovernmental Panel on Climate Change WMO/UNEP, IPCC)

Finanziert durch das
Schweizerische Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft

unter Beteiligung des
Österreichischen Bundesministeriums für Umwelt

Titelbild aus:
Climate – our future?
U. Schotterer und P. Andermatt
(Kümmerly + Frey, Bern, und
University of Minnesota Press)
gezeichnet von V. Baumann nach
einer Vorlage des Geographischen
Instituts der Universität Bern

Original: Zwischenstaatliche Verständigengruppe über Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change WMO/UNEP, IPCC)

Übersetzung: Margaret Joss, Lic. phil.-hist., Ostring 8, CH-3006 Bern
Dr. Michael Ernst, Deutsches Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Ahrstrasse 20, D-53175 Bonn

Zusätzliche Kopien der deutschen Fassung können von ProClim– (Bärenplatz 2, CH-3011 Bern; Fax: (+41 31) 312 55 37) gegen Porto bezogen werden. Das Dokument ist ebenfalls in allen UNO-Sprachen (arabisch, chinesisch, englisch, französisch, russisch, spanisch) beim IPCC-Sekretariat erhältlich (41 av. Giuseppe-Motta, C.P. No. 2300, CH-1211 Genève).

INHALT

EINLEITUNG v

VORWORT vii

IPCC-SYNTHESE WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHER INFORMATIONEN IM HINBLICK AUF DIE INTERPRETATION VON ARTIKEL 2 DES RAHMENÜBEREINKOMMENS DER VEREINTEN NATIONEN ÜBER KLIMAÄNDERUNGEN (UNFCCC) ALS TEIL DES ZWEITEN SACHSTANDSBERICHTS 1
1. Zu Artikel 2 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen 3
2. Anthropogene Störungen des Klimasystems 5
3. Sensitivität und Anpassung von Systemen an Klimaänderungen 7
4. Ein analytischer Ansatz für die Stabilisierung von Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre 10
5. Technologische und politische Abschwächungsoptionen 13
6. Überlegungen zu Gerechtigkeit und sozialen Belangen 16
7. Fortführung der wirtschaftlichen Entwicklung auf nachhaltige Weise 17
8. Der Weg in die Zukunft 20

ZUSAMMENFASSUNG FÜR POLITISCHE ENTSCHEIDUNGSTRÄGER: NATURWISSENSCHAFTLICHE ERKENNTNISSE ÜBER KLIMAÄNDERUNGEN — IPCC-ARBEITSGRUPPE I 23
1. Die Treibhausgaskonzentrationen steigen weiterhin an 25
2. Anthropogene Aerosole haben einen eher negativen Strahlungsantrieb 26
3. Das Klima hat sich im Verlauf der letzten hundert Jahre verändert 26
4. Die Abwägung der Erkenntnisse legt einen erkennbaren menschlichen Einfluss auf das globale Klima nahe 26
5. Es wird erwartet, dass sich das Klima in Zukunft weiter verändert 27
6. Es bleiben viele Unsicherheiten 28

ZUSAMMENFASSUNG FÜR POLITISCHE ENTSCHEIDUNGSTRÄGER: WISSENSCHAFTLICHE-TECHNISCHE ANALYSEN DER AUSWIRKUNGEN VON, ZUR ANPASSUNG AN UND ABSCHWÄCHUNG VON KLIMAÄNDERUNGEN ..... — IPCC-ARBEITSGRUPPE II 31
1. Umfang der Beurteilung 33
2. Problemstellung 33
3. Anfälligkeit auf Klimaänderungen 34
   3.1 Terrestrische und aquatische Ökosysteme 36
   3.2 Hydrologie und Management von Wasserressourcen 39
   3.3 Nahrungsmittel und Fasern 39
   3.4 Infrastruktur für Menschen 41
   3.5 Menschliche Gesundheit 42
4. Optionen für die Emissionsreduktion und den Senkenausbau von Treibhausgasen 43
   4.1 Emissionen aus Energie, industriellen Prozessen und menschlichen Siedlungen 44
      4.1.1 Energiebedarf 44
      4.1.2 Verringern der Emissionen aus industriellen Prozessen und menschlichen Siedlungen 46
      4.1.3 Energieversorgung 46
      4.1.4 Integration von Abschwächungsoptionen im Energiesystem 47
   4.2 Landwirtschaft, Weideland und Forstwirtschaft 48
   4.3 Sektorenübergreifende Fragen 50
   4.4 Politische Instrumente 50

ZUSAMMENFASSUNG FÜR POLITISCHE ENTSCHEIDUNGSTRÄGER: WIRTSCHFTLICHE UND SOZIALE DIMENSIONEN VON KLIMAÄNDERUNGEN— IPCC-ARBEITSGRUPPE III 53
1. Einleitung 55
2. Umfang der Beurteilung 55
3. Rahmen für Entscheidungsfindungen betreffend Klimaänderungen 57
4. Überlegungen zu Gerechtigkeit und sozialen Belangen 58
5. Gerechtigkeit zwischen den Generationen und Diskontierung 59
6. Anwendbarkeit von Kosten- und Nutzenbeurteilungen 60
7. Die sozialen Kosten anthropogener Klimaänderungen: Schäden durch Zunahme von Treibhausgasemissionen 61

8. Allgemeine Beurteilung von Reaktionsstrategien 62
9. Kosten von Reaktionsoptionen 64
10. Integrierte Beurteilung 67
11. Ökonomische Beurteilung der politischen Instrumente zur Bekämpfung von Klimaänderungen 67

EINLEITUNG

Der Zwischenstaatliche Ausschuß über Klimaänderungen (IPCC) wurde im Jahre 1988 von der Weltmeteorologischen Organisation (WMO) und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) gemeinsam gegründet mit dem Ziel, 1. die verfügbare wissenschaftliche Information über Klimaänderungen auszuwerten, 2. die Auswirkungen von Klimaänderungen auf Umwelt und Sozioökonomie auszuwerten und 3. Reaktionsstrategien auszuarbeiten. Der erste Sachstandsbericht von IPCC wurde im August 1990 veröffentlicht und diente als Grundlage bei der Aushandlung des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC). Ebenso veröffentlichte IPCC dessen Ergänzung von 1992 sowie "Klimaänderungen 1994: Strahlungsantrieb von Klimaänderungen und Auswertung der IPCC-Emissionsszenarien IS92", die dem Übereinkommensprozeß dienlich waren.

1992 reorganisierte der Ausschuß seine Arbeitsgruppen II und III, um einerseits die Auswirkungen und Reaktionsoptionen und andererseits die sozialen und ökonomischen Aspekte von Klimaänderungen auszuwerten. IPCC verpflichtete sich, den Zweiten Sachstandsbericht 1995 fertigzustellen und dabei nicht nur die Informationen zu denselben Sachgebieten wie im ersten auf den neuesten Stand zu bringen, sondern auch das neue Gebiet der technischen Fragen im Zusammenhang mit den sozioökonomischen Aspekten von Klimaänderungen abzudecken. Wir gratulieren IPCC zur fristgerechten Fertigstellung des Zweiten Sachstandsberichts und sind überzeugt, daß er, wie die früheren IPCC-Berichte, ein Standardwerk für politische Entscheidungsträger, Wissenschafter und andere Experten wird.

Wie für IPCC üblich, war das Zustandekommen dieses Berichtes nur möglich dank der Begeisterung und Mitarbeit zahlreicher vielbeschäftigter Wissenschafter und anderer Experten auf der ganzen Welt. Wir möchten hier mit besonderer Genugtuung auf die besonderen Anstrengungen hinweisen, die IPCC unternahm, um die Beteiligung von Wissenschaftern und anderen Experten aus Entwicklungs- und Schwellenländern insbesondere bei der Redaktion, Überprüfung und Revision seiner Berichte sicherzustellen. Mit Regierungshilfe stellten Wissenschafter und Experten aus entwickelten Ländern sowie aus Entwicklungs- und Schwellenländern ihre Zeit für die enorme intellektuelle und physische Anstrengung äußerst großzügig zur Verfügung und gingen oft weit über das übliche Pflichtmaß hinaus. Diese gewissenhafte und professionelle Beteiligung stellt für IPCC eine große Bereicherung dar. Allen diesen Wissenschafterinnen und Wissenschaftern, Expertinnen und Experten sowie den Regierungen, die sie unterstützten, möchten wir für ihr Engagement unsere Anerkennung aussprechen.

Wir ergreifen diese Gelegenheit, um folgenden Einzelpersonen unseren Dank dafür auszusprechen, daß sie einen weiteren IPCC-Bericht zu einem erfolgreichen Ende gebracht haben:

- Prof. Bolin, Präsident von IPCC, für seine Führungsqualitäten und seine umsichtige Leitung von IPCC;
- den Vizepräsidenten von IPCC, Prof. Yu. A. Izrael (Russische Föderation) und Dr. A. Al-Gain (Saudiarabien);
- den Kopräsidenten von Arbeitsgruppe I, Dr. L.G. Meira Filho (Brasilien) und Sir John Houghton (England); den Vizepräsidenten der Arbeitsgruppe, Dr. Ding Yihui (China), Dr. H. Grassl und später Prof. D. Ehhalt (Deutschland) und Dr. A.B. Diop (Senegal);
- den Kopräsidenten von Arbeitsgruppe II, Dr. R.T. Watson (USA) und Dr. M.C. Zinyowera (Simbabwe); den Vizepräsidenten der Arbeitsgruppe, Dr. O. Canziani (Argentinien), Dr. M. Petit (Frankreich), Dr. S.K. Sharma (Indien), Herrn H. Tsukamoto (Japan), Prof. P. Vellinga (Niederlande), Dr. M. Beniston (Schweiz), Dr. A. Hentati und später Dr. J. Friaa (Tunesien) und Frau Ing. M. Perdomo (Venezuela);
- den Kopräsidenten von Arbeitsgruppe III, Dr. J.P. Bruce (Kanada) und Dr. Hoesung Lee (Republik Korea); den Vizepräsidenten der Arbeitsgruppe, Prof. R. Odingo (Kenia) und Dr. T. Hanisch sowie später Dr. L. Lorentsen (Norwegen);
- den regionalen Vertretern im IPCC-Büro, Dr. A. Adejokun (Nigeria, für Afrika), Dr. H. Nasrallah (Kuwait, für Asien), Dr. Fajardo Moros (Kuba, für Nordamerika und die Karibik), Dr. N. Sabogal und später Dr. K. Robertson (Kolumbien, für Südamerika), Dr. J. Zillman (Australien, für den Südwestpazifik) und Dr. M. Bautista Perez (Spanien, für Europa);
- Dr. B. Callander, Leiter der Technischen Unterstützungseinheit der Arbeitsgruppe I, und seinen Mitarbeiterinnen, Frau K. Maskell, Frau J.A. Lakeman und Frau F. Mills, sowie denjenigen, die zusätzliche Unterstützung leisteten, namentlich Dr. N. Harris (Koordinationseinheit für Europäische Ozonforschung, Cambridge, England) und Dr. A. Kattenberg (Königlich-Niederländisches Meteorologisches Institut);
- Dr. R.H. Moss, Leiter der Technischen Unterstützungseinheit der Arbeitsgruppe II, und seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Praktikantinnen und Volontäre, namentlich Herrn S. Agarwala, Herrn D.J. Dokken, Herrn S. Greco, Frau D. Hagag, Frau S. MacCracken, Frau F. Ormond, Frau M. Taylor, Frau A. Tenney und Frau L. Van Wie;
- Dr. E. Haites, Leiter der Technischen Unterstützungseinheit der Arbeitsgruppe III, und seinen Mitarbeiterinnen Frau L. Lawson und Frau V. Dreja;
- sowie Dr. N. Sundararaman, IPCC-Sekretär, und seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im IPCC-Sekretariat, Herrn S. Tewungwa sel., Frau R. Bourgeois, Frau C. Ettori und Frau C. Tanikie.

G.O.P. Obasi
Generalsekretär
Weltmeteorologische Organisation

Frau E. Dowdeswell
Direktorin
Umweltprogramm der Vereinten Nationen

VORWORT

Der Zwischenstaatliche Ausschuß über Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) schloß seinen Zweiten Sachstandsbericht im Dezember 1995 ab. Dieser Bericht besteht aus vier Teilen:

- der zweiten IPCC-Synthese wissenschaftlich-technischer Informationen im Hinblick auf die Interpretation von Artikel 2 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC),
- dem Bericht der IPCC-Arbeitsgruppe I zu naturwissenschaftliche Erkenntnisse über Klimaänderungen, mit einer Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (ZpE),
- dem Bericht der IPCC-Arbeitsgruppe II zu wissenschaftlich-technischen Analysen der Auswirkungen von, zur Anpassung an und Abschwächung von Klimaänderungen, mit einer ZpE,
- dem Bericht der IPCC-Arbeitsgruppe III zu wirtschaftlichen und sozialen Dimensionen von Klimaänderungen, mit einer ZpE.

Die zweite IPCC-Synthese wissenschaftlich-technischer Informationen sowie die Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger der drei Arbeitsgruppen bilden zusammen den IPCC-Bericht (1995). Sie werden im vorliegenden Band veröffentlicht und sind in den sechs Sprachen der Vereinten Nationen, d.h. auf arabisch, chinesisch, englisch, französisch, russisch und spanisch, erhältlich. Die ausführlichen Berichte der Arbeitsgruppen mit ihren jeweiligen ZpE sind einzeln ausschließlich auf englisch im Handel erhältlich.

Aufgrund zahlreicher Fehlinformationen und Mißverständnisse zum Thema möchten wir diese Gelegenheit nutzen, unsere Leserschaft darüber zu informieren, wie die Sachstandsberichte des IPCC-Ausschußes entstehen.

1. Zuallererst entscheidet der Ausschuß über den in Kapitel aufgeteilten Inhalt der Berichte jeder Arbeitsgruppe. Für den ersten Entwurf sowie die nachfolgende Überarbeitung eines Kapitels wird ein Autorenteam von drei bis sechs (in seltenen Fällen mehr) Expertinnen und Experten zusammengestellt. Regierungen sowie zwischenstaatliche und Nicht-Regierungsorganisationen werden aufgefordert, Einzelpersonen mit dem entsprechenden Fachwissen zu nennen, die in diese Autorenteams aufgenommen werden könnten. Ebenfalls werden die Publikationslisten der genannten Personen sowie weitere relevante Informationen über sie eingeholt. Sodann werden Personenlisten zusammengestellt, aus denen das Büro der entsprechenden Arbeitsgruppe (d.h. Ko- und Vizepräsidenten der Arbeitsgruppe) das Redaktionsteam auswählt. Eine Forderung des Ausschußes ist es, daß mindestens ein Mitglied jeder Redaktionsgruppe aus einem Entwicklungsland stammen muß.

2. Die Berichte müssen eine Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (ZpE) enthalten. Die Zpe sollte die neuesten Erkenntnisse über das untersuchte Gebiet widerspiegeln und so geschrieben sein, daß sie von einer nicht-spezialisierten Leserschaft ohne weiteres verstanden werden kann. Abweichende, aber wissenschaftlich oder technisch wohlbegründete Ansichten sollten in den Berichten und in den ZpE als solche gekennzeichnet werden, sofern sie im Laufe der Beurteilung nicht in Übereinstimmung gebracht werden können.

3. Die Redaktionsteams entwerfen die Kapitel und das Material, das in den ZpE berücksichtigt werden soll. Die Entwürfe beruhen auf Literatur, die in seriösen wissenschaftlichen Zeitschriften sowie in Berichten von professionellen Organisationen, z.B. dem Internationalen Rat der wissenschaftlichen Vereinigungen (ICSU), der Weltmeteorologischen Organisation (WMO), dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP), der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sowie der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) publiziert worden sind. IPCC veranstaltet gelegentlich Workshops um Informationen zusammenzutragen, die sonst nicht leicht zugänglich sind; dies geschieht insbesondere zur Förderung des Zusammentragens von Informationen über und in den Entwicklungsländern.

4. Jeder Kapitelentwurf wird sodann weltweit zahlreichen Expertinnen und Experten zur Überprüfung und für Kommentare unterbreitet. Die Experten werden ebenfalls aus den von Regierungen und Organisationen vorgeschlagenen Namen ausgewählt. Die vorgeschriebene Frist für diese Prüfung beträgt sechs Wochen. Der aufgrund der eingegangenen Kommentare überarbeitete Entwurf geht sodann an Regierungen und Organisationen zur technischen Überprüfung. Auch für diese (zweite) Überprüfung ist eine Frist von sechs Wochen vorgeschrieben. In gewissen Fällen, wenn der Zeitrahmen durch die aufeinanderfolgende Überprüfung gesprengt würde, werden die Experten- und die Regierungskommentare gleichzeitig eingeholt.

5. Nun wird der Entwurf ein zweites Mal aufgrund der von Regierungen und Organisationen erhaltenen Rückmeldungen überarbeitet. Einen Monat vor der Tagung der Arbeitsgruppe, an welcher er behandelt werden soll, geht er an Regierungen (und Organisationen). Die Arbeitsgruppe verabschiedet die ZpE Zeile für Zeile und genehmigt die zugrundeliegenden Kapitel; zusammen bilden diese beiden den Bericht der Arbeitsgruppe. Es ist aus praktischen Gründen unüblich, daß die Arbeitsgruppe ihren Bericht verabschiedet, der meist 200 oder mehr Seiten umfasst. In diesem Zusammenhang heißt "Genehmigung", daß die ZpE mit den ihr zugrundeliegenden Kapiteln übereinstimmen.

6. Bei der Genehmigung der ZpE durch die Arbeitsgruppe sind ausgewählte Mitglieder der Redaktionsteams—sowohl aus Entwicklungs- wie aus entwickelten Ländern—anwesend, und der Text der ZpE wird bei dieser Tagung mit ihrem Einverständnis revidiert. Somit werden die Berichte der Arbeitsgruppen tatsächlich von Expertinnen und Experten geschrieben und revidiert und von anderen Experten überprüft.

7. Der Bericht der Arbeitsgruppe geht (mit der genehmigten ZpE) einen Monat vor der IPCC-Tagung, an welcher er zur Genehmigung vorliegt, an die Regierungen/Organisationen.

8. Es dürfte die Leserschaft interessieren, daß IPCC eine vollständig zwischenstaatliche, wissenschaftlich-technische Körperschaft ist. Alle Mitgliedstaaten der Vereinten Nationen und der Weltmeteorologischen Organisation sind Mitglieder von IPCC und dessen Arbeitsgruppen. Als solche genehmigen Regierungen die ZpE und verabschieden die ihnen zugrundeliegenden Kapitel, welche—wie bereits oben erwähnt—von Experten verfaßt und revidiert worden sind.

Die zweite IPCC-Synthese wurde von einem Redaktionsteam unter dem Vorsitz des IPCC-Vorsitzenden entworfen. Sie wurde Experten und Regierungen gleichzeitig zur Überprüfung und für Kommentare vorgelegt. Die Synthese wurde von IPCC bei seiner 11. Tagung in Rom (11.-15. Dezember 1995) verabschiedet, nachdem über den endgültigen Entwurf Zeile für Zeile verhandelt worden war.

Wir möchten nochmals wiederholen, daß die Berichte von IPCC und seinen Arbeitsgruppen die in der verfügbaren Fachliteratur dargestellte und zudem sorgfältig von Experten und Regierungen überprüfte Faktenlage über Klimaänderungen enthalten. Weltweit insgesamt über zweitausend Expertinnen und Experten waren am Entwurfs- und Überprüfungsprozeß beteiligt. Regierungen der Welt genehmigten/verabschiedeten ihren wissenschaftlich-technischen Inhalt. Das Endprodukt wurde von weltweit ausgewählten Expertinnen und Experten verfaßt und von Regierungen anläßlich von Plenartagungen verabschiedet.

Wir nutzen diese Gelegenheit ebenfalls, um mit Bedauern den Hinschied eines geschätzten Mitglieds des IPCC-Sekretariats bekanntzugeben. Herr Samuel Tewungwa, welcher im Januar 1996 verstarb, wurde vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen ins Sekretariat bestellt. Wir vermissen seine heitere und humorvolle Art und seinen Einsatz für seine Aufgaben.

N. Sundararaman
Sekretär von IPCC

B. Bolin
Vorsitzender von IPCC

IPCC-SYNTHESE WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHER INFORMATIONEN IM HINBLICK AUF DIE INTERPRETATION VON ARTIKEL 2 DES RAHMENÜBEREINKOMMENS DER VEREINTEN NATIONEN ÜBER KLIMAÄNDERUNGEN (UNFCCC) ALS TEIL DES ZWEITEN SACHSTANDSBERICHTS

ZU ARTIKEL 2 DES RAHMENÜBEREINKOMMENS DER VEREINTEN NATIONEN ÜBER KLIMAÄNDERUNGEN 1

1.1 Im Anschluss an eine Resolution des Exekutivrates der Weltorganisation für Meteorologie (Juli 1992) beschloß IPCC, eine Untersuchung von Ansätzen zu Artikel 2, d.h. dem Ziel des Rahmenübereinkommens, in sein Arbeitsprogramm aufzunehmen. Auf Einladung der Regierung Brasiliens organisierte IPCC im Oktober 1994 einen entsprechenden Workshop in Fortaleza, Brasilien. Danach stellte der IPCC-Vorsitzende ein Team von Autorinnen und Autoren zusammen (s. Namensliste am Ende dieses Berichtes), welches die Synthese unter seinem Vorsitz entwarf. Der Entwurf wurde Expertinnen und Experten sowie Regierungen und Organisationen zur Überprüfung und für Kommentare vorgelegt. Die Synthese wurde von IPCC bei seiner 11. Tagung in Rom (11.-15. Dezember 1995) verabschiedet, nachdem über den endgültigen Entwurf Zeile für Zeile verhandelt worden war. Bei dieser Tagung waren Vertreterinnen und Vertreter von 116 Regierungen sowie von 13 zwischenstaatlichen und 25 Nicht-Regierungsorganisationen anwesend. Zur Information sei angemerkt, daß alle Mitgliedstaaten der Weltorganisation für Meteorologie und der Vereinten Nationen Mitglied von IPCC sind und an dessen Tagungen sowie an den Tagungen der Arbeitsgruppen teilnehmen können. Die Synthese stellt Informationen über die wissenschaftlichen und technischen Belange in bezug auf die Interpretation von Artikel 2 des Rahmenübereinkommens dar, wobei sie sich auf den zugrundeliegenden Zweiten Sachstandsbericht von IPCC abstützt. Da die Synthese aber nicht bloß eine Zusammenfassung des Zweiten Sachstandsberichts von IPCC ist, sollten für eine Zusammenfassung des Zweiten Sachstandsberichts auch die Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger der drei IPCC-Arbeitsgruppen konsultiert werden.

1.2 Im Laufe der letzten Jahrzehnte sind zwei wichtige Faktoren bezüglich des Zusammenhangs zwischen den Menschen und dem Klima der Erde sichtbar geworden. Erstens steigern menschliche Aktivitäten—einschließlich das Verbrennen fossiler Brennstoffe, Landnutzungsänderungen und die Landwirtschaft—die atmosphärischen Konzentrationen von Treibhausgasen (welche die Atmosphäre eher erwärmen) und in manchen Regionen von Aerosolen (mikroskopisch kleinen Partikeln in der Luft, welche die Atmosphäre eher abkühlen). Es wird projeziert, daß diese Änderungen bei Treibhausgasen und Aerosolen zusammengenommen das Klima und klimabezogene Parameter, wie z.B. Temperatur, Niederschläge, Bodenfeuchtigkeit und Meeresspiegel, regional und global ändern. Zweitens sind einige menschliche Gemeinschaften infolge steigender Bevölkerungsdichte in empfindlichen Landstrichen (z.B. Flußbecken und Flachküsten) anfälliger[1] für Gefahren wie Stürme, Überschwemmungen und Dürren geworden. Es wurden potentiell schwerwiegende Änderungen festgestellt, einschließlich—in einigen Gebieten—einer Zunahme der Häufigkeit von Perioden mit extrem hohen Temperaturen sowie von Überschwemmungen und Dürren, mit entsprechenden Auswirkungen wie Brände und Schädlingsplagen sowie auf Zusammensetzung, Struktur und Funktion von Ökosystemen, einschließlich Primärproduktivität.

1.3 Der Zwischenstaatliche Ausschuß über Klimaänderungen (IPCC) hat wissenschaftliche und technische Informationen im Hinblick auf Klimaänderungen und deren Auswirkungen beurteilt. Der 1990 veröffentlichte Erste Sachstandsbericht lieferte eine wissenschaftliche und technische Grundlage für das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC), das im Juni 1992 bei der UNO-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio zur Zeichnung auflag.

1.4 Das letztliche Ziel gemäß Artikel 2 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) ist es,

> "... die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraums erreicht werden, der ausreicht, damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann."

1.5 Artikel 2 stellt politische Entscheidungsträger vor die Herausforderung, die Treibhausgaskonzentrationen festzulegen, welche als "gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems" betrachtet werden könnten, sowie einen Weg in die Zukunft vorzuzeichnen, der eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung ermöglicht. Der vorliegende Synthesebericht soll wissenschaftliche, technische und sozioökonomische Informationen liefern, welche u.a. im Umgang mit diesen Herausforderungen eingesetzt werden können. Er beruht auf den Berichten der IPCC-Arbeitsgruppen aus den Jahren 1994 und 1995.

1.6 Der Bericht behandelt die verschiedenen in Artikel 2 angesprochenen Problemkreise. Als erstes faßt er das Ausmaß von Klimaänderungen—die "Störung des Klimasystems"—zusammen, welches infolge der menschlichen Tätigkeiten projeziert wird. Danach wird zusammengefaßt, was wir zur Zeit über die Anfälligkeit von Ökosystemen und menschlichen Gemeinschaften gegenüber wahrscheinlichen Klimaänderungen wissen, insbesondere in bezug auf Landwirtschaft und

[1] Anfälligkeit definiert das Ausmass, in welchem Klimaänderungen ein System beeinträchtigen oder schädigen können. Sie hängt nicht nur von der Sensitivität eines Systems ab, sondern ebenso von dessen Fähigkeit, sich neuen klimatischen Bedingungen anzupassen.

Nahrungsmittelproduktion sowie weitere Faktoren, wie z.B. die Verfügbarkeit von Wasser, die Gesundheit und die Auswirkungen des Ansteigens des Meeresspiegels, welches wichtige Gesichtspunkte für nachhaltige Entwicklung sind. IPCC hat die Aufgabe, solide wissenschaftliche Grundlagen zu liefern, welche es politischen Entscheidungsträgern ermöglichen sollen, eine "gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems" besser zu interpretieren.

1.7 Angesichts der gegenwärtigen Tendenz des Emissionsanstiegs bei den meisten Treibhausgasen werden die atmosphärischen Konzentrationen dieser Gase im nächsten Jahrhundert und darüber hinaus ansteigen. Mit zunehmenden atmosphärischen Konzentrationen von Treibhausgasen wächst das Ausmaß der Störung des Klimasystems und damit auch die Wahrscheinlichkeit nachteiliger Auswirkungen von Klimaänderungen, die als gefährlich eingestuft werden könnten. Deshalb wurden mögliche Pfade für zukünftige Nettoemissionen betrachtet, welche zu einer Stabilisierung auf verschiedenen Niveaus führen könnten, sowie damit verbundene allgemeine Einschränkungen. Diese Überlegungen bilden den nächsten Teil dieses Berichtes. Ihnen folgt eine Zusammenfassung der technischen und politischen Optionen zur Reduktion von Emissionen von Treibhausgasen und Erweiterung von Treibhausgassenken.

1.8 Sodann wendet sich der Bericht Problemen im Zusammenhang mit Gerechtigkeit (*equity*)* zu sowie der Sicherstellung, daß die ökonomische Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann. Dazu gehören u.a. Schätzungen der wahrscheinlichen Schäden infolge der Auswirkungen von Klimaänderungen und die Auswirkungen—einschließlich Kosten und Nutzen—von Anpassung und Abschwächung. Schliesslich zeigt eine Reihe von Ergebnissen verfügbarer Studien Wege für erste Schritte auf (s. Abschnitt 8, "Der Weg in die Zukunft"), obschon es zur Zeit noch schwierig ist, eine Entscheidung über ein Ziel einschließlich eines Zeitrahmens für atmosphärische Konzentrationen zu treffen, die "eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems" verhindern würden.

1.9 Klimaänderungen stellen die Entscheidungsträger vor eine ganze Anzahl schwieriger Probleme: der Komplexität des Problems inneliegende Ungewißheiten, die Möglichkeit irreversibler Schäden oder Kosten, ein sehr langer Planungshorizont, große Verzögerungen zwischen Emissionen und Auswirkungen, große regionale Unterschiede von Ursachen und Wirkungen, ein notwendigerweise globales Problem und vielfältigste zu betrachtende Treibhausgase und Aerosole. Eine weitere Komplikation ist die Tatsache, daß ein wirksamer Schutz des Klimasystems internationale Zusammenarbeit in einem Umfeld mit unterschiedlichsten Einkommensniveaus, Flexibilitäten und Zukunftsaussichten erfordert, was Fragen betreffend Effizienz und Gerechtigkeit innerhalb eines Staates und zwischen den Generationen sowie auf internationaler Ebene aufwirft. Gerechtigkeit ist ein wesentliches Element für die Legitimierung von Entscheidungen und bei der Förderung von Zusammenarbeit.

1.10 Entscheidungen betreffend Artikel 2 des Rahmenübereinkommens umfassen drei verschiedene, aber miteinander zusammenhängende Optionen: Stabilisierungsniveau, Pfad der Nettoemissionen sowie Abschwächungstechnologien und -politiken. Der vorliegende Bericht zeigt verfügbare wissenschaftliche und technische Informationen zu diesen drei Optionen auf. Er weist auch auf verbleibende Unsicherheiten in diesen Informationen hin. Artikel 3 des Rahmenübereinkommens zeigt eine Reihe von Grundsätzen auf, welche u.a. als Orientierungshilfe für die Entscheidungsfindung in bezug auf das letztliche Ziel des Übereinkommens, wie es in Artikel 2 beschrieben ist, dienen können. Artikel 3.3.[2] gibt u.a. Anweisungen für die Entscheidungsfindung im Falle eines Fehlens völliger wissenschaftlicher Gewißheit: Die Vertragsparteien sollen nämlich:

> "Vorsorgemaßnahmen treffen, um den Ursachen von Klimaänderungen vorzubeugen, sie zu verhindern oder so gering wie möglich zu halten und die nachteiligen Auswirkungen von Klimaänderungen abzuschwächen. In Fällen, in denen ernsthafte oder nicht wiedergutzumachende Schäden drohen, soll das Fehlen einer völligen wissenschaftlichen Gewißheit nicht als Grund für das Aufschieben solcher Maßnahmen dienen, wobei zu berücksichtigen ist, daß Politiken und Maßnahmen zur Bewältigung von Klimaänderungen kostengünstig sein sollten, um weltweite Vorteile zu möglichst geringen Kosten zu gewährleisten. Zur Erreichung dieses Zweckes sollen die Politiken und Maßnahmen die unterschiedlichen sozio-ökonomischen Zusammenhänge berücksichtigen, umfassend sein, alle wichtigen Quellen, Senken und Speicher von Treibhausgasen und die Anpassungsmaßnahmen erfassen sowie alle Wirtschaftsbereiche einschließen. Bemühungen zur Bewältigung von Klimaänderungen können von interessierten Vertragsparteien gemeinsam unternommen werden."

Der Zweite Sachstandsbericht von IPCC enthält ebenfalls Informationen zu diesem Themenkreis.

1.11 Die langen Zeiträume, welche das Klimasystem (z.B. die lange Aufenthaltsdauer von Treibhausgasen in der Atmosphäre) und der Ersatz von Infrastrukturen mit sich bringen, sowie die Verzögerung von vielen Jahrzehnten bis Jahrhunderten zwischen der Stabilisierung von Konzentrationen und der Stabilisierung der mittleren Temperatur und des mittleren Meeresspiegels unterstreichen die Bedeutung rechtzeitiger Entscheidungen.

---

[2] Kuwait brachte seine Ablehnung dagegen zum Ausdruck, dass nur Abs. 3 von Artikel 3 und nicht Artikel 3 in seiner Gänze zitiert wird.

* siehe Fussnote 18.

ANTHROPOGENE STÖRUNGEN DES KLIMASYSTEMS 2

Bisherige Störungen

2.1 Um zu verstehen, welche Treibhausgaskonzentrationen eine gefährliche Störung des Klimasystems verhindern würden, müssen zuerst die gegenwärtigen atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen und deren Tendenzen sowie deren (bisherige und projezierte) Auswirkungen auf das Klimasystem verstanden werden.

2.2 Die Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre, u.a. Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (N_2O), sind seit vorindustriellen Zeiten (ca. 1750) wesentlich angestiegen: CO_2 von rund 280 auf knapp 360 ppmv[3], CH_4 von 700 auf 1720 ppbv und N_2O von rund 275 auf rund 310 ppbv. Diese Entwicklung ist hauptsächlich menschlichen Aktivitäten, insbesondere der Verbrennung fossiler Brennstoffe, Landnutzungsänderungen und der Landwirtschaft, zuzuschreiben. Die Konzentrationen anderer anthropogener Treibhausgase sind ebenfalls angestiegen. Eine Steigerung der Treibhausgaskonzentrationen führt im Durchschnitt zu einer zusätzlichen Erwärmung der Atmosphäre und der Erdoberfläche. Viele Treibhausgase bleiben lange Zeit in der Atmosphäre und beeinflussen das Klima während langer Zeit.

2.3 Troposphärische Aerosole aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und von Biomasse sowie aus anderen Quellen haben einen direkten negativen Strahlungsantrieb und möglicherweise auch einen ähnlich hohen indirekten. Dieser negative Strahlungsantrieb manifestiert sich vor allem in einzelnen Regionen und im subkontinentalen Maßstab, kann Klimamuster aber auch kontinental oder hemisphärisch beeinflussen. Lokal kann der negative Strahlungsantrieb von Aerosolen so groß sein, daß er den positiven Strahlungsantrieb von Treibhausgasen mehr als nur ausgleicht. Im Gegensatz zu den langlebigen Treibhausgasen sind anthropogene Aerosole in der Atmosphäre sehr kurzlebig, weshalb ihr Strahlungsantrieb steigenden oder sinkenden Emissionen sehr rasch folgt.

2.4 Die mittlere globale bodennahe Lufttemperatur ist seit dem Ende des 19. Jahrhunderts um rund 0,3 bis 0,6°C angestiegen; diese Änderung ist nur mit geringer Wahrscheinlichkeit vollständig natürlichen Ursprungs. Die Abwägung der Erkenntnisse über Änderungen der mittleren globalen bodennahen Lufttemperatur sowie über Änderungen der geographischen, jahreszeitlichen und vertikalen Temperaturmuster in der Atmosphäre legt einen erkennbaren menschlichen Einfluß auf das globale Klima nahe. Der Meeresspiegel ist in den letzten 100 Jahren weltweit um 10 bis 25 cm angestiegen, was hauptsächlich dem Ansteigen der mittleren globalen Lufttemperatur zuzuschreiben sein dürfte .

2.5 Es gibt keine ausreichenden Daten um zu ermitteln, ob im Verlauf des 20. Jahrhunderts beständige globale Änderungen bei der Klimavariabilität oder bei extremen Wetterereignissen eingetreten sind. Regional gesehen gibt es klare Hinweise auf Änderungen bestimmter extremer Ereignisse und Indikatoren für Klimavariabilität. Einige dieser Änderungen gingen in Richtung größerer, andere in Richtung geringerer Variabilität. Allerdings war es bisher nicht möglich, eine klare Beziehung zwischen diesen regionalen Änderungen und menschlichen Aktivitäten nachzuweisen.

Mögliche Auswirkungen zukünftiger Störungen

2.6 Ohne Abschwächungspolitiken oder bedeutende technologische Fortschritte, welche zur Reduktion von Emissionen und zur Erweiterung von Senken führen, ist im Verlaufe des kommenden Jahrhunderts eine Zunahme der Konzentrationen von Treibhausgasen und Aerosolen zu erwarten. IPCC entwickelte eine Reihe von Szenarien, IS92a-f, für zukünftige Emissionen von Treibhausgasen und Aerosol-Vorläufern aufgrund von Annahmen betreffend Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, Landnutzung, technologische Änderungen sowie Verfügbarkeit von Energie und Energieträgermix im Zeitraum von 1990 bis 2100.[4] Im Rahmen dieser Szenarien wird projeziert, daß sich die Kohlendioxidemissionen bis zum Jahr 2100 im Bereich zwischen rund 6 GtC[5]— ungefähr gleich den heutigen Emissionen—und bis zu 36 GtC pro Jahr bewegen werden, wobei an der unteren Grenze des IPCC-Bereichs von einem geringen Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum bis 2100 ausgegangen wird. Es wird projeziert, daß sich die Methanemissionen im Bereich von 540 bis 1170 Tg[6] CH_4 pro Jahr bewegen werden (1990 betrugen die Emissionen rund 500 Tg CH_4) und die Emissionen von Distickstoffoxid im Bereich von 14 bis 19 Tg N pro Jahr (1990 betrugen die Emissionen rund 13 Tg N). In allen Fällen nehmen die Konzentrationen von Treibhausgasen und der gesamte Strahlungsantrieb während der ganzen Simulationsperiode von 1990 bis 2100 weiterhin zu.

2.7 Für das in der Mitte liegende IPCC-Emissionsszenario IS92a, bei Annahme der "besten Schätzung" des Wertes der

[3] ppmv steht für "parts per million by volume"= Teile pro Million (volumenbezogen); ppbv steht für "parts per Billion by volume"= Teile pro Milliarde (volumenbezogen). Die angegebenen Werte stammen aus dem Jahre 1992.

[4] S. Tabelle 1 in der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger der IPCC- Arbeitsgruppe II.

[5] Für die Umrechnung von GtC (Gigatonnen oder eintausend Millionen Tonnen Kohlenstoff) in Masse Kohlendioxid wird der Wert in GtC mit 3.67 multipliziert.

[6] Tg: Teragramm bedeutet 10^{12} Gramm.

Klimasensitivität[7] und unter Berücksichtigung der Wirkungen künftiger Zunahmen bei Aerosolen, projezieren Modelle im Vergleich zu 1990 einen Anstieg der mittleren globalen Temperatur von rund 2°C bis ins Jahr 2100. Diese Schätzung ist ungefähr ein Drittel niedriger als die "beste Schätzung" im Jahre 1990. Dies ist vor allem auf Szenarien mit geringeren Emissionen (insbesondere von CO_2 und FCKW), die Berücksichtigung der abkühlenden Wirkung von Sulfat-Aerosolen sowie auf ein besseres Verständnis des Kohlenstoffkreislaufes zurückzuführen. Die Kombination des niedrigsten IPCC-Emissionsszenarios (IS92c) mit einem "niedrigen" Wert der Klimasensitivität und unter Berücksichtigung der Wirkungen künftiger Zunahmen der Aerosolkonzentrationen führt zu einem projezierten Anstieg bis zum Jahr 2100 von rund 1°C. Die entsprechende Projektion für das höchste IPCC-Szenario (IS92e), kombiniert mit einem "hohen" Wert der Klimasensitivität, ergibt eine Erwärmung von rund 3,5°C. In allen Fällen dürfte die durchschnittliche Erwärmungsrate wahrscheinlich größer sein als jede in den letzten 10'000 Jahren, aber die tatsächlichen jährlichen bis zehnjährlichen Änderungen werden von einer beträchtlichen natürlichen Variabilität begleitet sein. Regionale Temperaturänderungen könnten deutlich vom globalen Mittelwert abweichen. Wegen der thermischen Trägheit der Ozeane wären bis zum Jahr 2100 nur 50 bis 90% der Änderung der endgültigen Gleichgewichtstemperatur erreicht, und die Temperatur würde auch nach 2100 weiter ansteigen, sogar wenn die Treibhausgaskonzentrationen bis zu diesem Zeitpunkt stabilisiert werden könnten.

2.8 Es wird projeziert, daß der durchschnittliche Meeresspiegel infolge der thermischen Ausdehnung der Ozeane und des Abschmelzens von Gletschern und Eismassen ansteigt. Für das IPCC-Emissionsszenario IS92a, bei Annahme der "besten Schätzung" der Werte der Klimasensitivität und der Sensitivität der Eisschmelze auf die Erwärmung sowie unter Berücksichtigung der Wirkungen künftiger Änderungen bei Aerosolkonzentrationen, projezieren Modelle einen Anstieg des gegenwärtigen Meeresspiegels um rund 50 cm bis zum Jahr 2100. Diese Schätzung ist aufgrund der niedrigeren Temperaturprojektionen und dank besserer Klima- und Eisschmelzmodelle ungefähr 25% niedriger als die "beste Schätzung" von 1990. Die Kombination des niedrigsten Emissionsszenarios (IS92c) mit den "niedrigen" Werten der Klima- und der Eisschmelzesensitivität sowie unter Berücksichtigung der Wirkungen künftiger Zunahmen der Aerosol-Konzentrationen, führt zu einem projezierten Anstieg des gegenwärtigen Meeresspiegels bis zum Jahr 2100 um rund 15 cm. Die entsprechende Projektion für das höchste Emissionsszenario (IS92e) mit den "hohen" Werten der Klima- und der Eisschmelzesensitivität ergibt einen Anstieg des gegenwärtigen Meeresspiegels um rund 95 cm bis zum Jahr 2100. Der Meeresspiegel würde auch in den Jahrhunderten nach 2100 weiterhin mit einer vergleichbaren Geschwindigkeit ansteigen, sogar wenn die Treibhausgaskonzentrationen bis dahin stabilisiert wären. Auch nach einer Stabilisierung der mittleren globalen Lufttemperatur würde der Meeresspiegel weiter ansteigen. Infolge von Landbewegungen und von Änderungen der Meeresströmungen können die Änderungen des regionalen Meeresspiegels vom globalen Mittel abweichen.

2.9 Die Zuverlässigkeit der hemisphärischen bis kontinentalen Projektionen mit gekoppelten Atmosphäre/Ozean-Klimamodellen ist höher als die der regionalen Projektionen, bei denen die Zuverlässigkeit nach wie vor gering ist. Projektionen bei Temperaturen sind zuverlässiger als bei hydrologischen Änderungen.

2.10 Alle Modellsimulationen, gleich ob ihnen gestiegene Treibhausgas- und Aerosolkonzentrationen oder allein gestiegene Treibhausgaskonzentrationen zugrunde lagen, weisen folgende Merkmale auf: Im Winter steigt die Lufttemperatur über Land stärker an als über dem Meer; in hohen nördlichen Breiten erwärmt sich die Luft im Winter maximal, über der Arktis erwärmt sich die Luft im Sommer gering; im globalen Mittel ist der hydrologische Kreislauf verstärkt; im Winter nehmen Niederschläge und Bodenfeuchtigkeit in hohen Breiten zu. Alle diese Änderungen hängen mit identifizierbaren physikalischen Mechanismen zusammen.

2.11 Höhere Temperaturen werden zu einem verstärkten hydrologischen Kreislauf führen; daher ist teilweise mit mehr, teilweise mit weniger starken Dürren und Überschwemmungen zu rechnen. Verschiedene Modelle weisen auf intensivere Niederschläge hin, was auf die Möglichkeit von extremeren Regenereignissen schließen läßt. Bisher reicht unser Wissen nicht aus um zu sagen, ob sich die Häufigkeit oder geographische Verteilung von starken Stürmen, z.B. tropischen Wirbelstürmen, ändern wird.

2.12 Es gibt viele Unsicherheiten, und viele Faktoren schränken zur Zeit unsere Fähigkeit ein, künftige Klimaänderungen zu projezieren und nachzuweisen. Künftige unprojezierte, große und schnelle Änderungen im Klimasystem (wie sie auch in der Vergangenheit aufgetreten sind) sind von Natur aus schwierig vorauszusagen. Das heißt, daß künftige Klimaänderungen auch von "Überraschungen" begleitet sein können. Diese sind insbesondere auf die Nichtlinearität des Klimasystems zurückzuführen. Wenn nichtlineare Systeme raschen Einflüssen unterworfen werden, können sie besonders unerwartet reagieren. Fortschritte können durch die Untersuchung nichtlinearer Prozesse und Unterkomponenten des Klimasystems erzielt werden. Beispiele solchen nichtlinearen Verhaltens sind u.a. die raschen Änderungen der Meereszirkulation im Nordatlantik und mit Änderungen der terrestrischen Ökosysteme zusammenhängende Rückwirkungen.

7 In den Berichten des IPCC bezieht sich "Klimasensitivität" normalerweise auf die langfristige Änderung (des Gleichgewichtszustandes) der mittleren globalen bodennahen Lufttemperatur infolge einer Verdoppelung der atmosphärischen äquivalenten CO_2-Konzentration. Allgemeiner bezieht sich der Ausdruck auf die Änderung des Gleichgewichtszustandes der bodennahen Lufttemperatur infolge einer Änderung des Strahlungsantriebs um eine Einheit (°C/Wm^{-2}).

SENSITIVITÄT UND ANPASSUNG VON SYSTEMEN AN KLIMAÄNDERUNGEN 3

3.1 Dieser Abschnitt liefert wissenschaftliche und technische Informationen, welche unter anderem zur Abwägung der Frage verwendet werden können, ob die projezierte Bandbreite von plausiblen Auswirkungen eine "gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems" gemäß Artikel 2 darstellt, sowie zur Abwägung von Anpassungsoptionen. Allerdings ist es bisher noch nicht möglich, einen Zusammenhang zwischen einzelnen Auswirkungen und bestimmten atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen nachzuweisen.

3.2 Die menschliche Gesundheit, die terrestrischen und aquatischen Ökosysteme sowie die sozioökonomischen Systeme (z.B. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei und Wasserressourcen) sind für die Entwicklung und das Wohlergehen der Menschen von lebenswichtiger Bedeutung; sie alle reagieren empfindlich auf Klimaänderungen. Während viele Regionen wahrscheinlich von nachteiligen Auswirkungen von Klimaänderungen—einige davon möglicherweise unumkehrbar—betroffen sein werden, werden einige Auswirkungen von Klimaänderungen wahrscheinlich vorteilhaft sein. Daher dürften verschiedene Teile der Gesellschaft mit unterschiedlichen Änderungen und der Notwendigkeit konfrontiert werden, sich an diese anzupassen.

3.3 Anthropogene Klimaänderungen bedeuten wesentlichen zusätzlichen Streß, vor allem für die zahlreichen ökologischen und sozioökonomischen Systeme, die bereits jetzt durch Verschmutzung, steigenden Ressourcenbedarf und nichtnachhaltige Nutzungspraktiken belastet sind. Die anfälligsten Systeme sind diejenigen mit der größten Sensitivität gegenüber Klimaänderungen und der geringsten Anpassungsfähigkeit daran. Die Anfälligkeit der menschlichen Gesundheit und der sozioökonomischen Systeme und, in einem geringeren Ausmaß, die der Ökosysteme hängt von den ökonomischen Bedingungen und der institutionellen Infrastruktur ab. Dies impliziert, daß Systeme in Entwicklungsländern im allgemeinen wegen der dort weniger günstigen ökonomischen und institutionellen Bedingungen anfälliger sind.

3.4 Obschon unser Wissen im Laufe des vergangenen Jahrzehnts wesentlich verbessert werden konnte und qualitative Einschätzungen gemacht werden können, sind quantitative Projektionen über die Auswirkungen von Klimaänderungen auf ein bestimmtes System an einem bestimmten Ort schwierig, weil Projektionen von Klimaänderungen im regionalen Maßstab unsicher sind, unser gegenwärtiges Verständnis vieler entscheidender Prozesse beschränkt ist und die Systeme vielfältigen klimatischen und nicht-klimatischen Belastungen ausgesetzt sind, deren Interaktionen sich nicht immer linear oder additiv verhalten, sowie weil die dynamischen Reaktionen auf stetig zunehmende Konzentrationen von Treibhausgasen oder die Folgen einer Erhöhung der äquivalenten CO_2-Konzentration in der Atmosphäre über eine Verdoppelung hinaus nur in einer sehr geringen Anzahl Studien untersucht wurden.

3.5 In den meisten ökologischen und sozialen Systemen wird es in den kommenden Jahrzehnten äußerst schwierig sein, Änderungen eindeutig als klimabedingt zu identifizieren. Dies ist in der Komplexität dieser Systeme, in ihren zahlreichen, nichtlinearen Rückkopplungen und ihrer Sensitivität gegenüber einer großen Anzahl klimatischer und nicht-klimatischer Faktoren begründet, welche sich gleichzeitig weiter verändern werden. Je weiter sich das zukünftige Klima von den Grenzen der empirischen Erkenntnisse entfernt (d.h. von den dokumentierten Auswirkungen der Klimavariabilität in der Vergangenheit), um so wahrscheinlicher ist, daß die tatsächlichen Folgen von Überraschungen und unvorhergesehenen, schnellen Änderungen begleitet sein werden.

Sensitivität von Systemen

Terrestrische und aquatische Ökosysteme

3.6 Die Ökosysteme enthalten das gesamte Reservoir der genetischen und der Artenvielfalt der Erde und stellen viele für Individuen und die Gesellschaft wesentliche Güter und Dienstleistungen bereit. Diese Güter und Dienstleistungen umfassen: 1. Lieferung von Nahrung, Fasern, Heilmitteln und Energie; 2. Verarbeitung und Lagerung von Kohlenstoff und anderen Nährstoffen; 3. Assimilierung von Abfällen, Reinigung von Wasser, Regulierung von Abflußmengen und die Kontrolle von Überschwemmungen, des Auslaugens von Böden und der Erosion von Stränden; 4. Bereitstellung von Freizeit- und Tourismusgelegenheiten. Die Zusammensetzung und die geographische Verteilung vieler Ökosysteme wird sich je nach der Reaktion einzelner Arten auf Klimaänderungen verlagern; die Artenvielfalt sowie die Güter und Dienstleistungen, welche Ökosysteme unserer Gesellschaft bereitstellen, werden sich vermindern. Einige Ökosysteme dürften über mehrere Jahrhunderte keinen neuen Gleichgewichtszustand erreichen, nachdem das Klima ein neues Gleichgewicht erreicht hat. Dieser Abschnitt illustriert die Auswirkungen von Klimaänderungen auf einige ausgewählte Ökosysteme:

3.7. **Wälder:** Modelle projezieren, daß infolge möglicher Temperaturänderungen und veränderter Wasserverfügbarkeit unter Bedingungen eines Gleichgewichts bei verdoppelter äquivalenter[8] Kohlendioxidkonzentration ganze Vegetationstypen in einem wesentlichen Anteil der bestehenden Waldfläche der Erde (im globalen Mittel ein Drittel, je nach Region zwischen einem Siebtel und zwei Dritteln variierend) großen Änderungen unterworfen sein werden, wobei die größten Änderungen in den hohen Breiten und die geringsten in den Tropen eintreten werden. Es ist zu erwarten, daß das Klima sich—im Verhältnis zur Geschwindigkeit von Wachstum, Vermehrung und Wiederansiedelung von Waldarten—sehr

[8] S. Absatz 4.17 zur Erläuterung von "äquivalenter CO_2-Konzentration".

rasch ändern wird. Die Artenzusammensetzung in Wäldern wird sich daher wahrscheinlich verändern; ganze Waldtypen dürften verschwinden; es könnten sich neue Artenzusammensetzungen und somit neue Ökosysteme bilden. Während des Übergangs von einem Waldtypus zu einem anderen dürften große Mengen von Kohlenstoff in die Atmosphäre gelangen, da die Geschwindigkeit der Freisetzung von Kohlenstoff in Zeiten hoher Sterblichkeit von Wäldern höher ist als die der Einlagerung während der Wachstumsphase bis zur Reife.

3.8 **Wüsten und Wüstenbildung:** Wüsten werden wahrscheinlich extremer—insofern als projeziert wird, daß sie, mit einigen Ausnahmen, heisser aber nicht deutlich feuchter werden. Temperatursteigerungen könnten Organismen bedrohen, welche nahe ihrer Wärmetoleranzgrenzen existieren. Wüstenbildung—d.h. Landzerstörung in ariden, semiariden und trockenen subhumiden Gebieten infolge verschiedener Faktoren, einschließlich Klimaschwankungen und menschlicher Tätigkeiten—wird um so eher unumkehrbar, wenn die Umwelt trockener und der Boden durch Erosion oder Verdichtung weiter degradiert wird.

3.9 **Gebirgsökosysteme:** Es wird projeziert, daß sich die Höhenverteilung der Vegetation nach oben verlagert; einige Arten, die klimabedingt auf Berggipfeln leben, könnten aussterben, weil ihr Habitat verschwindet oder weil sie verringerte Migrationsmöglichkeiten haben.

3.10 **Aquatische und küstennahe Ökosysteme:** In Seen und Flüssen hätte die Erwärmung die größten biologischen Auswirkungen in den hohen Breiten, wo die biologische Produktivität zunähme, und in den niederen Breiten an den Grenzen der Lebensbereiche von in kaltem und kühlem Wasser vorkommenden Arten, wo am meisten Arten aussterben würden. Bei veränderten Temperaturen und Niederschlägen wird sich die geographische Verteilung von Feuchtgebieten wahrscheinlich verlagern. Küstensysteme sind ökonomisch und ökologisch wichtig; es wird projeziert, daß sie sehr unterschiedlich auf Änderungen des Klimas und des Meeresspiegels reagieren werden. Einige Ökosysteme an Küsten sind besonders anfällig, u.a. Salzsümpfe, Mangroven-Ökosysteme, Küstenfeuchtgebiete, Korallenriffe, Korallenatolle und Flußdeltas. Veränderungen bei diesen Ökosystemen würden schwerwiegende nachteilige Auswirkungen auf den Tourismus, die Süßwasserversorgung, die Fischerei und die Artenvielfalt haben.

Hydrologie und Management der Wasserressourcen

3.11 Modelle projezieren, daß von der bestehenden Gebirgsgletschermasse im Laufe der nächsten hundert Jahre ein Drittel bis die Hälfte verschwinden könnte. Die reduzierte Ausdehnung von Gletschern und die geringere Dicke von Schneedecken würden die jahreszeitliche Verteilung der Wassermenge in Flüssen und die Wasserversorgung für Wasserkraftwerke und die Landwirtschaft ebenfalls beeinflussen. Voraussichtliche Änderungen der Hydrologie und eine Reduktion von Ausdehnung und Dicke des Permafrosts könnten zu ausgedehnten Schäden bei der Infrastruktur, zu einer zusätzlichen Freisetzung von Kohlendioxid in die Atmosphäre und zu Änderungen bei den Prozessen führen, welche Methan in die Atmosphäre freisetzen.

3.12 Klimaänderungen werden zu einer Intensivierung des globalen hydrologischen Kreislaufes führen und können größere Auswirkungen auf die regionalen Wasservorkommen haben. Veränderungen der Gesamtmenge, der Häufigkeit sowie Intensität des Niederschlags haben direkte Auswirkungen auf Menge und zeitlichen Verlauf des Abflusses sowie die Intensität von Überschwemmungen und Dürren; allerdings sind gegenwärtig die einzelnen regionalen Auswirkungen unsicher. Relativ geringe Änderungen von Temperatur und Niederschlägen können, zusammen mit den nichtlinearen Auswirkungen auf die Evapotranspiration und die Bodenfeuchtigkeit, besonders in ariden und semiariden Gebieten zu relativ großen Änderungen der Abflußmenge führen. Die Wassermenge und die Wasserqualität sind bereits jetzt in vielen Regionen—u.a. in einigen tiefliegenden Küstengebieten, in Deltas und auf kleinen Inseln—ein ernsthaftes Problem, was die Länder in diesen Regionen besonders anfällig auf zusätzliche Reduktionen der einheimischen Wasserversorgung macht.

Landwirtschaft und Forstwesen

3.13 Die von Klimaänderungen ausgelösten Ertrags- und Produktivitätsänderungen werden in verschiedenen Regionen und an verschiedenen Orten sehr unterschiedlich ausfallen und somit die Produktionsmuster verändern. Es wird projeziert, daß die Produktivität in einigen Gebieten steigen, in anderen jedoch fallen wird, besonders in den Tropen und Subtropen. Bisherige Studien auf der Basis von Klimaänderungen, die unter den Gleichgewichtsbedingungen einer verdoppelten äquivalenten CO_2-Konzentration projeziert wurden, zeigen, daß die weltweite landwirtschaftliche Produktion im Verhältnis zur Produktion im Referenzfall zwar aufrechterhalten werden könnte, daß aber die Auswirkungen regional sehr unterschiedlich ausfallen würden. Diese Schlußfolgerung berücksichtigt die positiven Auswirkungen des Kohlendioxid-Düngungseffekts, nicht aber Veränderungen bei landwirtschaftlichen Schädlingen oder die möglichen Auswirkungen veränderlicher Klimavariabilität. Allerdings klammert der Blick auf die globale landwirtschaftliche Produktion die potentiell ernsthaften Konsequenzen der großen Unterschiede im lokalen und regionalen Maßstab aus, sogar in den mittleren Breiten. An einigen Orten dürfte die Gefahr von Hunger und Hungersnöten zunehmen; viele der ärmsten Menschen auf der Erde—besonders in den Subtropen und Tropen und solche, die in ariden und semiariden Gebieten von isolierten landwirtschaftlichen Systemen abhängig sind—sind am meisten von zunehmendem Hunger bedroht. Weltweit dürfte die Holzversorgung aufgrund klimatischer und nicht-klimatischer Faktoren im Laufe des kommenden Jahrhunderts immer weniger ausreichend sein, um die projezierte Nachfrage zu decken.

Menschliche Infrastruktur

3.14 Klimaänderungen werden die Anfälligkeit mancher Küstenpopulationen auf Überschwemmungen und den Landverlust durch Erosion ganz klar erhöhen. Schätzungen

zufolge sind derzeit jährlich rund 46 Millionen Menschen durch Überschwemmungen infolge von Sturmfluten gefährdet. Ohne Anpassungsmaßnahmen, und ohne das erwartete Bevölkerungswachstum einzubeziehen, würde diese Zahl durch ein Ansteigen des Meeresspiegels um 50 cm auf rund 92 Millionen erhöht; ein Anstieg um 1 m hätte die Gefährdung von 118 Millionen Menschen zur Folge. Studien, welche auf einer 1-m-Projektion beruhen, zeigen eine besondere Gefährdung für kleine Inseln und Deltas. Dieser Anstieg ist an der oberen Grenze der Schätzungen von IPCC-Arbeitsgruppe I für das Jahr 2100; allerdings sollte festgehalten werden, daß ein weiterer Anstieg des Meeresspiegels in den Jahrhunderten nach 2100 projeziert wird. Die unter Annahme der gegenwärtigen Küstenschutzsysteme geschätzten Landverluste reichen von 0,05% in Uruguay, 1,0% in Ägypten, 6% in den Niederlanden und 17,5% in Bangladesch bis zu rund 80% im Majuro-Atoll der Marschall-Inseln. Manche kleine Inselstaaten und andere Länder werden sich einer größeren Anfälligkeit ausgesetzt sehen, da ihre bestehenden Küstenschutzsysteme weniger gut ausgebaut sind. Länder mit hoher Bevölkerungsdichte wären ebenfalls anfälliger. Sturmfluten und Überschwemmungen könnten ganze Kulturen bedrohen. In diesen Ländern könnte ein Ansteigen des Meeresspiegels im Land selber oder international zur Migration von Bevölkerungsteilen führen.

Menschliche Gesundheit

3.15 Klimaänderungen werden wahrscheinlich vielfältige und im wesentlichen nachteilige Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben und zu einer bedeutenden Anzahl von Todesfällen führen. Direkte Auswirkungen für die Gesundheit umfassen ein Ansteigen der Sterblichkeit und von Erkrankungen (im wesentlichen Herz-, Gefäß- und Lungenerkrankungen) infolge der projezierten Zunahme der Intensität und Dauer von Hitzewellen. Ein Ansteigen der Temperaturen in kälteren Gebieten sollte eine geringere Anzahl von kältebedingten Todesfällen bewirken. Indirekte Auswirkungen von Klimaänderungen beinhalten eine Zunahme der potentiellen Übertragung von Infektionskrankheiten (z.B. Malaria, Denguefieber, Gelbfieber, gewisse Arten der viralen Hirnhautentzündung), welche auf einer geographischen Ausdehnung und einer längeren saisonalen Lebenszeit der Vektor-Organismen beruhen. Projektionen mit Modellen (welche notwendigerweise vereinfachte Annahmen bedingen) zeigen, daß ein globaler Temperaturanstieg um 3-5°C bis 2100 (im Vergleich zur IPCC-Projektion von 1-3,5°C bis zum Jahr 2100) zu einem potentiellen Anstieg der Malariahäufigkeit (in der Größenordnung von 50-80 Millionen zusätzlicher Fälle pro Jahr im Verhältnis zu einem angenommenen globalen Hintergrund von insgesamt 500 Millionen Fällen) führen könnte, und zwar vorwiegend bei tropischen und subtropischen Populationen sowie weniger gut geschützten Populationen der gemäßigten Zone. Nicht durch Vektoren ausgelöste Infektionskrankheiten—wie Salmonellose, Cholera und Giardiose—könnten teilweise infolge höherer Temperaturen und häufigerer Überschwemmungen ebenfalls ansteigen. Begrenzte Süßwasservorräte und nährstoffreiche Nahrungsmittel sowie die Verschlimmerung der Luftverschmutzung werden sich ebenfalls auf die menschliche Gesundheit auswirken.

3.16 Es ist schwierig, die projezierten Auswirkungen zu quantifizieren, denn das Ausmaß von klimabedingten gesundheitlichen Störungen hängt von zahlreichen, gleichzeitig existierenden und zusammenwirkenden Faktoren ab, welche die Anfälligkeit der jeweiligen Bevölkerung beschreiben. Dazu zählen der Zustand der Umwelt, sozioökonomische Bedingungen, Ernährungs- und Immunitätszustand, Bevölkerungsdichte und Verfügbarkeit gut ausgebauter Gesundheitseinrichtungen. Populationen mit unterschiedlichen Niveaus von natürlichen, technischen und sozialen Ressourcen wären deshalb unterschiedlich anfällig auf Gesundheitsstörungen, die auf Klimaänderungen zurückzuführen sind.

Technologien und Anpassungsoptionen

3.17 Technologische Fortschritte haben im allgemeinen die Anpassungsoptionen für bewirtschaftete Systeme verbessert. Anpassungsoptionen bei der Süßwasserversorgung sind z.B. ein effizienteres Management der bestehenden Versorgung und Infrastruktur, institutionelle Vereinbarungen zur Einschränkung des zukünftigen Bedarfs sowie zur Steigerung von Einsparungen, verbesserte Überwachungs- und Vorhersagesysteme für Überschwemmungen/Dürren, Wiederherstellung von Entwässerungsgebieten (vor allem in den Tropen) sowie Bau neuer Reservoirkapazitäten. Anpassungsoptionen in der Landwirtschaft—z.B. andere Kulturen und Sorten, verbessertes Wassermanagement, verbesserte Bewässerungssysteme, veränderte Anbauzeiten und Methoden der Bodenbestellung—werden für die Begrenzung der nachteiligen Auswirkungen und für die Nutzung der positiven Auswirkungen von Klimaänderungen wesentlich sein. Eine wirksame Bewirtschaftung der Küstenzonen und Landnutzungsregeln können dazu beitragen, Populationsverlagerungen von anfälligen Gebieten (z.B. Überschwemmungsgebiete, steile Abhänge und tiefliegende Küstengebiete) wegzulenken. Anpassungsoptionen zur Reduktion der Auswirkungen auf die Gesundheit umfassen u.a. Schutztechnologien (z.B. Wohnungsbau, Klimaanlagen, Wasserreinigung, Impfungen), gute Vorbereitung auf Katastrophen und angemessene Gesundheitseinrichtungen.

3.18 Allerdings haben zahlreiche Regionen der Welt gegenwärtig nur beschränkten Zugang zu diesen Technologien und zu den entsprechenden Informationen. Für manche Inselstaaten wären die hohen Kosten für angemessene Schutzvorrichtungen unerschwinglich, vor allem angesichts der beschränkten Verfügbarkeit von Investitionskapital. Die Wirksamkeit und der kostengünstige Einsatz von Anpassungsstrategien wird von der Verfügbarkeit finanzieller Mittel, vom Technologietransfer sowie—national und international—von Verfahren in den Bereichen Kultur, Bildung, Verwaltung, Institutionen, Recht sowie Vorschriften abhängen. Das Einbeziehen sowohl von Überlegungen zu Klimaänderungen in Entscheidungen zur Nutzung und Entwicklung von Ressourcen sowie von Plänen für regelmässig wiederkehrende Investitionen in die Infrastruktur wird eine Anpassung vereinfachen.

EIN ANALYTISCHER ANSATZ FÜR DIE STABILISIERUNG VON TREIBHAUSGASKONZENTRATIONEN IN DER ATMOSPHÄRE

4

4.1 Artikel 2 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen bezieht sich explizit auf die "Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre". Dieser Abschnitt enthält Informationen über die relative Bedeutung verschiedener Treibhausgase für den Klimaantrieb sowie die Diskussion, wie Emissionen von Treibhausgasen geändert werden könnten, um eine Stabilisierung auf ausgewählten Niveaus von atmosphärischen Konzentrationen zu erreichen.

4.2 Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (N_2O) sind sowohl natürlichen als auch anthropogenen Ursprungs. Die anthropogenen Emissionen dieser Gase haben zu rund 80% zum zusätzlichen Klimaantrieb infolge von Treibhausgasen seit vorindustrieller Zeit (d.h. seit rund 1750) beigetragen. Der Anteil von CO_2 beträgt rund 60% dieses Antriebs, rund das Vierfache von CH_4.

4.3 Andere Treibhausgase sind u.a. das troposphärische Ozon (dessen chemische Vorläufersubstanzen Stickoxide, nichtmethanhaltige, flüchtige organische Verbindungen und Kohlenmonoxid einschließen), halogenierte Kohlenwasserstoffe[9] (einschließlich HFCKW und HFKW) sowie Schwefelhexafluorid (SF_6). Troposphärische Aerosole und troposphärisches Ozon sind räumlich und zeitlich inhomogen verteilt, und ihre Lebensdauer in der Atmosphäre ist kurz (Tage bis Wochen). Sulfataerosole sind abhängig von Minderungsmaßnahmen; solche Maßnahmen werden in den IPCC-Szenarien angenommen.

4.4 Die meisten Emissionsszenarien zeigen an, daß die Emissionen von Treibhausgasen ohne Abschwächungspolitiken im Verlaufe des kommenden Jahrhunderts weiter ansteigen werden. Es wird projeziert, daß sich das Klima durch die daraus resultierenden Treibhausgaskonzentrationen bis zum Jahr 2100 stärker ändert als durch eine Verdoppelung der vorindustriellen Kohlendioxidkonzentrationen.

Stabilisierung von Treibhausgasen

4.5 In bezug auf die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen müssen alle relevanten Treibhausgase berücksichtigt werden. Kohlendioxid wird als erstes betrachtet, weil es wegen seiner Bedeutung und seines komplizierten Verhaltens einer detaillierteren Betrachtung bedarf als die anderen Treibhausgase.

Kohlendioxid

4.6 Kohlendioxid wird aus der Atmosphäre durch eine Anzahl von Prozessen entfernt, welche in unterschiedlichen Zeiträumen ablaufen. Es hat eine relativ lange Verweilzeit im Klimasystem—von der Größenordnung von einem Jahrhundert oder länger. Wenn die globalen anthropogenen Nettoemissionen[10] (d.h. die anthropogenen Quellen minus die anthropogenen Senken) auf dem heutigen Niveau stabilisiert werden könnten (rund 7 GtC/Jahr, einschließlich Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe, der Zementproduktion und Landnutzungsänderungen), würde dies während mindestens zwei Jahrhunderten zu einer etwa konstanten Zuwachsrate der atmosphärischen Konzentrationen führen. Gegen Ende des 21. Jahrhunderts würden diese etwa 500 ppmv erreichen (knapp das Doppelte der vorindustriellen Konzentration von 280 ppmv). Modelle des Kohlenstoffkreislaufes zeigen, daß die sofortige Stabilisierung der Kohlendioxidkonzentration auf dem heutigen Niveau nur durch eine sofortige Reduktion der Emissionen um 50-70% und durch anschließende weitere Reduktionen erreicht werden könnte.

4.7 Modelle des Kohlenstoffkreislaufes wurden für die Abschätzung von Profilen der Kohlendioxidemissionen für eine Stabilisierung auf verschiedenen Niveaus der Kohlendioxidkonzentration eingesetzt. Solche Profile wurden für eine beispielhafte Reihe von Niveaus generiert: 450, 550, 650, 750 und 1000 ppmv. Abb. 1 zeigt je zwei der vielen möglichen Pfade zur Stabilisierung auf den Niveaus von 450, 550, 650 und 750 ppmv und einen für 1000 ppmv. Es wird projeziert, daß sich das Klima um so rascher ändert, je steiler die Emissionszunahme (und somit die Konzentration) in diesen Szenarien ist.

4.8 Bis die Konzentrationen stabilisiert sind, hängen sie stärker von den ab heute bis zum Zeitpunkt der Stabilisierung akkumulierten anthropogenen Kohlendioxidemissionen ab, als vom Verlauf der Emissionsänderung in diesem Zeitraum. Dies bedeutet, daß—für einen bestimmten Wert der stabilisierten Konzentration—höhere Emissionen in früheren Jahrzehnten später niedrigere Emissionen erfordern. Die diesen Stabilisierungsniveaus entsprechenden akkumulierten Emissionen im Zeitraum von 1991 bis 2100 sind aus Tabelle 1 ersichtlich, zusammen mit den akkumulierten Kohlendioxidemissionen für alle IPCC-IS92-Emissionsszenarien (s. Tabelle 1 in der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger der IPCC-Arbeitsgruppe II sowie Abbildung 2 für Einzelheiten dieser Szenarien).

[9] Die meisten halogenierten Kohlenwasserstoffe, aber weder die wasserstoffhaltigen Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW), noch die perfluorierten Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), werden im Montrealer Protokoll und seinen Anpassungen und Änderungen geregelt.

[10] Im restlichen Abschnitt 4 wird "globale anthropogene Nettoemissionen" (d.h. die anthropogenen Quellen minus die anthropogenen Senken) als "Emissionen" abgekürzt.

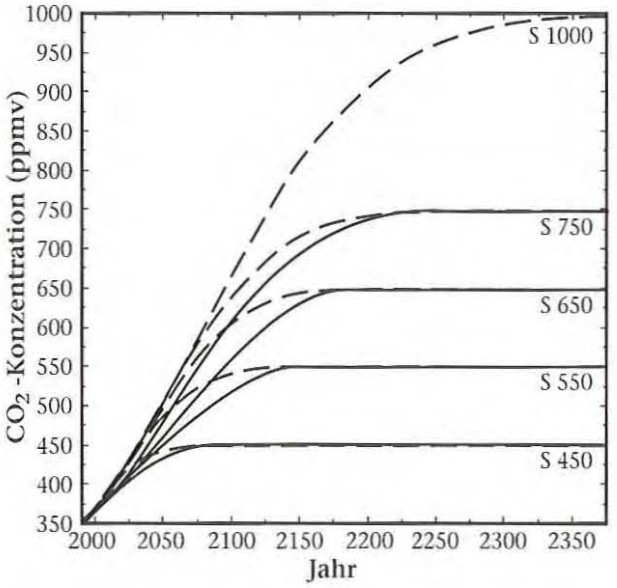


Abbildung 1 (a): Profile der Kohlendioxidkonzentrationen, die auf den in IPCC (1994) definierten Pfaden (durchgezogene Kurven) und auf den Pfaden, die mindestens bis zum Jahr 2000 dem Szenario IS92a folgen (gestrichelte Kurven), zu einer Stabilisierung bei 450, 550, 650 und 750 ppmv führen. Ein einzelnes Profil, das zu einer Stabilisierung bei 1000 ppmv führt und den IS92a-Emissionen bis mindestens zum Jahr 2000 folgt, wurde ebenfalls definiert. Die Stabilisierung bei Konzentrationen von 450, 650 und 1000 ppmv würde zu einem Anstieg der Gleichgewichtstemperatur relativ zu 1990[11] allein durch Kohlendioxid (d.h. die Auswirkungen anderer Treibhausgase und Aerosole ausgenommen) von rund 1°C (Bereich: 0,5-1,5°C), 2°C (Bereich: 1,5-4°C) oder 3,5°C (Bereich: 2-7°C) führen. Eine Verdoppelung der vorindustriellen Kohlendioxidkonzentration von 280 ppmv würde zu einer Konzentration von 560 ppmv führen, eine Verdoppelung der gegenwärtigen Konzentration von 358 ppmv zu einer Konzentration von rund 720 ppmv.

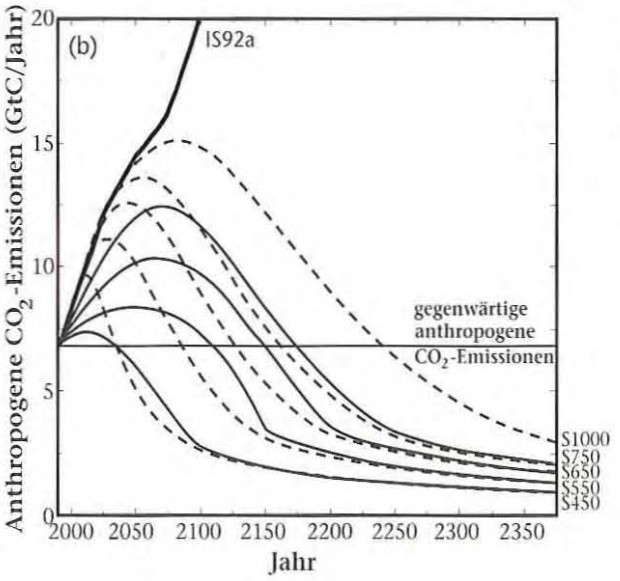


Abbildung 1 (b): Kohlendioxidemissionen, die zu einer Stabilisierung bei Konzentrationen von 450, 550, 650, 750 und 1000 ppmv führen, wobei sie den in (a) gezeigten Profilen aus einem im mittleren Bereich liegenden Kohlenstoffkreislauf-Modell folgen. Die Ergebnisse aus anderen Modellen könnten von den hier dargestellten um bis zu ca. ±15% abweichen. Zum Vergleich werden auch die Kohlendioxidemissionen für IS92a und die gegenwärtigen Emissionen (dünne durchgezogene Linie) gezeigt.

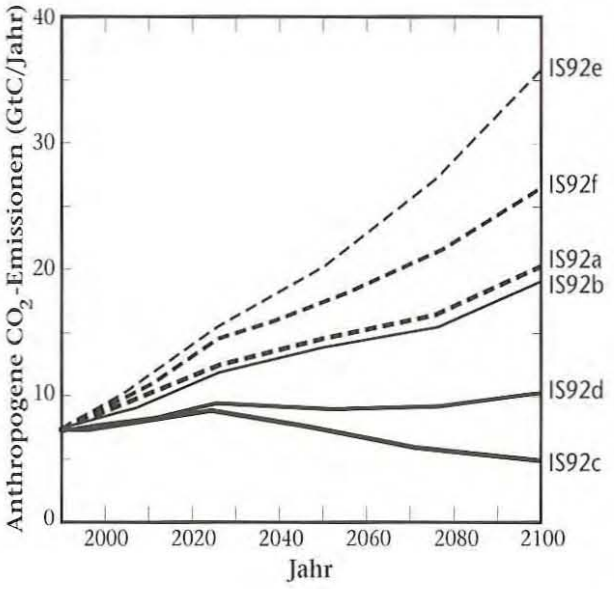


Abbildung 2: Jährliche anthropogene Kohlendioxidemissionen für die IS92-Emissionsszenarien (weitere Einzelheiten s. Tabelle 1 in der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger der IPCC Arbeitsgruppe II).

[11] Der Temperaturanstieg (0.1 bis 0.7°C), welcher nach 1990 infoge von CO_2-Emissionen vor 1990 erfolgen würde, ist in diesen Zahlen nicht berücksichtigt.

	Akkumulierte Kohlendioxidemissionen 1991 bis 2100 (GtC)§	
IS92 Szenarien		
c	770	
d	980	
b	1430	
a	1500	
f	1830	
e	2190	
Stabilisierungsfall	Für Profile A*	Für Profile B†
450 ppmv	630	650
550 ppmv	870	990
650 ppmv	1030	1190
750 ppmv	1200‡	1300‡
1000 ppmv	—	1410‡

§ Zum Vergleich: In der Zeit von 1860 bis 1994 betrugen die Emissionen rund 360 GtC, wovon rund 240 GtC dem Verbrauch fossiler Brennstoffe und rund 120 GtC der Entwaldung und Landnutzungsänderungen zuzuschreiben waren.
* Wie in IPCC (1994) — s. Abbildung 1 (a) (durchgezogene Kurven).
† Profile, die es erlauben, dass die Emissionen mindestens bis zum Jahr 2000 dem IPCC-Szenario IS92a folgen — s. Abbildung 1 (a) (gestrichelte Kurven).
‡ Die Konzentrationen werden sich bis 2100 nicht stabilisiert haben.

Tabelle 1: Gesamte anthropogene Kohlendioxidemissionen, akkumuliert von 1991 einschließlich 2100 (GtC), für die IS92-Szenarien (s. Tabelle 1 in der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger der IPCC Arbeitsgruppe II) und für eine Stabilisierung auf verschiedenen Niveaus der Kohlendioxidkonzentration, den in Abbildung 1(a) dargestellten zwei Sätzen von Pfaden folgend. Die akkumulierten Emissionen, welche zu einer Stabilisierung der Kohlendioxidkonzentration führen, wurden anhand eines im mittleren Bereich liegenden Kohlenstoffkreislaufmodells errechnet. Die Ergebnisse aus anderen Modellen könnten von den hier dargestellten um bis zu ca. 15% nach oben oder nach unten abweichen.

4.9 Abbildung 1 und Tabelle 1 werden dargestellt, um einige der Einschränkungen von zukünftigen Kohlendioxidemissionen klarzustellen, wenn die Stabilisierung auf den dargestellten Konzentrationsniveaus erreicht werden soll. Diese Beispiele stellen weder eine Empfehlung dar über die Art, wie solche Stabilisierungsniveaus erreicht werden könnten, noch darüber, welches Stabilisierungsniveau ausgewählt werden könnte.

4.10 Bei gegebenen kumulativen Emissionen und IPCC-IS92a-Bevölkerungs- und Ökonomieszenarien für 1990-2100 können die globalen Kohlendioxidemissionen im jährlichen Durchschnitt für die Stabilisierungsszenarien auf einer Pro-Kopf-Basis oder pro Einheit Wirtschaftsaktivität abgeleitet werden. Wenn die atmosphärische Konzentration unter 550 ppmv bleiben soll, dürfen im kommenden Jahrhundert die zukünftigen globalen Emissionen im jährlichen Durchschnitt das gegenwärtige globale Mittel nicht übersteigen und müßten vor Ende des nächsten Jahrhunderts und darüber hinaus viel niedriger sein. Für Stabilisierungsniveaus von 750 bis 1000 ppmv könnten die globalen Emissionen im jährlichen Durchschnitt höher sein. Dennoch müßten die globalen Emissionen, um sogar diese letzteren Stabilisierungsniveaus zu erreichen, im jährlichen Durchschnitt pro Einheit Wirtschaftsaktivität pro Kopf weniger als 50% über den gegenwärtigen Niveaus liegen oder weniger als die Hälfte des gegenwärtigen Niveaus betragen.[12]

4.11[13] Die globalen Pro-Kopf-Emissionen von Kohlendioxid im jährlichen Durchschnitt infolge Verbrennung fossiler Brennstoffe betragen gegenwärtig rund 1,1 t (als Kohlenstoff). Zusätzlich werden netto rund 0,2 t pro Kopf aufgrund von Entwaldung und Landnutzungsänderungen emittiert. Die durchschnittliche jährliche Pro-Kopf-Emission infolge fossiler Brennstoffe beträgt in entwickelten Ländern und Ländern mit Marktwirtschaften im Übergang rund 2,8 t, mit einer Bandbreite von 1,5 bis 5,5 t. Die Zahl für Entwicklungsländer ist 0,5 t, mit einer Bandbreite von 0,1 t bis—in einigen wenigen Fällen—über 2,0 t (alle Zahlen für 1990).

4.12[14] Gemäß den Weltbankschätzungen des BIP (Bruttoinlandproduktes) zu marktüblichen Wechselkursen betragen die gegenwärtigen globalen Emissionen von energiebezogenem Kohlendioxid im jährlichen Durchschnitt rund 0,3 t pro tausend US-Dollars (1990). Zusätzlich betragen die globalen Nettoemissionen aus Landnutzungsänderungen rund 0,05 t pro tausend US-Dollars (1990). Die gegenwärtigen energiebedingten Emissionen im jährlichen Durchschnitt pro tausend US-Dollars (1990), zu marktüblichen Wechselkursen bewertet, betragen rund 0,27 t in entwickelten Ländern und Ländern mit Marktwirtschaften im Übergang sowie rund 0,41 t in Entwicklungsländern. Gemäß den Weltbankschätzungen des BIP zu kaufkraftparitätischen Wechselkursen betragen die gegenwärtigen energiebedingten Emissionen im jährlichen Durchschnitt rund 0,26 t pro tausend US-Dollars (1990) in entwickelten Ländern und Ländern mit Marktwirtschaften im Übergang sowie rund 0,16 t in Entwicklungsländern.[15]

Methan

4.13 Die atmosphärischen Methankonzentrationen passen sich innerhalb von 9 bis 15 Jahren an Änderungen der anthro-

[12] China brachte zum Ausdruck, dass es nicht einverstanden ist, dass Kohlendioxidemissionen pro Einheit Wirtschaftsaktivität verwendet wird.

[13] Der Ausschuss war sich einig, dass dieser Absatz die laufenden Verhandlungen unter dem Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen nicht präjudizieren soll.

[14] Der Ausschuss war sich einig, dass dieser Absatz die laufenden Verhandlungen unter dem Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen nicht präjudizieren soll.

[15] Diese Emissionsberechnungen pro Einheit Wirtschaftsaktivität schliessen die Emissionen auf Landnutzungsänderungen oder Anpassungen, welche die informelle Wirtschaft widerspiegeln, nicht ein.

pogenen Emissionen an. Wenn die jährlichen Methanemissionen sofort um rund 30 Tg CH_4 (rund 8% der gegenwärtigen anthropogenen Emissionen) reduziert würden, blieben die Methankonzentrationen auf dem heutigen Niveau. Sollten die Methanemissionen auf dem gegenwärtigen Niveau konstant bleiben, würden die Konzentrationen (1720 ppbv im Jahre 1994) in den nächsten 40 Jahren auf rund 1820 ppbv ansteigen.

Stickoxid

4.14 Stickoxid hat eine lange Lebensdauer (rund 120 Jahre). Damit die Konzentration auf ungefähr dem heutigen Niveau (312 ppbv im Jahre 1994) stabilisiert werden kann, müßten die anthropogenen Quellen sofort um über 50% reduziert werden. Würden die Stickoxidemissionen auf dem heutigen Niveau konstant gehalten, stiege die Konzentration über mehrere hundert Jahre auf rund 400 ppbv an, was deren zusätzlichen Strahlungsantrieb um den Faktor vier über das gegenwärtige Niveau steigern würde.

Weitere Aspekte der Stabilisierung

4.15 Die Konzentrationen sehr langlebiger Gase wie SF_6 oder perfluorierte Kohlenwasserstoffe können nur effektiv stabilisiert werden, wenn diese Gase nicht mehr emittiert werden.

4.16 Im Verhältnis zu den anderen Treibhausgasen nimmt die Bedeutung des Anteils von CO_2 am Klimaantrieb im Verlauf der Zeit in allen IS92-Emissionsszenarien (a bis f) zu. Zum Beispiel steigt der Anteil von CO_2 im IS92a-Szenario von gegenwärtig 60% auf rund 75% bis zum Jahr 2100 an. Im gleichen Zeitraum nehmen die Antriebe von Methan und Distickstoffoxid absolut gesehen um einen Faktor zwischen zwei und drei zu.

4.17 Die kombinierte Wirkung aller Treibhausgase auf den Strahlungsantrieb wird oft als äquivalente Kohlendioxidkonzentration ausgedrückt, welche denselben Antrieb bewirken würde. Infolge der Wirkungen anderer Treibhausgase impliziert eine Stabilisierung auf einem bestimmten Niveau der äquivalenten Kohlendioxidkonzentration, daß die Kohlendioxidkonzentration auf einem tieferen Niveau stabilisiert werden muß.

4.18 Die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen impliziert nicht, daß es keine weiteren Klimaänderungen mehr geben wird. Nach Erreichung dieser Stabilisierung würden die globale mittlere bodennahe Lufttemperatur während einigen Jahrhunderten und der Meeresspiegel während vielen Jahrhunderten weiterhin ansteigen.

TECHNOLOGISCHE UND POLITISCHE ABSCHWÄCHUNGSOPTIONEN 5

5.1 Der Zweite Sachstandsbericht von IPCC (1995) untersucht eine große Anzahl von Ansätzen, wie Emissionen von Treibhausgasen verringert und Senken erweitert werden könnten. Dieser Abschnitt liefert technische Informationen über Optionen für die Verringerung der anthropogenen Emissionen und die Erweiterung der Senken für die wichtigsten Treibhausgase im Hinblick darauf, deren atmosphärische Konzentrationen zu stabilisieren. Allerdings versucht die vorliegende Analyse nicht, die potentiellen makroökonomischen Folgen zu quantifizieren, welche mit Abschwächungspolitiken verbunden sein könnten.

5.2 Bedeutende Reduktionen der Nettoemissionen von Treibhausgasen sind technisch möglich und können ökonomisch vernünftig sein. Diese Reduktionen können durch den Einsatz einer Vielzahl von Technologien und durch politische Maßnahmen erreicht werden, welche die technologische Entwicklung, Verbreitung und den Transfer in allen Sektoren, einschließlich Energie, Industrie, Verkehr, Haushalte/Kleinverbraucher sowie Land- und Forstwirtschaft beschleunigen.

5.3 Das Ausmaß, in welchem das technische Potential ausgeschöpft und Kostengünstigkeit verwirklicht werden, hängt von Initiativen ab, mit denen einem Mangel an Information begegnet und kulturelle, institutionelle, rechtliche, finanzielle und ökonomische Hemmnisse überwunden werden sollen, welche der Verbreitung von Technologien oder Verhaltensänderungen im Wege stehen.

5.4 Bis zum Jahr 2100 wird das kommerzielle Energiesystem der Erde mindestens zwei Mal ersetzt worden sein, was Gelegenheiten bietet, es ohne vorzeitige Stillegung von Kapitalgütern zu ändern; bedeutende Mengen von Kaptialgütern in den Sektoren Industrie, Kleinverbrauch, Haushalte sowie Landwirtschaft und Forstwirtschaft werden ebenfalls ersetzt. Diese Kapitalersatzzyklen bieten Gelegenheiten, neue Technologien mit besserer Leistung einzusetzen.

Energiebedarf

5.5 IPCC (1992, 1994) projeziert, daß es in den Sektoren Industrie, Verkehr sowie Kleinverbraucher und Haushalte

ohne politische Eingriffe zu bedeutenden Emissionssteigerungen kommen könnte. Zahlreiche Studien zeigen, daß es vernünftig ist, durch technische Einsparungsmaßnahmen und verbessertes Management über die kommenden zwei bis drei Jahrzehnte in allen Sektoren in vielen Teilen der Erde die Energieeffizienz um 10-30% über den gegenwärtigen Stand zu negativen[16] oder keinen Kosten zu steigern. Im gleichen Zeitraum wäre in vielen Ländern eine Effizienzsteigerung von 50-60% technisch möglich, wenn die gegenwärtig energieeffizientesten Technologien eingesetzt würden. Ob diese Potentiale ausgeschöpft werden, hängt von zukünftigen Kostensenkungen, Finanzierung und Technologietransfer ab sowie von Maßnahmen zur Überwindung einer Vielzahl von nicht-technischen Hemmnissen. Da der Energieverbrauch weltweit zunimmt, könnte sogar der Ersatz der gegenwärtigen durch effizientere Technologien noch zu einem absoluten Anstieg der künftigen Emissionen von Treibhausgasen führen. In den Energieendverbrauchssektoren bestehen u.a. folgende Technologien und Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen:

- *Industrie*: Steigerung der Effizienz, Materialrecycling und Umsteigen auf Materialien, die mit geringeren Emissionen von Treibhausgasen verbunden sind, sowie die Entwicklung von weniger energie- und materialaufwendigen Prozessen.
- *Verkehr*: Einsatz leichtgewichtiger Fahrzeuge mit sehr effizientem Antrieb und von Modellen mit geringem Luftwiderstand; Einsatz kleinerer Fahrzeuge; veränderte Landnutzung, Verkehrssysteme, Mobilitätsmuster und Lebensweisen; Umsteigen auf weniger energieintensive Verkehrsarten; Einsatz alternativer Energieträger und von Elektrizität aus erneuerbaren Quellen und aus Quellen, welche die atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen nicht steigern.
- *Kleinverbraucher/Haushalte*: Reduktionen der Wärmeverluste durch Gebäudehüllen sowie effizientere Klimaanlagen und Wasserversorgungssysteme, Beleuchtungen und Geräte.

Energieversorgung

5.6 Es ist technisch möglich, in den nächsten 50 bis 100 Jahren durch alternative Strategien im Energieversorgungssektor deutliche Emissionsreduktionen zu realisieren, und zwar im Gleichschritt mit den normalen Investitionen für den Ersatz von Infrastruktur und Einrichtungen, wenn diese abgenutzt oder veraltet sind. Unter den vielversprechenden Ansätzen befinden sich folgende, nicht nach Priorität geordnete Möglichkeiten:

(*a*) Treibhausgasreduktionen bei der Verwendung fossiler Brennstoffe:
- Effizientere Umwandlung fossiler Brennstoffe (z.B. kombinierte Erzeugung von Wärme und Strom und effizientere Stromerzeugung),
- Umsteigen auf fossile Brennstoffe mit geringem Kohlenstoffgehalt, Verhinderung von Emissionen (Umsteigen von Kohle auf Erdöl oder Erdgas sowie von Erdöl auf Erdgas),
- Entkohlung von Abgasen und Brennstoffen sowie Kohlendioxidlagerung (z.B. Entfernung und Lagerung von CO_2 aus der Verwendung fossiler Brennstoffe zur Erzeugung wasserstoffreicher Energieträger),
- Reduktion von flüchtigen Emissionen, insbesondere von Methan, aus der Gewinnung und Verteilung von Brennstoffen.

(*b*) Umsteigen auf nicht-fossile Energieträger:
- Umsteigen auf nukleare Energie (wenn allgemein akzeptable Antworten auf Probleme wie Reaktorsicherheit, Transport und Lagerung von radioaktiven Abfällen und nukleare Verbreitung gefunden werden können),
- Umsteigen auf erneuerbare Energiequellen (Sonnen-, Biomasse-, Wind- und geothermische Energie sowie Wasserkraft).

Integration von Abschwächungsoptionen im Energiesystem

5.7 Das Potential für die Reduktion von Emissionen von Treibhausgasen übertrifft dank der Möglichkeit, auf andere Brennstoffe und Energiequellen umzusteigen, dasjenige für effizienteren Energieverbrauch. Noch größere Energieeffizienz, und somit verringerte Emissionen von Treibhausgasen, könnten durch umfassende Ketten von der Energiequelle bis zum Endverbraucher erreicht werden.

5.8 Um die potentiellen Auswirkungen von Kombinationen individueller Maßnahmen auf der Ebene des Energiesystems abschätzen zu können, wurden "Gedankenexperimente" vorgestellt, welche Varianten für ein "wenig CO_2-emittierendes Energieversorgungssystem" untersuchen. Diese Varianten illustrieren die technische Möglichkeit deutlicher Reduktionen der CO_2-Emissionen aus dem Energieversorgungssystem in den nächsten 50 bis 100 Jahren unter Einsatz alternativer Strategien. Diese Experimente weisen auf die technische Möglichkeit hin, die jährlichen globalen CO_2-Emissionen von 6 GtC im Jahre 1990 auf rund 4 GtC pro Jahr bis 2050 und auf rund 2 GtC pro Jahr bis 2100 zu reduzieren. Die kumulativen CO_2-Emissionen von 1990 bis 2100 würden in diesen Konstruktionen im Bereich zwischen rund 450 bis rund 470 GtC liegen, womit die atmosphärischen Konzentrationen unter 500 ppmv blieben.

5.9 Im Verhältnis zu den Kosten für konventionelle Energien hängen die Energiekosten für integrierte Energiedienstleistungen von den relativen zukünftigen Energiepreisen, die in einem großen Bereich unsicher sind, sowie von den für alternative Technologien angenommenen Leistungen und Kosten ab. Allerdings würden innerhalb des großen Bereichs zukünftiger Energiepreise eine oder mehrere Varianten realistischerweise die geforderten Energiedienstleistungen zu geschätzten Kosten erbringen können, welche ungefähr den geschätzten zukünftigen Kosten für heutige konventionelle Energien entsprechen. Es ist nicht möglich, längerfristig ein künftiges Energiesystem mit den geringsten Kosten zu bestimmen, da die relativen Kosten der Optionen von unvollständig bekannten Ressourcen-

[16] Negative Kosten bedeuten einen wirtschaftlichen Nutzen.

beschränkungen und technologischen Möglichkeiten sowie von den Aktivitäten von Regierungen und des privaten Sektors abhängen. Ohne gesteigerte Energieeffizienz sowie substantielle und dauerhafte Investitionen in Forschung, Entwicklung und Demonstration, um den Transfer und die Verbreitung alternativer Energieversorgungstechnologien und Energieeffizienzsteigerungen zu fördern, können deutliche Reduktionen von Treibhausgasemissionen nicht erreicht werden. Viele der jetzt in Entwicklung begriffenen Technologien bräuchten anfängliche Unterstützung, um in den Markt Eingang zu finden und um ein genügendes Volumen und somit geringere Kosten zu erreichen, um konkurrenzfähig zu werden.

5.10 Die Marktdurchdringung und dauerhafte Akzeptanz verschiedener Energietechnologien hängen letztlich von ihren relativen Kosten, Leistungen (einschließlich die umweltbezogenen), von institutionellen Vereinbarungen sowie von Vorschriften und Politiken ab. Da die Kosten je nach Ort und Anwendung unterschiedlich sind, schaffen die sehr verschiedenen Bedingungen anfängliche Gelegenheiten für neue Technologien, auf den Markt zu kommen. Ein besseres Verständnis der Möglichkeiten für Emissionsreduktionen würde eine detailliertere Analyse der Optionen unter Einbezug lokaler Bedingungen voraussetzen.

Emissionen aus industriellen Prozessen und menschlichen Siedlungen

5.11 Wesentliche Reduktionen sind in einigen Fällen möglich bei der prozeßbedingten Freisetzung von Treibhausgasen, einschließlich CO_2, CH_4, N_2O, halogenierte Kohlenwasserstoffe und SF_6, während der Fabrikation und bei industriellen Prozessen (z.B. der Herstellung von Eisen, Stahl, Aluminium, Ammoniak, Zement und anderen Materialien). Maßnahmen umfassen u.a. veränderte Herstellungsprozesse, das Eliminieren von Lösungsmitteln, den Ersatz von Rohstoffen oder Verbrauchsmaterialien, gesteigertes Recycling und reduzierten Verbrauch treibhausgasintensiver Materialien. Die Rückhaltung und Nutzung von Methan aus Deponien und Abwasserreinigungsanlagen sowie ein verringertes Entweichen von Kühlmitteln, die halogenierte Kohlenwasserstoffe enthalten, aus mobilen und stationären Quellen kann ebenfalls zu wesentlichen Reduktionen von Emissionen von Treibhausgasen führen.

Landwirtschaft, Weideland und Forstwirtschaft

5.12 Über die Nutzung von Brennstoffen aus Biomasse als Ersatz fossiler Brennstoffe hinaus kann die Bewirtschaftung von Wäldern, Feldern und Weideland bei der Reduktion der gegenwärtigen Emissionen von Kohlendioxid, Methan und Distickstoffoxid (Lachgas) sowie beim Ausbau der Kohlenstoffsenken eine wichtige Rolle spielen. Eine Anzahl von Maßnahmen könnte im Verlauf der nächsten 50 Jahre beträchtliche Mengen an Kohlenstoff (rund 60-90 GtC allein im Forstwirtschaftssektor) erhalten und binden. Maßnahmen im Forstwirtschaftssektor umfassen u.a. die Erhaltung bestehender Wälder, Verlangsamung der Entwaldung, Regeneration von natürlichen Wäldern, Einrichtung von Baumpflanzungen, und Förderung der Agroforstwirtschaft. Andere Verfahren im Landwirtschaftssektor könnten Emissionen anderer Treibhausgase wie Methan und Distickstoffoxid reduzieren. Es wird geschätzt, daß die Kosten für die Erhaltung und Bindung von Kohlenstoff in Biomasse und Böden im Forstwirtschaftssektor sehr unterschiedlich sind, aber doch mit anderen Abschwächungsoptionen konkurrieren können.

Politische Instrumente

5.13 Die Verfügbarkeit von Technologien mit niedriger Kohlenstoffintensität ist eine Vorbedingung, aber keine Garantie dafür, daß Emissionen von Treibhausgasen zu vernünftigen Kosten reduziert werden können. Abschwächung von Emissionen hängt von verschiedenen Faktoren ab, so z.B. vom Abbau von Hemmnissen bei der Verbreitung und dem Transfer von Technologien, von der Mobilisierung finanzieller Mittel, der Unterstützung im Aufbau von Fähigkeiten in Entwicklungsländern und anderen Ansätzen zur Unterstützung von Verhaltensänderungen und technologischen Möglichkeiten in allen Gebieten der Erde. Die beste Kombination von Politiken wird von Land zu Land, je nach politischer Struktur und gesellschaftlicher Aufnahmebereitschaft, unterschiedlich sein. Die Führungen von nationalen Regierungen werden durch Anwendung solcher Politiken einen Beitrag leisten, um nachteiligen Auswirkungen von Klimaänderungen zu begegnen. Politiken zur Reduktion der Nettoemissionen von Treibhausgasen scheinen leichter durchführbar zu sein, wenn sie andere Probleme angehen, welche die nachhaltige Entwicklung behindern (z.B. Luftverschmutzung, Bodenerosion). Eine Reihe von Politiken, von denen viele einseitig von einzelnen Ländern und andere von Ländergruppen angewendet werden können und somit regionaler oder internationaler Vereinbarungen bedürfen, können die Verbreitung weniger treibhausgasintensiver Technologien und veränderter Verbrauchsgewohnheiten erleichtern. Es sind dies u.a. folgende, nicht nach Priorität geordnete Möglichkeiten:

- Schaffung angemessener institutioneller und struktureller Rahmenbedingungen,
- Energiepreisstrategien, z.B. Kohlenstoff- oder Energiesteuern, verringerte Subventionen auf Energie,
- Stufenweise Abschaffung bestehender marktverzerrender Politiken, welche Emissionen von Treibhausgasen steigern, wie z.B. manche Subventionen und Vorschriften, die Nicht-Internalisierung von Umweltkosten sowie Preisverzerrungen in der Landwirtschaft oder im Verkehr,
- Handelbare Emissionszertifikate,
- Freiwillige Programme und ausgehandelte Vereinbarungen mit der Industrie,
- Bedarfseitige Managementprogramme bei Versorgungsbetrieben,
- Rechtsvorschriften, einschließlich Mindestenergieeffizienzstandards, z.B. für Geräte und Treibstoffverbrauch,
- Anreize für Forschung, Entwicklung und Demonstration zur Einführung neuer Technologien,

- Marktnachfrage- und Demonstrationsprogramme, welche die Entwicklung und Anwendung fortschrittlicher Technologien anregen,
- Anreize für erneuerbare Energien während des Aufbaus von Märkten,
- Anreize wie Zuwendungen für beschleunigte Abschreibungen und reduzierte Kosten für Verbraucher,
- Bildung und Ausbildung; Informations- und Beratungsmaßnahmen,
- Wahlmöglichkeiten, welche auch andere ökonomische und Umweltziele unterstützen.

5.14 Die Wahl von Maßnahmen auf nationaler Ebene kann andere Ziele widerspiegeln als Kosteneffizienz, wie z.B. die Erreichung fiskalischer Ziele. Wird eine Kohlenstoff- oder Kohlenstoffenergiesteuer als politisches Instrument zur Emissionsreduktion eingesetzt, könnten diese Steuern erhebliche Einnahmen abwerfen; wie diese Einnahmen verteilt werden, könnte die Abschwächungskosten drastisch beeinflussen. Wenn die Einnahmen verteilt werden, indem verzerrende Steuern im bestehenden System gesenkt werden, helfen sie bei der Reduktion der übermäßigen Belastung durch das bestehende Steuersystem und ergeben potentiell einen zusätzlichen wirtschaftlichen Nutzen (doppelte Dividende). Zum Beispiel ergeben diejenigen europäischen Studien, die optimistischer gegenüber dem Potential für ein "Steuerrecycling" sind, niedrigere und in einigen Fällen leicht negative Kosten. Umgekehrt könnte ein ineffizientes "Recycling" der Steuereinnahmen die Kosten erhöhen. Werden zum Beispiel die Steuereinnahmen zur Finanzierung von Regierungsprogrammen verwendet, die eine niedrigere Verzinsung abwerfen als wegen der Steuer unterbleibende Investitionen im privaten Sektor, dann werden sich die gesamten Kosten erhöhen. Die Wahl von Instrumenten kann auch andere Umweltziele widerspiegeln, wie z.B. die Reduktion von Schadstoffemissionen, die nicht zum Treibhauseffekt beitragen, oder die Ausdehnung der Waldfläche, oder andere Belange, wie z.B. die spezifischen Auswirkungen auf bestimmte Regionen oder Gemeinschaften.

ÜBERLEGUNGEN ZU GERECHTIGKEIT UND SOZIALEN BELANGEN 6

6.1 Überlegungen zur Gerechtigkeit bilden einen wichtigen Aspekt der Politik zu Klimaänderungen, des Rahmenübereinkommens sowie für das Erreichen nachhaltiger Entwicklung.[17] Gerechtigkeit hat sowohl mit prozeduralen als auch mit folgenbezogenen Fragen zu tun. Prozedurale Fragen hängen damit zusammen, wie Entscheidungen gefällt werden, während folgenbezogene sich auf die Ergebnisse beziehen. Damit sie wirksam werden und die Zusammenarbeit fördern können, müssen Vereinbarungen als legitim gelten; Gerechtigkeit ist ein wichtiges Element für die Erlangung von Legitimität.

6.2 Prozedurale Gerechtigkeit umfaßt Fragen des Verfahrens und der Beteiligung. Sie erfordert, daß alle Parteien in der Lage sind, sich wirkungsvoll an den internationalen Verhandlungen im Zusammenhang mit Klimaänderungen zu beteiligen. Entsprechende Maßnahmen, welche Vertragsparteien, die Entwicklungsländer sind, die wirkungsvolle Beteiligung an diesen Verhandlungen ermöglichen, erhöhen die Aussicht auf wirkungsvolle, dauerhafte und gerechte Vereinbarungen über den bestmöglichen Umgang mit der Bedrohung durch Klimaänderungen. Die Sorge um Gerechtigkeit und soziale Auswirkungen zeigt die Notwendigkeit auf, insbesondere in den Entwicklungsländern Fähigkeiten im Land aufzubauen und die institutionelle Handlungsfähigkeit zu stärken, damit kollektive Entscheidungen auf legitime und gerechte Weise gefällt und umgesetzt werden können.

6.3 Folgenbezogene Gerechtigkeit hat zwei Komponenten: die Aufteilung der Schadens- oder Anpassungskosten und der Maßnahmen zur Abschwächung von Klimaänderungen. Da zwischen den Ländern große Unterschiede in bezug auf Anfälligkeit, Vermögen, Fähigkeiten, Ressourcenausstattung und andere, weiter unten angeführte Faktoren bestehen, könnten die Schadens-, Anpassungs- und Abschwächungskosten ungerecht verteilt werden, wenn diese Frage nicht explizit angegangen wird.

6.4 Klimaänderungen dürften zukünftigen Generationen und von Schäden betroffenen Regionen, einschließlich Regionen mit niedrigen Emissionen von Treibhausgasen, Kosten aufbürden. Die Auswirkungen von Klimaänderungen werden ungleich verteilt sein.

6.5 Die zeitenübergreifenden Aspekte einer Politik zu Klimaänderungen werfen auch Fragen zur Gerechtigkeit zwischen den Generationen auf, weil zukünftige Generationen eine heute gewählte Politik, die ihr Wohlergehen beeinträchtigen könnte, nicht direkt beeinflussen können, und weil es nicht möglich sein könnte, zukünftige Generationen für eine sich ergebende Reduktion ihres Wohlergehens zu entschädigen. In den Wirtschaftswissenschaften ist die Diskontierung das hauptsächliche Analyseinstrument zum Vergleich wirtschaftlicher Effekte, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftreten. Die Wahl der Diskontrate ist von entscheidender fachlicher Bedeutung für die Analyse der Politik zu Klimaänderungen, weil der Zeithorizont extrem lang ist und weil Abschwächungskosten tendenziell viel früher anfallen als der Nutzen aus vermiedenen Schäden. Je höher die Diskontrate, desto geringer ist der zukünftige Nutzen und desto mehr spielen die gegenwärtigen Kosten in der Analyse eine Rolle.

[17] Im üblichen Sprachgebrauch bedeutet Gerechtigkeit (englisch *equity*) "Unparteilichkeit" oder "etwas, das recht und billig ist".

6.6 Das Rahmenübereinkommen anerkennt in Artikel 3.1 das Prinzip der gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten und jeweiligen Fähigkeiten. Maßnahmen über "no-regrets"-Maßnahmen[18] hinaus auferlegen der heutigen Generation Kosten. Abschwächungspolitiken werfen unvermeidlich die Frage nach der Aufteilung der Kosten auf. Die ersten Absichten zur Emissionsbegrenzung der Vertragsparteien aus Anlage I stellen einen vereinbarten, kollektiven ersten Schritt dieser Vertragsparteien im Umgang mit Klimaänderungen dar.

6.7 Gerechtigkeitsargumente können verschiedene Vorschläge zur Aufteilung der Abschwächungskosten unterstützen. Die meisten von ihnen scheinen um zwei Hauptansätze, einzeln oder kombiniert, zu kreisen: gleiche Emissionsquoten pro Kopf und Quoten basierend auf Abweichungsinkrementen von (gegenwärtigen oder projezierten) nationalen Referenzemissionswerten. Die Implikationen von Klimaänderungen für Entwicklungsländer sind anders als für entwickelte Länder. Erstere haben oft andere dringende Prioritäten, schwächere Institutionen und sind im allgemeinen anfälliger auf Klimaänderungen. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß der Anteil der Entwicklungsländer an den Emissionen weiter zunehmen wird, um ihre sozialen und Entwicklungsbedürfnisse zu befriedigen. Emissionen von Treibhausgasen dürften zunehmend global werden, obwohl wahrscheinlich wesentliche Unterschiede in den Pro-Kopf-Emissionen bestehen bleiben werden.

6.8 Es gibt beträchtliche Unterschiede sowohl zwischen entwickelten Ländern wie zwischen Entwicklungsländern, die für die Anwendung von Gerechtigkeitsprinzipien bei der Abschwächung relevant sind. Dazu gehören Schwankungen bei den historischen und den kumulativen Emissionen, den gegenwärtigen Gesamtemissionen und den Pro-Kopf-Emissionen, den Emissionsintensitäten und der wirtschaftlichen Produktion, projezierte zukünftige Emissionen sowie Faktoren wie Wohlstand, Energiestrukturen und Ressourcenausstattung.

6.9 Eine Reihe unterschiedlicher ethischer Prinzipien, einschließlich der Befriedigung menschlicher Grundbedürfnisse, könnte für den Umgang mit Klimaänderungen relevant sein, aber die Anwendung von für das individuelle Verhalten entwickelten Prinzipien auf zwischenstaatliche Beziehungen ist komplex und nicht leicht. Politiken zu Klimaänderungen sollten die bestehenden Unterschiede zwischen den Regionen nicht verschärfen, aber auch nicht versuchen, alle Ungerechtigkeiten auszugleichen.

FORTFÜHRUNG DER WIRTSCHAFTLICHEN ENTWICKLUNG AUF NACHHALTIGE WEISE 7

7.1 Wirtschaftliche und soziale Entwicklung sowie Umweltschutz sind wechselseitig voneinander abhängige und gegenseitig verstärkende Komponenten einer nachhaltigen Entwicklung, welche den Rahmen für unsere Anstrengungen bildet, für alle Menschen eine höhere Lebensqualität zu erlangen. Im Rahmenübereinkommen ist niedergelegt, daß Maßnahmen zur Bewältigung von Klimaänderungen eng mit der sozialen und wirtschaftlichen Entwicklung koordiniert werden sollten, damit nachteilige Auswirkungen auf diese Entwicklung vermieden werden, wobei die legitimen vorrangigen Bedürfnisse der Entwicklungsländer in bezug auf nachhaltiges Wirtschaftswachstum und die Beseitigung der Armut voll zu berücksichtigen sind. Ebenfalls sind die gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten und jeweiligen Fähigkeiten aller Vertragsparteien zum Schutz des Klimasystems im Rahmenübereinkommen niedergelegt. Dieser Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über die bekannten Kosten und Nutzen von Anpassungs- und Abschwächungspolitiken soweit sie sich, unter anderem, auf die Nachhaltigkeit wirtschaftlicher Entwicklung und die Umwelt beziehen.

Soziale Kosten anthropogener Klimaänderungen

7.2 Nettoschäden durch Klimaänderungen umfassen sowohl sich in Markttransaktionen widerspiegelnde als auch nicht widerspiegelnde Auswirkungen, soweit sie bis jetzt quantifiziert werden können, und in manchen Fällen Anpassungskosten. Schäden werden netto ausgedrückt, um die Tatsache zu berücksichtigen, daß es auch manche vorteilhafte Auswirkungen der globalen Klimaänderungen gibt, die jedoch von den Schadenskosten dominiert werden. Auswirkungen, die sich nicht in Markttransaktionen widerspiegeln, zum Beispiel auf die menschliche Gesundheit, das menschliche Sterberisiko und Schäden an Ökosystemen, bilden eine wichtige Komponente der verfügbaren Schätzungen über die sozialen Kosten von Klimaänderungen. Die Schätzungen über sich nicht in Markttransaktionen widerspiegelnde Schäden sind jedoch höchst spekulativ und nicht umfassend; sie sind daher eine Quelle größerer Unsicherheit bei der Bewertung der Implikationen von globalen Klimaänderungen für die menschliche Wohlfahrt.

7.3 Die beurteilte Fachliteratur, die den Gesamtschaden bei 2-3°C Erwärmung quantifiziert, liefert ein großes Spektrum punktueller Schadensschätzungen für eine angenommene Änderung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen. Die Gesamtschätzungen tendieren zu ein paar Prozent des Welt-BIP, mit allgemein beträchtlich höheren Schadensschätzungen

[18] "No-regrets"-Maßnahmen sind Maßnahmen, deren Nutzen, z.B. verringerte Energiekosten und lokal/regional verringerte Emissionen von Schadstoffen, die gesellschaftlichen Kosten aufwiegen oder sogar übertreffen, *ohne* daß der Nutzen der Abschwächung von Klimaänderungen berücksichtigt ist. Solche Maßnahmen werden manchmal als "sich ohnehin lohnende Maßnahmen" bezeichnet.

für Entwicklungsländer als deren Anteil am BIP. Die Gesamtschätzungen unterliegen einer beträchtlichen Unsicherheit, aber der Unsicherheitsbereich kann nicht aus der Fachliteratur entnommen werden. Die Streuung der Schätzungen kann angesichts der sehr unterschiedlichen in den Studien verwendeten Annahmen und Methodologien nicht als Vertrauensintervall interpretiert werden. Die Aggregierung verdeckt vermutlich noch größere Unsicherheiten über die Schadenskomponenten. Regionale oder sektorale Ansätze zur Schätzung der Folgen von Klimaänderungen umfassen ein viel breiteres Spektrum an Schätzungen der wirtschaftlichen Nettoauswirkungen. Für manche Gebiete werden die Schäden bedeutend höher eingeschätzt; sie könnten die wirtschaftliche Entwicklung nachteilig beeinflussen. Für andere wird geschätzt, daß Klimaänderungen die wirtschaftliche Produktion erhöhen und Gelegenheiten zur wirtschaftlichen Entwicklung bieten werden. Eine Angleichung des Wertes eines statistischen Lebens auf einem für entwickelte Länder typischen Niveau würde die monetarisierten Schäden um ein Mehrfaches erhöhen und den Anteil der Entwicklungsländer am gesamten geschätzten Schaden weiter erhöhen. Kleine Inseln und tiefliegende Küstengebiete sind besonders anfällig. Schäden aus möglichen Katastrophen großen Umfangs, wie z.B. größere Änderungen in den Meeresströmungen, finden in diesen Schätzungen keinen Niederschlag.

Nutzen einer Einschränkung von Klimaänderungen

7.4 Nutzen einer Begrenzung von Emissionen von Treibhausgasen und des Ausbaus von Senken sind (a) die Vermeidung von Schäden durch Klimaänderungen und Anpassungskosten und (b) der indirekte wirtschaftliche und Umweltnutzen, der mit den entsprechenden Politiken verbunden ist, u.a. die Reduktion anderer Schadstoffe, die zusammen mit Treibhausgasen anfallen, die Erhaltung der biologischen Vielfalt sowie technologische Innovationen, die durch die Reaktion auf Klimaänderungen vorangetrieben werden.

Anpassungskosten

7.5 Es gibt viele Anpassungsoptionen an die Auswirkungen von Klimaänderungen und damit zur Reduktion der Schäden bei nationalen Wirtschaften und natürlichen Ökosystemen. Optionen für Anpassungen gibt es in vielen Sektoren, von Landwirtschaft und Energie bis zu Gesundheit, Bewirtschaftung von Küstengebieten, küstennahen Fischzuchtanstalten und Erholung. Einige von ihnen bieten eine verbesserte Fähigkeit, mit den gegenwärtigen Auswirkungen der Klimavariabilität zurechtzukommen. Es gibt keine systematischen Schätzungen der Kosten für eine Anpassung an Auswirkungen auf Landwirtschaft, menschliche Gesundheit, Wasserversorgung sowie an andere Änderungen. Wo Anpassungsmaßnahmen technisch vernünftig sind, könnten die Kosten für eine Anpassung, z.B. an ein Ansteigen des Meeresspiegels, für einige Länder ohne Hilfe von außen unerschwinglich sein.

Kosten und Nutzen von Abschwächungspolitiken

7.6 Die Kosten einer Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen auf einem Niveau und innerhalb eines Zeitraumes, welche eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindern, werden entscheidend von der Wahl eines Emissionszeitpfades, von Konsummustern, von der Verfügbarkeit von Ressourcen und Technologien und von der Wahl der politischen Instrumente abhängen. Die Kosten eines Minderungsprogramms werden beeinflußt durch die Geschwindigkeit des Kapitalersatzes, die Diskontrate und die Wirkung von Forschung und Entwicklung. Wird es unterlassen, so früh wie möglich Politiken zu verabschieden, um wirkungsvolle Ersatzinvestitionen am Ende des wirtschaftlichen Lebens einer Anlage und Einrichtung (d.h. am Punkt der Erneuerung von Kapitalgütern) zu fördern, werden der Gesellschaft wirtschaftliche Kosten erwachsen. Die stufenweise Umsetzung von Emissionsreduktionen, die im Laufe der normalen Erneuerung von Kapitalgütern durchgeführt werden können, ist in der Regel billiger als die Erzwingung vorzeitiger Stillegungen. Die Wahl von Reduktionspfaden erfordert ein Abwägen der wirtschaftlichen Risiken einer schnellen Reduktion heute gegen die Risiken einer Verzögerung. Abschwächungspolitiken, welche in einer Weise ergriffen werden, daß anderer Umweltnutzen ausgenutzt werden kann, könnten kostengünstig sein und nachhaltige Entwicklung fördern. Eine Verlagerung von umweltverschmutzenden Aktivitäten, welche zu einem Anstieg der globalen Emissionen von Treibhausgasen führen, kann durch ein koordiniertes Vorgehen von Gruppen von Ländern verringert werden.

7.7 Obwohl nur sehr wenige Studien über die Kosten für eine Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen publiziert wurden, gibt es in der Fachliteratur einige Schätzungen der Kosten für verschiedene Ausmaße von Emissionsreduktionen. Schätzungen für Abschwächungskosten variieren beträchtlich, je nach Wahl der Methodologien, zugrundeliegenden Annahmen, Emissionsszenarien, politischen Instrumenten, Berichtsjahr usw.

7.8 Trotz wesentlicher Differenzen besteht Übereinstimmung darüber, daß eine Energieeffizienzsteigerung von vielleicht 10-30% über dem Referenztrend in den nächsten zwei bis drei Jahrzehnten zu negativen bis keinen Nettokosten realisiert werden kann. Bei längeren Zeithorizonten, die eine vollständigere Erneuerung des Kapitalgüterbestandes erlauben, und die sowohl Forschung und Entwicklung wie auch politischen Maßnahmen zur Umgestaltung des Marktes eine Chance geben, sich auf mannigfaltige Ersatzzyklen auszuwirken, ist dieses Potential viel höher. Die Größe solcher "no-regrets"-Potentiale hängt von der Existenz großer Unvollkommenheiten bei Märkten oder Institutionen ab, die verhindern, daß sich kostengünstige Maßnahmen zur Emissionsreduktion durchsetzen. Die entscheidende Frage ist somit, wie weit solche Unvollkommenheiten und Hemmnisse durch politische Initiativen kostengünstig beseitigt werden können.

7.9 **OECD-Länder:** Obwohl es schwierig ist zu verallgemeinern, zeigen Top-Down-Analysen,[19] daß die Kosten substantieller Reduktionen der CO_2-Emissionen unter das Niveau von 1990 bis zu mehreren Prozent des BIP betragen könnten. Im besonderen Fall der Stabilisierung der Emissionen auf dem Niveau von 1990 schätzen die meisten Studien, daß über die nächsten Jahrzehnte jährliche Kosten im Bereich von minus 0,5% des BIP (entspricht einem Gesamtgewinn von etwa 60 Milliarden Dollar für die OECD-Länder auf dem heutigen BIP-Niveau) bis plus 2% des BIP (entspricht einem Verlust von etwa 240 Milliarden Dollar) erreicht werden könnten. Die Studien zeigen allerdings auch, daß eine entsprechende zeitliche Abstimmung von Minderungsmaßnahmen und die Verfügbarkeit kostengünstiger Alternativen die Höhe der Gesamtrechnung beträchtlich vermindern könnten. Einige Bottom-Up-Studien zeigen, daß die Kosten einer Reduktion der Emissionen um 20% innerhalb von zwei bis drei Jahrzehnten in entwickelten Ländern vernachlässigbar bis negativ sind. Andere Bottom-Up-Studien zeigen, daß ein Potential für langfristige absolute Reduktionen von über 50% besteht, ohne daß die Gesamtenergiesystemkosten sich erhöhen, die sich sogar verringern könnten.

7.10 **Volkswirtschaften im Übergang:** Das Potential an kostengünstigen Reduktionen bei der Energienutzung ist möglicherweise beträchtlich, aber das ausschöpfbare Potential wird davon abhängen, welcher wirtschaftliche und technologische Entwicklungspfad gewählt wird, sowie davon, wieviel Kapital zur Verfolgung verschiedener Pfade verfügbar ist. Ein entscheidendes Problem sind die zukünftigen strukturellen Änderungen in diesen Ländern, welche die Höhe der Referenzemissionen und die Emissionsreduktionskosten drastisch verändern dürften.

7.11 **Entwicklungsländer:** Analysen deuten darauf hin, daß für Entwicklungsländer beträchtliche Möglichkeiten zur kostengünstigen Reduktion der Kohlendioxidemissionen aus fossilen Brennstoffen bestehen. Entwicklungspfade, welche die Energieeffizienz erhöhen, alternative Energietechnologien fördern, die Abholzung vermindern und die landwirtschaftliche Produktivität sowie die Produktion von Energie aus Biomasse erhöhen, können wirtschaftlich vorteilhaft sein. Das Verfolgen dieses Pfades dürfte eine beträchtliche internationale Zusammenarbeit sowie Finanz- und Technologietransfer erfordern. Diese dürften allerdings nicht genügen, um die sich rasch erhöhenden Emissionen im Referenzfall aufgrund der Zunahme des wirtschaftlichen Wachstums und der Gesamtwohlfahrt auszugleichen. Die Stabilisierung der Kohlendioxidemissionen ist wahrscheinlich kostspielig.

7.12 Kostenschätzungen für verschiedene spezifische Ansätze zur Abschwächung von Emissionen von Treibhausgasen oder zur Erweiterung von Treibhausgassenken variieren beträchtlich, je nach standortspezifischen Merkmalen. Dies gilt z.B. sowohl für Technologien für erneuerbare Energien sowie für Optionen zur Kohlenstoffbindung. Durch Kohlenstoffbindung in Wäldern könnten im Laufe der nächsten 50 Jahre bis zu 15-30% der globalen energiebedingten Emissionen des Jahres 1990 ausgeglichen werden. Die Kosten der Kohlenstoffbindung, die gegenüber Optionen zur Regelung von Quellen wettbewerbsfähig sind, unterscheiden sich von Weltregion zu Weltregion.

7.13 Die Regelung anderer Emissionen von Treibhausgasen, insbesondere Methan und Distickstoffoxid, dürfte in einigen Ländern wesentliche kostengünstige Möglichkeiten bieten. Etwa 10% der anthropogenen Methanemissionen können bei Anwendung verfügbarer Abschwächungsoptionen bei Methanquellen, wie Erdgassystemen, Abfallwirtschaft und Landwirtschaft, zu negativen oder geringen Kosten reduziert werden. Die Kosten für einige dieser Optionen sind je nach Ländern und Regionen unterschiedlich.

Subventionen, Marktunvollkommenheiten, Hemmnisse

7.14 Die Weltwirtschaft und auch einige nationale Volkswirtschaften leiden an einer Reihe von Preisverzerrungen, welche Emissionen von Treibhausgasen erhöhen, wie z.B. landwirtschaftliche Subventionen, Subventionen für Brennstoffe und Verzerrungen bei der Festsetzung der Preise im Verkehrsbereich. Eine Reihe von Studien zu dieser Frage zeigt, daß globale Emissionsreduktionen von 4-18% zusammen mit einem Wachstum der Realeinkommen durch eine Abschaffung der Subventionen für Brennstoffe möglich sind.

7.15 In einer Reihe von Ländern sind Fortschritte in der kostengünstigen Reduktion von Marktunvollkommenheiten und institutionellen Hemmnissen durch politische Instrumente, wie freiwillige Vereinbarungen, Anreize für Energieeffizienz, Effizienzstandards für Produkte und Beschaffungsprogramme, die in Zusammenarbeit mit Herstellern und durch Reformen des Regelwerkes für öffentliche Versorgungsbetriebe die Energieeffizienz erhöhen, gemacht worden. Wo empirische Beurteilungen gemacht wurden, zeigten viele, daß das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer Steigerung der Energieeffizienz günstig war, was zeigt, daß "no-regrets"-Potentiale zu negativen Nettokosten praktisch ausgeschöpft werden können.

Der Wert verbesserter Informationen und Forschung

7.16 Der Wert verbesserter Informationen über Abläufe und Auswirkungen von Klimaänderungen sowie Reaktionen darauf dürfte hoch sein. Die Analyse der mit Klimaänderungen zusammenhängenden wirtschaftlichen und sozialen Fragen, insbesondere in Entwicklungsländern, hat in der Forschung hohe Priorität. Weitere Analysen zu den Auswirkungen von Reaktionsoptionen auf Beschäftigung, Inflation, Handel, Wettbewerbsfähigkeit sowie auf andere öffentliche Fragen sind erforderlich.

[19] Zu Top-Down- und Bottom-Up-Modellen s. Kasten 1 in der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger der IPCC-Arbeitsgruppe III.

(Anm. d. Übers.:) "Top-down" bedeutet "von oben nach unten", "bottom-up" "von unten nach oben".

DER WEG IN DIE ZUKUNFT 8

8.1 Die Fachliteratur in den Gebieten Naturwissenschaft, Technik, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften legt Handlungsweisen auf dem Weg zum letztlichen Ziel des Übereinkommens nahe. Mögliche Aktionen umfassen u.a. Abschwächung von Klimaänderungen durch Reduktionen von Emissionen von Treibhausgasen und Erweiterung ihres Abbaus durch Senken, Anpassung an beobachtete und/oder projezierte Klimaänderungen sowie Forschung, Entwicklung und Demonstration zur Verbesserung unseres Wissens über die Risiken von Klimaänderungen und wie ihnen begegnet werden kann.

8.2 Es bleiben Unsicherheiten bestehen, welche für die Beurteilung dessen, was eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems darstellt, und was zu tun ist, um eine solche Störung zu verhindern, wichtig sind. Aus der Fachliteratur geht jedoch hervor, daß in den meisten Ländern beträchtliche Möglichkeiten für "no-regrets"-Maßnahmen bestehen, und daß das Risiko des durch Klimaänderungen entstehenden Nettogesamtschadens, Überlegungen zur Risikoverhütung sowie das Vorsorgeprinzip bereits vernünftige Gründe für Maßnahmen über die "no-regrets"-Maßnahmen hinaus darstellen. Die Herausforderung besteht nicht darin, heute die beste Politik für die kommenden 100 Jahre zu finden, sondern eine vorsichtige Strategie zu entwickeln und diese im Lichte neuer Informationen im Verlauf der Zeit anzupassen.

8.3 Aus der Fachliteratur geht hervor, daß flexible, kostengünstige Politiken, die sich auf wirtschaftliche Anreize und Instrumente sowie auf koordinierte Instrumente abstützen, die Abschwächungs- oder Anpassungskosten wesentlich senken oder die Kostengünstigkeit von Maßnahmen zur Emissionsreduktion erhöhen können. Es sind geeignete langfristige Signale erforderlich, damit Produzenten und Konsumenten sich kostengünstig an die Einschränkung von Emissionen von Treibhausgasen anpassen können und um Forschung, Entwicklung und Demonstration zu fördern.

8.4 Zahlreiche Politiken und Beschlüsse zur Reduktion der Emissionen von Treibhausgasen und zur Erweiterung ihrer Senken und somit schließlich zur Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen dürften sowohl für den privaten wie für den öffentlichen Sektor eine Chance wie auch eine Herausforderung bedeuten. Ein sorgfältig ausgewähltes Portefeuille nationaler und internationaler Aktionen zur Abschwächung, zur Anpassung und zur Verbesserung unseres Wissensstandes kann die Risiken infolge von Klimaänderungen für Ökosysteme, die Sicherheit der Nahrungsmittelversorgung, Verfügbarkeit von Wasserressourcen, die menschliche Gesundheit und andere natürliche und sozioökonomische Systeme verringern. Zwischen den Ländern bestehen aufgrund ihres unterschiedlichen wirtschaftlichen Entwicklungsstandes, Infrastrukturentscheidungen und der natürlichen Ressourcenausstattung große Unterschiede bei den Kosten für eine Reduktion von Emissionen von Treibhausgasen und die Erweiterung der Senken. Internationale Zusammenarbeit im Rahmen bilateraler, regionaler oder internationaler Vereinbarungen könnte die globalen Kosten für Emissionsreduktionen sowie die Verringerung von Emissions-Leckagen wesentlich reduzieren. Sofern sie mit Sorgfalt durchgeführt werden, trügen diese Aktionen dazu bei, der mit Klimaänderungen verbundenen Herausforderung zu begegnen und die Aussichten auf nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung für alle Völker und Nationen zu verbessern.

Entwurfsteam für die Synthese

Bert Bolin (IPCC-Vorsitzender und Vorsitzender des Entwurfsteams); John T. Houghton; Gylvan Meira Filho; Robert T. Watson; M.C. Zinyowera; James Bruce; Hoesung Lee; Bruce Callander; Richard Moss; Erik Haites; Roberto Acosta Moreno; Tariq Banuri; Zhou Dadi; Bronson Gardner; José Goldemberg; Jean-Charles Hourcade; Michael Jefferson; Jerry Melillo; Ivring Mintzer; Richard Odingo; Martin Parry; Martha Perdomo; Cornelia Quennet-Thielen; Pier Vellinga; Narasimhan Sundararaman (IPCC-Sekretär)

Literaturhinweise

1. IPCC, 1990:
   (i) Climate Change, The IPCC Scientific Assessment
   (ii) Climate Change, The IPCC Impacts Assessment
   (iii) Climate Change, The IPCC Response Strategies
   (iv) Overview and Policymakers Summary
2. IPCC, 1992:
   (i) Climate Change 1992, The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment
   (ii) Climate Change 1992, The Supplementary Report to the IPCC Impacts Assessment
3. IPCC, 1994: Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios
4. IPCC, 1995:
   (i) Climate Change 1995, The IPCC Second Assessment Synthesis of Scientific-Technical Information Relevant to Interpreting Article 2 of the UN Framework Convention on Climate Change
   (ii) Climate Change 1995, The Science of Climate Change
   (iii) Climate Change 1995, Scientific-Technical Analyses of Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change
   (iv) Climate Change 1995, The Economic and Social Dimensions of Climate Change

ZUSAMMENFASSUNG FÜR POLITISCHE ENTSCHEIDUNGSTRÄGER:

NATURWISSENSCHAFTLICHE ERKENNTNISSE ÜBER KLIMAÄNDERUNGEN

IPCC-ARBEITSGRUPPE I

ZUSAMMENFASSUNG FÜR POLITISCHE ENTSCHEIDUNGSTRÄGER: NATURWISSENSCHAFTLICHE ERKENNTNISSE ÜBER KLIMAÄNDERUNGEN

Im wissenschaftlichen Kenntnisstand über Klimaänderungen[1] hat es seit 1990 beträchtliche Fortschritte gegeben; auch stehen neue Daten und Analysen zur Verfügung.

1. DIE TREIBHAUSGASKONZENTRATIONEN STEIGEN WEITERHIN AN

Zunehmende Treibhausgaskonzentrationen seit vorindustriellen Zeiten, d.h. seit ca. 1750, haben zu einem positiven Strahlungsantrieb[2] der Erde geführt, indem sie die Luft eher erwärmen und auch andere Klimaänderungen bewirken.

- Die Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre, u.a. Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Distickstoffoxid (N_2O), sind wesentlich angestiegen, und zwar um rund 30% für CO_2, 145% für CH_4 und 15% für N_2O (Werte für 1992). Diese Entwicklung ist hauptsächlich menschlichen Aktivitäten, insbesondere der Verbrennung fossiler Brennstoffe, Landnutzungsänderungen und der Landwirtschaft zuzuschreiben.
- In den frühen 1990er-Jahren waren die Zuwachsraten der Konzentrationen von CO_2, CH_4 und N_2O niedrig. Es gibt noch keine vollständige Erklärung für diese scheinbar natürliche Variabilität; jüngste Daten weisen aber darauf hin, dass die Zuwachsraten gegenwärtig mit den mittleren über die 1980er-Jahre vergleichbar sind.
- Der direkte Strahlungsantrieb der langlebigen Treibhausgase (2,45 Wm^{-2}) ist vor allem dem Anstieg der Konzentrationen von CO_2 (1,56 Wm^{-2}), CH_4(0,47 Wm^{-2}) und N_2O (0,14 Wm^{-2}) zuzuschreiben (Werte für 1992).
- Viele Treibhausgase bleiben lange Zeit in der Atmosphäre (im Falle von CO_2 und N_2O viele Jahrzehnte bis Jahrhunderte) und beeinflussen daher den Strahlungsantrieb langfristig.
- Der direkte Strahlungsantrieb der Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und der teilhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (HFCKW) ist zusammen 0,25 Wm^{-2}. Allerdings wird der *Netto*-Strahlungsantrieb um rund 0,1 Wm^{-2} reduziert, da sie eine Zerstörung von stratosphärischem Ozon verursachen, was zu einem negativen Strahlungsantrieb führt.
- Der Anstieg der Konzentration von FCKW ist praktisch auf null zurückgegangen, nicht jedoch derjenige der HFCKW. Es wird erwartet, dass die Konzentrationen der FCKW und der HFCKW, und entsprechend auch die Zerstörung von Ozon, bis im Jahr 2050 dank der Durchführung des Montrealer Protokolls und seiner Anpassungen und Änderungen wesentlich zurückgehen werden.
- Gegenwärtig haben einige langlebige Treibhausgase—insbesondere wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW, ein Ersatzstoff für FCKW), perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) und Schwefelhexafluorid (SF_6)—einen geringen Strahlungsantrieb. Da die Emissionen dieser Gase aber im Laufe des 21. Jahrhunderts zunehmen dürften, könnten sie mit mehreren Prozent zum Strahlungsantrieb beitragen.
- Wenn die CO_2-Emissionen ungefähr auf dem heutigen Niveau (1994) stabilisiert werden könnten, würde dies während mindestens zwei Jahrhunderten zu einer etwa konstanten Zuwachsrate der atmosphärischen Konzentrationen führen. Gegen Ende des 21. Jahrhunderts würden diese etwa 500 ppmv erreichen (knapp das Doppelte der vorindustriellen Konzentration von 280 ppmv).
- Die Stabilisierung der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre bei 450, 650 oder 1000 ppmv würde gemäß Modellrechnungen des Kohlenstoffkreislaufes nur erreicht, wenn die globalen anthropogenen CO_2-Emissionen in etwa 40, 140 oder 240 Jahren unter den Wert von 1990 fallen und in der Zeit danach deutlich unter den Wert von 1990 gesenkt werden.
- Bis die Konzentrationen stabilisiert sind, hängen sie stärker von den ab heute bis zum Zeitpunkt der Stabilisierung akkumulierten anthropogenen CO_2-Emissionen ab, als vom Verlauf der Emissionsänderung in diesem Zeitraum. Dies bedeutet, dass—für einen bestimmten Wert der stabilisierten Konzentration–höhere Emissionen in früheren Jahrzehnten später niedrigere Emissionen erfordern. Verschiedene Stabilisierungsfälle wurden untersucht. Dabei würden sich die akkumulierten anthropogenen Emissionen im Zeitraum von 1991 bis 2100 für eine Stabilisierung bei 450 ppmv auf 630 GtC[3], bei 650 ppmv auf 1030 GtC und bei 1000 ppmv auf 1410 GtC (in jedem Fall ± rund 15%) belaufen. Zum Vergleich: in den IPCC IS92 Emissionsszenarien liegen die entsprechenden akkumulierten Emissionen im Bereich von 770 bis 2190 GtC.
- Eine Stabilisierung der Konzentrationen von CH_4und N_2O auf dem heutigen Niveau würde eine Reduktion der anthropogenen Emissionen von 8% bzw. über 50% voraussetzen.
- Es kann nachgewiesen werden, dass die Konzentrationen von troposphärischem Ozon in der nördlichen Hemisphäre seit vorindustriellen Zeiten aufgrund menschlicher Aktivitäten angestiegen sind, was zu einem positiven Strahlungsantrieb geführt hat. Dessen Ausmaß wurde noch nicht genau

[1] Im Sprachgebrauch der Arbeitsgruppe I des IPCC bezieht sich der Ausdruck "Klimaänderungen" auf jede Klimaänderung im Verlauf der Zeit, ob sie natürlichen Schwankungen oder menschlichen Aktivitäten zuzuschreiben ist. Dieser Gebrauch unterscheidet sich von demjenigen des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, worin "Klimaänderungen" steht für: "Änderungen des Klimas, die unmittelbar oder mittelbar auf menschliche Tätigkeiten zurückzuführen sind, welche die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern, und die zu den über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimaschwankungen hinzukommen."

[2] Der sogenannte Strahlungsantrieb ("radiative forcing") ist ein einfaches Maß für die Wichtigkeit eines Mechanismus, der das Klima verändern kann. Er ist die Störung der Energiebilanz des Systems Erde-Atmosphäre (in Watt pro Quadratmeter [Wm^{-2}]).

[3] 1 GtC = 1 Milliarde Tonnen Kohlenstoff

beschrieben, aber es wird auf ungefähr 0,4 Wm^{-2} geschätzt (15% von dem der langlebigen Treibhausgase). Allerdings zeigen die Beobachtungen des vergangenen Jahrzehnts, dass dieser Anstieg sich zumindest wesentlich verlangsamt oder sogar ganz aufgehört hat.

2. ANTHROPOGENE AEROSOLE HABEN EINEN EHER NEGATIVEN STRAHLUNGS-ANTRIEB

- Troposphärische Aerosole (mikroskopische Partikel in der Luft) aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und von Biomasse sowie aus anderen Quellen haben im globalen Mittel einen direkten negativen Strahlungsantrieb von rund 0,5 Wm^{-2} und möglicherweise auch einen ähnlich hohen indirekten. Dieser negative Strahlungsantrieb manifestiert sich zwar vor allem in einzelnen Regionen und im subkontinentalen Maßstab, kann aber auch kontinentale oder hemisphärische Klimamuster beeinflussen.
- Lokal kann der negative Strahlungsantrieb von Aerosolen so groß sein, dass er den positiven Strahlungsantrieb von Treibhausgasen mehr als ausgleicht.
- Im Gegensatz zu den langlebigen Treibhausgasen sind anthropogene Aerosole in der Atmosphäre sehr kurzlebig, weshalb ihr Strahlungsantrieb sehr rasch steigenden oder sinkenden Emissionen folgt.

3. DAS KLIMA HAT SICH IM VERLAUF DER LETZTEN HUNDERT JAHRE VERÄNDERT

Das Wetter kann sich überall von Jahr zu Jahr stark ändern, aber die Analyse von meteorologischen und anderen Daten über große Gebiete und über Zeiträume von Jahrzehnten oder länger weist auf einige wesentliche systematische Änderungen hin.

- Die mittlere globale bodennahe Lufttemperatur ist seit dem Ende des 19. Jahrhunderts um rund 0,3°C bis 0,6°C angestiegen. Die seit 1990 hinzugekommenen Daten und Analysen haben keine wesentliche Änderung dieses geschätzten Anstiegs erbracht.
- Die letzten Jahre gehören zu den wärmsten seit 1860, d.h. seit Beginn von Instrumentenmessungen, trotz des Abkühlungseffekts durch den Ausbruch des Vulkans Pinatubo im Jahre 1991.
- Über Land sind die Temperaturen in der Nacht im allgemeinen stärker gestiegen als am Tag.
- Regionale Änderungen sind ebenfalls offensichtlich. So war z.B. die jüngste Erwärmung über den mittleren Breiten der Kontinente im Winter und Frühjahr am größten; einige wenige Gebiete, z.B. der Nordatlantik, kühlten sich ab. Über Land haben die Niederschläge in den höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre zugenommen, vor allem während der kalten Jahreszeit.
- Der Meeresspiegel ist in den letzten 100 Jahren weltweit um 10 bis 25 cm angestiegen, was hauptsächlich dem Ansteigen der mittleren globalen Lufttemperatur zuzuschreiben sein dürfte.
- Es gibt keine ausreichenden Daten, um zu ermitteln, ob im Verlauf des 20. Jahrhunderts beständige globale Änderungen bei der Klimavariabilität oder bei extremen Wetterereignissen eingetreten sind. Regional gesehen gibt es klare Hinweise auf Änderungen bestimmter extremer Ereignisse und Indikatoren für Klimavariabilität (z.B. seltenere Fröste in verschiedenen größeren Gebieten, ein Ansteigen des Anteils der Regenmenge aus extremen Wetterereignissen in weiten, zusammenhängenden Teilen der USA). Einige dieser Änderungen gingen in Richtung größere, andere in Richtung geringere Variabilität.
- Die von 1990 bis Mitte 1995 anhaltende Warmphase des "El Niño-Südliche Oszillation" genannten Phänomens (welche in weiten Gebieten Dürren und Überschwemmungen zur Folge hat) war im Kontext der letzten 120 Jahre ungewöhnlich.

4. DIE ABWÄGUNG DER ERKENNTNISSE LEGT EINEN ERKENNBAREN MENSCHLICHEN EINFLUSS AUF DAS GLOBALE KLIMA NAHE

Jeder von den Menschen verursachte Einfluß auf das Klima wird vom "Hintergrundrauschen" der natürlichen Klimavariabilität überlagert, welche sowohl auf interne Variabilität wie auf äußere Einwirkungen (z.B. Änderungen der Sonnenaktivität oder Vulkanausbrüche) zurückgeht. Studien, die den Nachweis von Klimaänderungen erbringen und deren Ursachen ermitteln sollen, versuchen, zwischen anthropogenen und natürlichen Einflüßen zu unterscheiden. Der "Nachweis von Änderungen" ist der Prozeß, in welchem gezeigt wird, dass eine beobachtete Klimaänderung statistisch gesehen höchst ungewöhnlich ist, aber keinen Grund für die Änderung beinhaltet. Die "Ermittlung von Ursachen" ist der Prozeß, in welchem Beziehungen zwischen Ursachen und Folgen festgestellt werden, was auch das Testen sich konkurrierender Hypothesen einschließt.

Seit dem IPCC-Bericht von 1990 wurde in den Versuchen, zwischen natürlichen und anthropogenen Einflüssen auf das Klima zu unterscheiden, ein großer Fortschritt erzielt. Dieser Fortschritt wurde möglich, weil neben den Wirkungen von Treibhausgasen auch diejenigen von Sulfat-Aerosolen berücksichtigt wurden, was zu realistischeren Einschätzungen des von den Menschen verursachten Strahlungsantriebs führte. Diese Einschätzungen wurden danach in Klimamodellen verwendet, um vollständigere Simulationen des "Signals" für menschlich verursachte Klimaänderungen zu erlangen. Zudem lieferten neue Simulationen mit gekoppelten Atmosphäre/Ozean-Klimamodellen wichtige Informationen über die natürliche interne Klimavariabilität im Zeitraum von Jahrzehnten bis Jahrhunderten. Ein weiterer wesentlicher Fortschritt ist die Verlagerung des Schwerpunkts der Untersuchungen von Änderungen des globalen Mittels auf Vergleiche zwischen modellierten und beobachteten räumlichen und zeitlichen Mustern von Klimaänderungen.

Die wichtigsten Ergebnisse in bezug auf den Nachweis von Änderungen und Ermittlung von Ursachen sind:

- Die beschränkte Datenlage aus Proxi-Klimaindikatoren weist darauf hin, dass die mittlere globale Temperatur im 20. Jahrhundert mindestens so hoch ist wie in irgendeinem früheren Jahrhundert seit mindestens dem Jahr 1400. Vor 1400 liegen zuwenig Daten vor, um die mittlere globale Temperatur zuverlässig zu schätzen.

- Beurteilungen der statistischen Signifikanz des beobachteten Verlaufs der mittleren globalen bodennahen Lufttemperatur im vergangenen Jahrhundert beruht auf einer Reihe neuer Schätzungen der natürlichen internen und von aussen beeinflussten Variabilität. Diese Schätzungen ihrerseits beruhen auf Instrumenten- und Paläodaten, einfachen und komplexen Klimamodellen sowie statistischen, an Beobachtungen angepaßten Modellen. In den meisten dieser Untersuchungen wurde eine signifikante Änderung nachgewiesen; diese zeigen auch, dass der beobachtete Verlauf der Erwärmung nur mit geringer Wahrscheinlichkeit vollständig natürlichen Ursprungs ist.
- Überzeugendere jüngste Hinweise für die Ermittlung eines menschlichen Einflusses auf das Klima stammen aus Untersuchungen von Mustern, in denen die modellierten Reaktionen des Klimas auf den kombinierten Strahlungsantrieb durch Treibhausgase und anthropogene Sulfat-Aerosole mit beobachteten geographischen, jahreszeitlichen und vertikalen Mustern der Temperaturänderungen in der Atmosphäre verglichen werden. Diese Studien zeigen, dass die Übereinstimmung dieser Muster mit der Zeit größer wird, was mit der Erwartung der Verstärkung des anthropogenen Signals übereinstimmt. Weiterhin ist die Wahrscheinlichkeit sehr gering, dass sich solche Übereinstimmungen zufällig, nur aufgrund der natürlichen internen Klimavariabilität, ergeben könnten. Auch stimmen die vertikalen Muster der Änderungen nicht mit denjenigen überein, die für einen solaren und vulkanischen Strahlungsantrieb zu erwarten wären.
- Unsere Fähigkeit, den menschlichen Einfluß auf das globale Klima zu quantifizieren, ist noch beschränkt, weil das erwartete Signal immer noch im Hervortreten aus dem Rauschen der natürlichen Variabilität begriffen ist, und weil in bezug auf Schlüsselfaktoren Unsicherheiten bestehen. Dazu gehören Umfang und Muster langfristiger natürlicher Variabilität und das sich im Verlauf der Zeit verändernde Muster der Einflüsse durch, und Reaktionen auf, veränderte Treibhausgas- und Aerosol-Konzentrationen sowie Änderungen der Landoberfläche. Trotzdem legt die Abwägung der Erkenntnisse nahe, dass ein menschlicher Einfluß auf das globale Klima erkennbar ist.

5. ES WIRD ERWARTET, DASS SICH DAS KLIMA IN ZUKUNFT WEITER VERÄNDERT

IPCC entwickelte eine Reihe von Szenarien, IS92a-f, für zukünftige Emissionen von Treibhausgasen und Aerosol-Vorläufern aufgrund von Annahmen betreffend Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, Landnutzung, technologische Änderungen, Verfügbarkeit von Energie und Energieträgermix im Zeitraum von 1990 bis 2100. Durch das Verständnis des globalen Kohlenstoffkreislaufes und der Atmosphärenchemie können diese Emissionen dazu verwendet werden, die atmosphärischen Konzentrationen von Treibhausgasen und Aerosolen sowie die Störung des natürlichen Strahlungsantriebs zu projezieren. Mit Klimamodellen können daraufhin Projektionen des zukünftigen Klimas erstellt werden.

- Realistischere Simulationen des gegenwärtigen und vergangenen Klimas mit gekoppelten Atmosphäre/Ozean-Klimamodellen haben unser Vertrauen in ihre Nützlichkeit für die Projektion zukünftiger Klimaänderungen erhöht. Nach wie vor bestehen wichtige Unsicherheiten, aber diese wurden in allen Projektionen der Änderungen der mittleren globalen Temperatur und des Meeresspiegels berücksichtigt.
- Für das in der Mitte liegende IPCC-Emissionsszenario IS92a, bei Annahme der "besten Schätzung" des Wertes der Klimasensitivität[4] und unter Berücksichtigung der Wirkungen künftiger Zunahmen bei Aerosolen, projezieren Modelle im Vergleich zu 1990 einen Anstieg der mittleren globalen Temperatur von rund 2°C bis 2100. Diese Schätzung ist ungefähr ein Drittel niedriger als die "beste Schätzung" im Jahre 1990. Dies ist vor allem auf Szenarien mit geringeren Emissionen (insbesondere von CO_2 und FCKW), die Berücksichtigung der abkühlenden Wirkung von Sulfat-Aerosolen sowie auf ein besseres Verständnis des Kohlenstoffkreislaufes zurückzuführen. Die Kombination des niedrigsten IPCC-Emissionsszenarios (IS92c) mit einem "niedrigen" Wert der Klimasensitivität und unter Berücksichtigung der Wirkungen künftiger Zunahmen der Aerosol-Konzentrationen führt zu einem projezierten Anstieg bis zum Jahr 2100 von rund 1°C. Die entsprechende Projektion für das höchste IPCC-Szenario (IS92e), kombiniert mit einem "hohen" Wert der Klimasensitivität, ergibt eine Erwärmung von rund 3,5°C. In allen Fällen dürfte die durchschnittliche Erwärmungsrate wahrscheinlich größer sein als jede in den letzten 10'000 Jahren, aber die tatsächlichen jährlichen bis zehnjährlichen Änderungen werden von einer beträchtlichen natürlichen Variabilität begleitet sein. Regionale Temperaturänderungen könnten deutlich vom globalen Mittelwert abweichen. Wegen der thermischen Trägheit der Ozeane wären bis 2100 nur 50 bis 90% der Änderung der endgültigen Gleichgewichtstemperatur erreicht, und die Temperatur würde auch nach 2100 weiter ansteigen, sogar wenn die Treibhausgaskonzentrationen bis zu diesem Zeitpunkt stabilisiert werden könnten.
- Es wird erwartet, dass der durchschnittliche Meeresspiegel infolge der thermischen Ausdehnung der Ozeane und dem Abschmelzen von Gletschern und Eismassen ansteigt. Für das IPCC-Emissionsszenario IS92a, bei Annahme der "besten Schätzung" der Werte der Klimasensitivität und der Sensitivität der Eisschmelze auf die Erwärmung sowie unter Berücksichtigung der Wirkungen künftiger Änderungen bei Aerosolen projezieren Modelle einen Anstieg des gegenwärtigen Meeresspiegels von rund 50 cm bis zum Jahr 2100. Diese Schätzung ist aufgrund der niedrigeren Temperaturprojektionen und dank besserer Klima- und Eisschmelzmodelle ungefähr 25% niedriger als die "beste Schätzung" von 1990. Die Kombination des niedrigsten Emissionsszenarios (IS92c) mit den "niedrigen" Werten der Klima- und der Eisschmelzesensitivität sowie unter Berücksichtigung der Wirkungen

[4] In den Berichten vom IPCC bezieht sich "Klimasensitivität" normalerweise auf die langfristige Änderung (des Gleichgewichtszustandes) der mittleren globalen bodennahen Lufttemperatur infolge einer Verdoppelung der atmosphärischen äquivalenten CO_2-Konzentration. Allgemeiner bezieht sich der Ausdruck auf die Änderung des Gleichgewichtszustandes der bodennahen Lufttemperatur infolge einer Änderung des Strahlungsantriebs um eine Einheit ($°C/Wm^{-2}$).

künftiger Zunahmen der Aerosol-Konzentrationen führt zu einem projezierten Anstieg des gegenwärtigen Meerespiegels bis zum Jahr 2100 von rund 15 cm. Die entsprechende Projektion für das höchste Emissionsszenario (IS92e) mit den "hohen" Werten der Klima- und der Eisschmelzesensitivität ergibt einen Anstieg des gegenwärtigen Meeresspiegels von rund 95 cm bis zum Jahr 2100. Der Meeresspiegel würde auch in den Jahrhunderten nach 2100 weiterhin mit einer vergleichbaren Geschwindigkeit ansteigen, sogar wenn die Treibhausgaskonzentrationen bis dahin stabilisiert wären. Auch nach einer Stabilisierung der mittleren globalen Lufttemperatur würde der Meeresspiegel weiter ansteigen. Infolge von Landbewegungen und von Änderungen der Meeresströmungen können die Änderungen des regionalen Meeresspiegels vom globalen Mittel abweichen.

- Die Zuverlässigkeit der hemisphärischen bis kontinentalen Projektionen mit gekoppelten Atmosphäre/Ozean-Klimamodellen ist höher als die der regionalen Projektionen, bei denen die Zuverlässigkeit nach wie vor gering ist. Projektionen bei Temperaturen sind zuverlässiger als bei hydrologischen Änderungen.
- Alle Modellsimulationen, gleich ob ihnen gestiegene Treibhausgas- und Aerosolkonzentrationen oder allein gestiegene Treibhausgaskonzentrationen zugrunde lagen, weisen folgende Merkmale auf: im Winter steigt die Lufttemperatur über Land stärker an als über dem Meer; in hohen nördlichen Breiten erwärmt sich die Luft im Winter maximal, über der Arktis erwärmt sich die Luft im Sommer gering; im globalen Mittel ist der hydrologische Kreislauf verstärkt; im Winter nehmen Niederschläge und Bodenfeuchtigkeit in hohen Breiten zu. Alle diese Änderungen hängen mit identifizierbaren physikalischen Mechanismen zusammen.
- Zudem zeigen die meisten Simulationen eine Abschwächung des durch die Verteilung von Temperatur und Salzgehalt angetriebenen Kreislaufes im Nordatlantik sowie eine weitverbreitete Reduktion der Tag-/Nacht-Temperaturunterschiede. Auch diese Merkmale können mit identifizierbaren physikalischen Mechanismen erklärt werden.
- Die direkten und indirekten Wirkungen von anthropogenen Aerosolen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Projektionen. Im allgemeinen sind die Ausmaße der Temperatur- und Niederschlagsänderungen geringer, wenn die Wirkungen von Aerosolen mitberücksichtigt werden, vor allem in den nördlichen mittleren Breiten. Es muß festgehalten werden, dass die abkühlende Wirkung von Aerosolen nicht einfach die temperatursteigernde Wirkung von Treibhausgasen aufwiegt, sondern einige der Muster von Klimaänderungen im kontinentalen Maßstab wesentlich beeinflusst, was vor allem in der Sommerhemisphäre am deutlichsten ist. So ergeben zum Beispiel Projektionen, bei denen in den Modellen lediglich die Wirkungen von Treibhausgasen berücksichtigt werden, allgemein ein Ansteigen bei Niederschlägen und der Bodenfeuchtigkeit in den asiatischen Sommermonsungebieten, während sich bei zusätzlicher Berücksichtigung einiger Wirkungen von Aerosolen ein Rückgang der Niederschläge während des Monsuns ergibt. Die räumliche und zeitliche Verteilung von Aerosolen hat großen Einfluss auf die regionalen Projektionen, weshalb sie unsicherer sind.
- Es ist zu erwarten, daß eine generelle Erwärmung zu mehr extrem heißen Tagen und zu weniger extrem kalten Tagen führen wird.
- Höhere Temperaturen werden zu einem verstärkten hydrologischen Kreislauf führen; daher ist teilweise mit mehr, teilweise mit weniger starken Dürren und Überschwemmungen zu rechnen. Verschiedene Modelle weisen auf intensivere Niederschläge hin, was auf die Möglichkeit von extremeren Regenereignissen schließen läßt. Bisher reicht unser Wissen nicht aus um zu sagen, ob sich die Häufigkeit oder geographische Verteilung von starken Stürmen, z.B. tropischen Wirbelstürmen, ändern wird.
- Eine anhaltende rasche Klimaänderung könnte das Artengleichgewicht verschieben und sogar zu einem Absterben von Wäldern führen, was das terrestrische Aufnahme- und Abgabevermögen von Kohlenstoff verändern würde. Das Ausmaß ist unsicher, könnte sich aber im Verlauf der nächsten ein- bis zweihundert Jahre zwischen null und 200 GtC bewegen, je nach der Geschwindigkeit der Klimaänderungen.

6. ES BLEIBEN VIELE UNSICHERHEITEN

Viele Faktoren schränken zur Zeit unsere Fähigkeit ein, künftige Klimaänderungen zu projezieren und nachzuweisen. Um Unsicherheiten zu verringern, sind weitere Forschungsarbeiten insbesondere auf folgenden vorrangigen Gebieten erforderlich:

- Abschätzung von künftigen Emissionen sowie bio-geochemischen Kreisläufen (auch der Quellen und Senken) von Treibhausgasen, Aerosolen und Aerosol-Vorläufern; Projektionen künftiger Konzentrationen und von Strahlungseigenschaften.
- Abbildung von Klimaprozessen in Modellen, insbesondere die Rückwirkungen durch Wolken, Ozeane, Meereseis und die Vegetation, um Projektionen über die Geschwindigkeiten und regionalen Muster von Klimaänderungen verbessern zu können.
- Systematische Sammlung von langfristigen instrumentellen und Proxi-Beobachtungen von Klimasystemvariablen (z.B. Sonnenaktivität, Komponenten der atmosphärischen Energiebilanz, hydrologische Kreisläufe, Eigenschaften der Ozeane, Änderungen bei Ökosystemen), um damit die Modelle testen zu können, für die Beurteilung der zeitlichen und regionalen Variabilität sowie für Studien über den Nachweis von Änderungen und die Ermittlung von Ursachen.

Künftige unerwartete, große und schnelle Änderungen im Klimasystem (wie sie auch in der Vergangenheit aufgetreten sind) sind von Natur aus schwierig vorauszusagen. Das heißt, dass künftige Klimaänderungen auch von "Überraschungen" begleitet sein können. Diese sind insbesondere auf die Nichtlinearität des Klimasystems zurückzuführen. Wenn nichtlineare Systeme raschen Einflüssen unterworfen werden, können sie besonders unerwartet reagieren. Fortschritte können durch die Untersuchung nichtlinearer Prozesse und Unterkomponenten des Klimasystems erzielt werden. Beispiele solchen nichtlinearen Verhaltens sind u.a. die raschen Änderungen der Meereszirkulation im Nordatlantik und mit Änderungen der terrestrischen Ökosysteme zusammenhängende Rückwirkungen.

AUTOREN/MITWIRKENDE

Osvaldo Sala, Argentinien; Ian G. Enting, Australien; Graham Farquhar, Australien; Paul Fraser, Australien; Ann Henderson-Sellers, Australien; Harvey Marchant, Australien; Bryant J. McAvaney, Australien; Neville Nicholls, Australien; Neville Smith, Australien; John Zillman, Australien; Diogenes Alves, Brasilien; Pedro L. Silva Dias, Brasilien; Gylvan Meira Filho, Brasilien; George Boer, Kanada; K.L. Denman, Kanada; Gordon A. McBean, Kanada; M.A. Pe, Kanada; Andrew J. Weaver, Kanada; Ding Yihui, China; Qing-Cun Zeng, China; Xiuji Zhou, China; Yves Fouquart, Frankreich; J. Jouzel, Frankreich; Christian Le Provost, Frankreich; Dominique Raynaud, Frankreich; Dieter H. Ehhalt, Deutschland; Martin Heimann, Deutschland; E. Detlef Schulze, Deutschland; Murari Lal, Indien; S. Sadasivan, Indien; J. Srinivasan, Indien; Akio Kitoh, Japan; Tatsushi Tokioka, Japan; Mack Mcfarland, Kenia; Laban J. Ogallo, Kenia; Johannes Oerlemens, Niederlande; Arie Kattenberg, Niederlande; Richard A. Warrick, Neuseeland; Ivar Isaksen, Norwegen; G.V. Gruza, Russische Föderation; Valentin Meleshko, Russische Föderation; A.B. Diop, Senegal; Bert Bolin, Schweden; Colin Prentice, Schweden; Henning Rodhe, Schweden; Hartmut Grassl, Schweiz; F. Joos, Schweiz; Tom M.L. Wigley, Großbritannien; Bruce A. Callander, Großbritannien; R.G. Derwent, Großbritannien; Chris K. Folland, Großbritannien; Michael Grubb, Großbritannien; Neil Harris, Großbritannien; Sir John Houghton, Großbritannien; Peter R. Jonas, Großbritannien; Peter Liss, Großbritannien; Kathy Maskell, Großbritannien; John F.B. Mitchell, Großbritannien; David E. Parker, Großbritannien; Keith Shine, Großbritannien; Anthony Slingo, Großbritannien; P.L. Woodworth, Großbritannien; Daniel L. Albritton, USA; Ebby Anyamba, USA; Tim P. Barnett, USA; Robert Charlson, USA; Robert E. Dickinson, USA; W. Lawrence Gates, USA; Filippo Giorgi, USA; Eileen E. Hofmann, USA; Tom Karl, USA; Gerald A. Meehl, USA; Mark F. Meier, USA; Jerry Melillo, USA; Michael Oppenheimer, USA; Michael Prather, USA; V. Ramaswamy, USA; David A. Randall, USA; Ben D. Santer, USA; Edward S. Sarachik, USA; David Schimel, USA; Stephen H. Schneider, USA; Frederick Semazzi, USA; Susan Solomon, USA; Ron Stouffer, USA; Kevin E. Trenberth, USA; Robert T. Watson, USA; Don Wuebbles, USA; Eugenio Sanhueza, Venezuela.

ZUSAMMENFASSUNG FÜR POLITISCHE ENTSCHEIDUNGSTRÄGER:

WISSENSCHAFTLICHE-TECHNISCHE ANALYSEN DER AUSWIRKUNGEN VON, ZUR ANPASSUNG AN UND ABSCHWÄCHUNG VON KLIMAÄNDERUNGEN

IPCC-ARBEITSGRUPPE II

ZUSAMMENFASSUNG FÜR POLITISCHE ENTSCHEIDUNGSTRÄGER: WISSENSCHAFTLICHE-TECHNISCHE ANALYSEN DER AUSWIRKUNGEN VON, ZUR ANPASSUNG AN UND ABSCHWÄCHUNG VON KLIMAÄNDERUNGEN

1. UMFANG DER BEURTEILUNG

Die Arbeitsgruppe II des Zwischenstaatlichen Ausschusses über Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) hatte den Auftrag, den Wissensstand betreffend die Auswirkungen von Klimaänderungen auf natürliche und ökologische Systeme, auf die menschliche Gesundheit und auf sozioökonomische Sektoren aufzuarbeiten. Die Arbeitsgruppe II sollte ebenfalls einen Überblick über die verfügbaren Informationen zur technischen und ökonomischen Vernünftigkeit einer Reihe potentieller Anpassungs- und Abschwächungsstrategien geben. Der vorliegende Bericht liefert wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Informationen, welche unter anderem zur Abwägung der Frage verwendet werden können, ob die projezierte Bandbreite von plausiblen Auswirkungen eine "gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems" gemäß Artikel 2 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) darstellt, sowie zur Abwägung von Optionen zur Anpassung und Abschwächung, welche für das Erreichen des letztlichen Ziels dieses Übereinkommens verwendet werden könnten (s. Kasten 1).

KASTEN 1: LETZTLICHES ZIEL DES RAHMENÜBEREINKOMMENS DER VEREINTEN NATIONEN ÜBER KLIMAÄNDERUNGEN (UNFCCC) (ARTIKEL 2)

"... die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraums erreicht werden, der ausreicht, damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann."

2. PROBLEMSTELLUNG

Menschliche Aktivitäten steigern die atmosphärischen Konzentrationen von die Atmosphäre eher erwärmenden Treibhausgasen, sowie, in einigen Gebieten, die Konzentrationen von die Atmosphäre eher abkühlenden Aerosolen. Es wird projeziert, daß diese Änderungen bei

Tabelle 1: Zusammenfassung der Annahmen in den sechs alternativen IPCC-Szenarien von 1992.

Szenario	*Population*	*Wirtschaftswachstum*	*Energieversorgung*
IS92a,b	Weltbank 1991 11.3 Milliarden bis 2100	1990–2025: 2.9% 1990–2100: 2.3%	12,000 EJ konventionelles Erdöl 13,000 EJ Erdgas Kosten für Sonnenenergie fallen auf $0.075/kWh 191 EJ Bio-Energieträger kosten $70/barrel*
IS92c	VN[1]-Fall: Mittel-Tief 6.4 Milliarden bis 2100	1990–2025: 2.0% 1990–2100: 1.2%	8,000 EJ konventionelles Erdöl 7,300 EJ Erdgas Kosten für Atomenergie sinken jährlich um 0.4%
IS92d	VN-Fall: Mittel-Tief 6.4 Milliarden bis 2100	1990–2025: 2.7% 1990–2100: 2.0%	Erdöl und Erdgas wie bei IS92c Kosten für Sonnenenergie fallen auf $0.065/kWh 272 EJ Bio-Energieträger kosten $50/barrel
IS92e	Weltbank 1991 11.3 Milliarden bis 2100	1990–2025: 3.5% 1990–2100: 3.0%	18,400 EJ konventionelles Erdöl Erdgas wie bei IS92a,b Auslaufenlassen der Atomenergie bis 2075
IS92f	VN-Fall: Mittel-Hoch 17.6 Milliarden bis 2100	1990–2025: 2.9% 1990–2100: 2.3%	Erdöl und Erdgas wie bei IS92e Kosten für Sonnenenergie fallen auf $0.083/kWh Kosten für Atomenergie steigen auf $0.09/kWh

*ungefährer Umrechnungsfaktor: 1 Barrel = 6 GJ.

[1]VN: Vereinte Nationen

Quelle: IPCC, 1992: *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment.* Abschnitt A3, erstellt von IPCC-Arbeitsgruppe I [J.T. Houghton, B.A. Callander, und S.K. Varney (Hrsg.)] und WMO/UNEP. Cambridge University Press, Cambridge UK, 200 S.

Treibhausgasen und Aerosolen insgesamt zu regionalen und globalen Änderungen von Klima- und klimarelevanten Parametern wie Temperatur, Niederschlag, Bodenfeuchtigkeit und Meeresspiegel führen. Aufgrund der Sensitivitätsbereiche des Klimas auf Erhöhungen der Treibhausgaskonzentrationen, über welche die IPCC-Arbeitsgruppe I berichtet, und aufgrund von plausiblen Emissionen (IPCC IS92—s. Tabelle 1) projezieren die Klimamodelle unter Berücksichtigung von Treibhausgasen und Aerosolen bis zum Jahr 2100 einen Anstieg der mittleren globalen bodennahen Lufttemperatur von ca. 1-3,5°C und ein damit zusammenhängendes Ansteigen des Meeresspiegels um ca. 15-95 cm. Die Zuverlässigkeit von Projektionen im regionalen Maßstab ist noch gering, und das Ausmaß von Änderungen der Klimavariabilität ist ungewiß. Es zeichnen sich jedoch potentiell ernstzunehmende Änderungen ab. Dazu gehören in einigen Gebieten eine Zunahme von Ereignissen wie extrem hohe Temperaturen, Überschwemmungen und Dürren, mit entsprechenden Folgen wie Waldbrände, Pestepidemien sowie Auswirkungen auf Zusammensetzung, Struktur und Funktionieren der Ökosysteme, einschließlich Primärproduktivität.

Die menschliche Gesundheit, die terrestrischen und aquatischen Ökosysteme sowie die sozioökonomischen Systeme (z.B. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei und Wasserressourcen) sind für die Entwicklung und das Wohlergehen der Menschen von lebenswichtiger Bedeutung; sie alle reagieren empfindlich auf Klimaänderungen. Während viele Regionen wahrscheinlich von nachteiligen Auswirkungen von Klimaänderungen—einige davon möglicherweise unumkehrbar—betroffen sein werden, werden einige Auswirkungen von Klimaänderungen wahrscheinlich vorteilhaft sein. Daher dürften verschiedene Teile der Gesellschaft mit unterschiedlichen Änderungen und der Notwendigkeit konfrontiert werden, sich an diese anzupassen.

KASTEN 2: ZEITRÄUME FÜR DIE DAS KLIMASYSTEM BEEINFLUSSENDEN PROZESSE

- Erneuerung der für Treibhausgasemissionen verantwortlichen Kapitalgüter: Jahre bis Jahrzehnte (ohne vorzeitige Stillegung)
- Stabilisierung der atmosphärischen Konzentrationen langlebiger Treibhausgase bei gleichbleibendem Niveau der Treibhausgasemissionen: Jahrzehnte bis Jahrtausende
- Erreichen eines Gleichgewichts des Klimasystems bei gleichbleibendem Niveau der Treibhausgaskonzentrationen: Jahrzehnte bis Jahrhunderte
- Erreichen eines Gleichgewichts des Meeresspiegels bei gleichbleibendem Klima: Jahrhunderte
- Wiederherstellung/Rehabilitierung geschädigter oder gestörter Ökosysteme: Jahrzehnte bis Jahrhunderte (einige Änderungen—z.B. das Aussterben mancher Arten—sind unumkehrbar, und es dürfte sich als unmöglich erweisen, manche gestörte Ökosysteme zu rekonstruieren und wieder herzustellen)

Die politischen Entscheidungsträger müssen angesichts großer wissenschaftlicher Unsicherheiten auf die von den anthropogenen Treibhausgasemissionen ausgehenden Risiken reagieren. Es ist angezeigt, diese Unsicherheiten im Zusammenhang mit Informationen zu betrachten, die darauf hinweisen, daß klimabedingte Umweltänderungen aufgrund der langen vom Klimasystem bedingten Zeiträume, wenn überhaupt, nur langsam umgekehrt werden können (s. Kasten 2). Die in den nächsten Jahren getroffenen Entscheidungen können das Spektrum der möglichen zukünftigen politischen Optionen einschränken, da hohe Emissionen in näherer Zukunft später größere Reduktionen erfordern würden, um eine bestimmte angestrebte Konzentration zu erreichen. Ein Hinauszögern von Maßnahmen könnte die Gesamtkosten von Abschwächungsmaßnahmen aufgrund potentieller technologischer Fortschritte zwar senken, gleichzeitig aber die Geschwindigkeit und das etwaige Ausmaß von Klimaänderungen, und somit auch die Anpassungskosten und die Schäden, steigern.

Die politischen Entscheidungsträger werden entscheiden müssen, bis zu welchem Grad sie vorsorgende Maßnahmen ergreifen wollen, indem sie die Treibhausgasemissionen verringern und die Widerstandskraft empfindlicher Systeme durch Anpassung erhöhen. Unsicherheit bedeutet nicht, daß sich ein Land oder die Weltgemeinschaft nicht in eine bessere Lage versetzen kann, um mit dem großen Bereich möglicher Klimaänderungen besser umgehen zu können oder sich in Zukunft vor potentiell kostspieligen Folgen zu schützen. Solche Maßnahmen hinauszuzögern kann bedeuten, daß eine Nation oder die Welt schlecht darauf vorbereitet ist, mit nachteiligen Änderungen umzugehen; auch kann sich so die Wahrscheinlichkeit unumkehrbarer oder sehr kostspieliger Folgen erhöhen. Optionen zur Anpassung an oder Abschwächung von Klimaänderungen, welche heute schon auch aus anderen Gründen gerechtfertigt sind (z.B. Reduktion der Luft- und Wasserverschmutzung) und welche die Gesellschaft flexibler oder gegenüber voraussehbaren, nachteiligen Auswirkungen von Klimaänderungen widerstandsfähiger machen, scheinen ganz besonders günstig.

3. ANFÄLLIGKEIT AUF KLIMAÄNDERUNGEN

Artikel 2 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen anerkennt ausdrücklich die Bedeutung natürlicher Ökosysteme, der Nahrungsmittelerzeugung und nachhaltiger wirtschaftlicher Entwicklung. Der vorliegende Bericht befaßt sich mit der potentiellen *Sensitivität, Anpassungsfähigkeit und Anfälligkeit* (s. Kasten 3) von ökologischen und sozioökonomischen Systemen—einschließlich Hydrologie und Management der Wasserressourcen, Infrastruktur für die Menschen und die menschliche Gesundheit—auf und durch Klimaänderungen.

Vom Menschen ausgelöste Klimaänderungen stellen einen wichtigen neuen Stressfaktor dar. Anthropogene

KASTEN 3: SENSITIVITÄT, ANPASSUNGSFÄHIGKEIT UND ANFÄLLIGKEIT

Die *Sensitivität* ist das Ausmaß, in welchem ein System auf eine Änderung der klimatischen Bedingungen (z.B. das Ausmaß von Änderungen der Zusammensetzung, Struktur und Funktion eines Ökosystems, einschließlich Primärproduktivität, infolge einer bestimmten Temperatur- oder Niederschlagsänderung) reagiert.

Die *Anpassungsfähigkeit* bezieht sich auf das Ausmaß, in welchem sich Verfahren, Prozesse oder Strukturen von Systemen auf projezierte oder tatsächliche Klimaänderungen einstellen können. Anpassung kann sich spontan ereignen oder geplant sein und als Reaktion oder im Vorgriff auf Änderungen der Bedingungen durchgeführt werden.

Die *Anfälligkeit* definiert das Ausmaß, in welchem Klimaänderungen ein System beeinträchtigen oder schädigen können. Sie hängt nicht nur von der Sensitivität eines Systems ab, sondern ebenso von seiner Fähigkeit, sich neuen klimatischen Bedingungen anzupassen.

Sowohl der Umfang wie die Geschwindigkeit von Klimaänderungen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Sensitivität, die Anpassungsfähigkeit und die Anfälligkeit eines Systems.

Klimaänderungen bedeuten wesentlichen zusätzlichen Stress, vor allem für die zahlreichen ökologischen und sozioökonomischen Systeme, die bereits jetzt durch Verschmutzung, steigenden Ressourcenbedarf und nicht-nachhaltige Nutzungspraktiken belastet sind. Die anfälligsten Systeme sind diejenigen mit der größten Sensitivität gegenüber Klimaänderungen und der geringsten Anpassungsfähigkeit daran.

Die meisten Systeme sind empfindlich gegenüber Klimaänderungen. Natürliche Ökosysteme, sozioökonomische Systeme und die menschliche Gesundheit sind alle empfindlich sowohl gegenüber dem Ausmaß wie der Geschwindigkeit von Klimaänderungen.

Auswirkungen sind nur schwer quantifizierbar, und der Umfang bestehender Studien ist begrenzt. Obschon unser Wissen im Laufe des vergangenen Jahrzehnts wesentlich verbessert werden konnte und qualitative Einschätzungen gemacht werden können, sind quantitative Projektionen über die Auswirkungen von Klimaänderungen auf ein bestimmtes System an einem bestimmten Ort schwierig, weil Projektionen von Klimaänderungen im regionalen Maßstab unsicher sind, unser gegenwärtiges Verständnis vieler entscheidender Prozesse beschränkt ist, und die Systeme vielfältigen klimatischen und nicht-klimatischen Belastungen ausgesetzt sind, deren Interaktionen sich nicht immer linear oder additiv verhalten. Die meisten Studien über Auswirkungen haben beurteilt, wie Systeme auf Klimaänderungen reagieren würden, welche aus der willkürlich gewählten Verdoppelung der äquivalenten atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration resultieren. Zusätzlich untersuchten einige sehr wenige Studien die dynamischen Reaktionen auf stetig zunehmende Konzentrationen von Treibhausgasen, und eine noch geringere Anzahl Studien untersuchte die Folgen einer Erhöhung der äquivalenten CO_2-Konzentration in der Atmosphäre über eine Verdoppelung hinaus oder beurteilten die Implikationen mannigfaltiger Stressfaktoren.

Eine erfolgreiche Anpassung hängt von technologischen Fortschritten, von institutionellen Vereinbarungen, von der Verfügbarkeit finanzieller Mittel und vom Informationsaustausch ab. Technologische Fortschritte haben im allgemeinen die Anpassungsoptionen für bewirtschaftete Systeme wie Landwirtschaft und Wasserversorgung verbessert. Allerdings haben zahlreiche Regionen der Welt gegenwärtig nur beschränkten Zugang zu diesen Technologien und zu entsprechenden Informationen. Die Wirksamkeit und der kostengünstige Einsatz von Anpassungsstrategien wird von der Verfügbarkeit finanzieller Mittel, vom Technologietransfer sowie—national und international—von Verfahren in den Bereichen Kultur, Bildung, Verwaltung, Institutionen, Recht sowie Vorschriften abhängen. Das Einbeziehen sowohl von Überlegungen zu Klimaänderungen in Entscheidungen zur Nutzung und Entwicklung von Ressourcen sowie von Plänen für regelmässig wiederkehrende Investitionen in die Infrastruktur wird eine Anpassung vereinfachen.

Die Anfälligkeit steigt mit sinkender Anpassungsfähigkeit. Die Anfälligkeit der menschlichen Gesundheit und der sozioökonomischen Systeme—und, in einem geringeren Ausmaß, die der Ökosysteme—hängt von den ökonomischen Bedingungen und der institutionellen Infrastruktur ab. Dies impliziert, daß Systeme in Entwicklungsländern im allgemeinen wegen der dort weniger günstigen ökonomischen und institutionellen Bedingungen anfälliger sind. Menschen, die in trockenen oder halbtrockenen Gebieten, in tiefliegenden Küstengebieten, in Wassermangel- oder Überschwemmungsgebieten oder auf kleinen Inseln leben, sind Klimaänderungen gegenüber besonders anfällig. Einige Regionen sind infolge steigender Bevölkerungsdichte in empfindlichen Landstrichen (z.B. Flussbecken und Flachküsten) anfälliger für Gefahren wie Stürme, Überschwemmungen und Dürren geworden. Menschliche Aktivitäten, welche viele Landschaften zerstükkeln, haben die Anfälligkeit extensiv oder nicht bewirtschafteter Ökosysteme gesteigert. Das natürliche Anpassungspotential solcher Systeme ebenso wie die potentielle Wirksamkeit von Maßnahmen, welche die Anpassung in solchen Systemen erleichtern sollen—z.B. die Schaffung von Migrationskorridoren— werden durch diese Zerstückelung eingeschränkt. Die kurzfristigen Wirkungen von Klimaänderungen auf ökologische und sozioökonomische Systeme werden am wahrscheinlichsten aus Änderungen der Intensität sowie der jahreszeitlichen und geographischen Verteilung von gewöhnlichen Wettergefahren (z.B. Stürme, Überschwemmungen, Dürren) erwachsen. In den meisten Fällen dürfte es möglich sein, die Anfälligkeit durch eine Stärkung des Anpassungsvermögens zu verringern.

Der Nachweis von Änderungen wird schwierig sein, und unerwartete Änderungen sind nicht auszuschliessen. In den meisten ökologischen und sozialen Systemen wird es in den kommenden Jahrzehnten äußerst schwierig sein, Änderungen eindeutig als klimabedingt zu identifizieren. Dies ist in der

Komplexität dieser Systeme, in ihren zahlreichen, nichtlinearen Rückkopplungen und ihrer Sensitivität gegenüber einer großen Anzahl klimatischer und nicht-klimatischer Faktoren, welche sich gleichzeitig weiter verändern werden, begründet. Das Festlegen eines Referenzfalls, bei dem die zukünftige Situation ohne Klimaänderungen projeziert wird, ist von entscheidender Bedeutung; denn an diesem Referenzfall werden alle projezierten Auswirkungen gemessen. Je weiter sich das zukünftige Klima von den Grenzen der empirischen Erkenntnisse entfernt (d.h. von den dokumentierten Auswirkungen der Klimavariabilität in der Vergangenheit), umso wahrscheinlicher ist, daß die tatsächlichen Folgen von Überraschungen und unvorhergesehenen, schnellen Änderungen begleitet sein werden.

Zukünftige Forschung und Überwachung sind wesentlich: Die gesteigerte Förderung von Forschung und Überwachung, einschließlich der Zusammenarbeit nationaler, internationaler und multilateraler Institutionen, ist wesentlich sowohl für die deutliche Verbesserung regionaler Klimaprojektionen wie auch für das Verständnis der Reaktionen der menschlichen Gesundheit sowie ökologischer und sozioökonomischer Systeme auf Klimaänderungen und andere Stressfaktoren und schließlich für ein verbessertes Wissen über die Wirksamkeit und Kostengünstigkeit von Anpassungsstrategien.

3.1 Terrestrische und aquatische Ökosysteme

Die Ökosysteme enthalten das gesamte Reservoir der genetischen und Artenvielfalt der Erde und stellen viele für Individuen und die Gesellschaft wesentliche Güter und Dienstleistungen bereit. Diese Güter und Dienstleistungen umfassen: 1. Lieferung von Nahrung, Fasern, Heilmitteln und Energie; 2. Verarbeitung und Lagerung von Kohlenstoff und anderen Nährstoffen; 3. Assimilierung von Abfällen, Reinigung von Wasser, Regulierung von Abflußmengen und die Kontrolle von Überschwemmungen, des Auslaugens von Böden und der Erosion von Stränden; 4. Bereitstellung von Freizeit- und Tourismusgelegenheiten. Diese Systeme und die von ihnen erfüllten Funktionen sind gegenüber der Geschwindigkeit und dem Ausmaß von Klimaänderungen empfindlich. Abbildung 1 zeigt, daß die mittleren Jahrestemperaturen und -niederschläge mit der Verteilung der weltweit wichtigsten Biome korreliert werden können.

Die Zusammensetzung und die geographische Verteilung vieler Ökosysteme wird sich je nach der Reaktion einzelner Arten auf Klimaänderungen verlagern; die Artenvielfalt sowie die Güter und Dienstleistungen, die Ökosysteme unserer Gesellschaft bereitstellen, werden sich vermindern. Einige Ökosysteme dürften über mehrere Jahrhunderte keinen neuen Gleichgewichtszustand erreichen, nachdem das Klima ein neues Gleichgewicht erreicht hat.

Wälder: Modelle projezieren, daß ein dauerhafter Anstieg der globalen mittleren bodennahen Temperatur um 1°C ausreicht, um regionale Klimata so zu verändern, daß in vielen Gebieten das Wachstum und die Regenerationsfähigkeit der Wälder in Mitleidenschaft gezogen werden. Vielerorts wird dies die Funktion und Zusammensetzung der Wälder wesentlich verän-

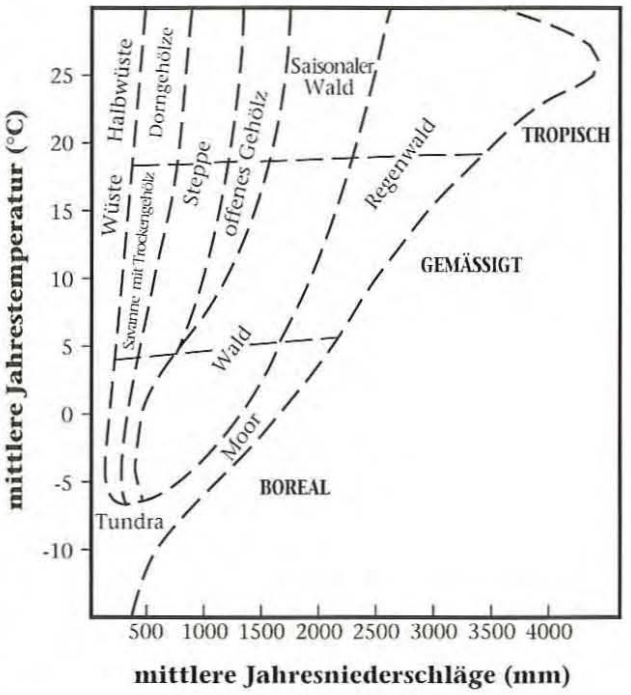


Abbildung 1: Diese Abbildung zeigt, daß die Jahresmittelwerte der Temperatur und der Niederschlagsmenge mit der Verteilung der weltweit wichtigsten Biome korreliert werden können. Während die Rolle dieser Jahresmittelwerte für die Beeinflussung dieser Verteilung bedeutend ist, sollte auch festgehalten werden, daß die Verteilung der Biome sehr von jahreszeitlichen Faktoren (Dauer der Trockenperiode oder der tiefsten absoluten Minimaltemperatur) sowie von den Bodeneigenschaften (z.B. der Wasserrückhaltekapazität), von der Nutzungsgeschichte (z.B. Landwirtschaft, Weideland) und von Störungen (z.B. Häufigkeit von Bränden) abhängig sein dürfte.

dern. Unter Bedingungen eines Gleichgewichts bei verdoppelter äquivalenter Kohlendioxidkonzentration werden ganze Vegetationstypen infolge möglicher Temperaturänderungen und veränderter Wasserverfügbarkeit in einem wesentlichen Anteil der bestehenden Waldfläche der Erde (im globalen Mittel ein Drittel, je nach Region zwischen einem Siebtel und zwei Dritteln variierend) großen Änderungen unterworfen sein, wobei die größten Änderungen in den hohen Breiten und die geringsten in den Tropen eintreten werden. Es ist zu erwarten, daß das Klima sich—im Verhältnis zur Geschwindigkeit von Wachstum, Vermehrung und Wiederansiedelung von Waldarten—sehr rasch ändern wird. Für die Gebiete der mittleren Breiten entspräche ein globaler Anstieg der mittleren Temperatur um 1-3,5°C im Lauf der nächsten 100 Jahre einer Verlagerung der gegenwärtigen Isothermen in Richtung der Pole um rund 150-550 km oder einer Höhenverlagerung um rund 150-550 m; in den niederen Breiten würden die Temperaturen im allgemeinen auf ein höheres Niveau als bisher steigen. Dies entspricht bisherigen Migrationsgeschwindigkeiten von Baumarten im Bereich von 4-200 km/Jahrhundert. Die Artenzusammensetzung in Wäldern wird sich daher wahrscheinlich verändern; ganze Waldtypen dürften verschwinden; es könnten sich neue Artenzusammensetzungen und somit neue Ökosysteme bilden (Abbildung 2 zeigt die

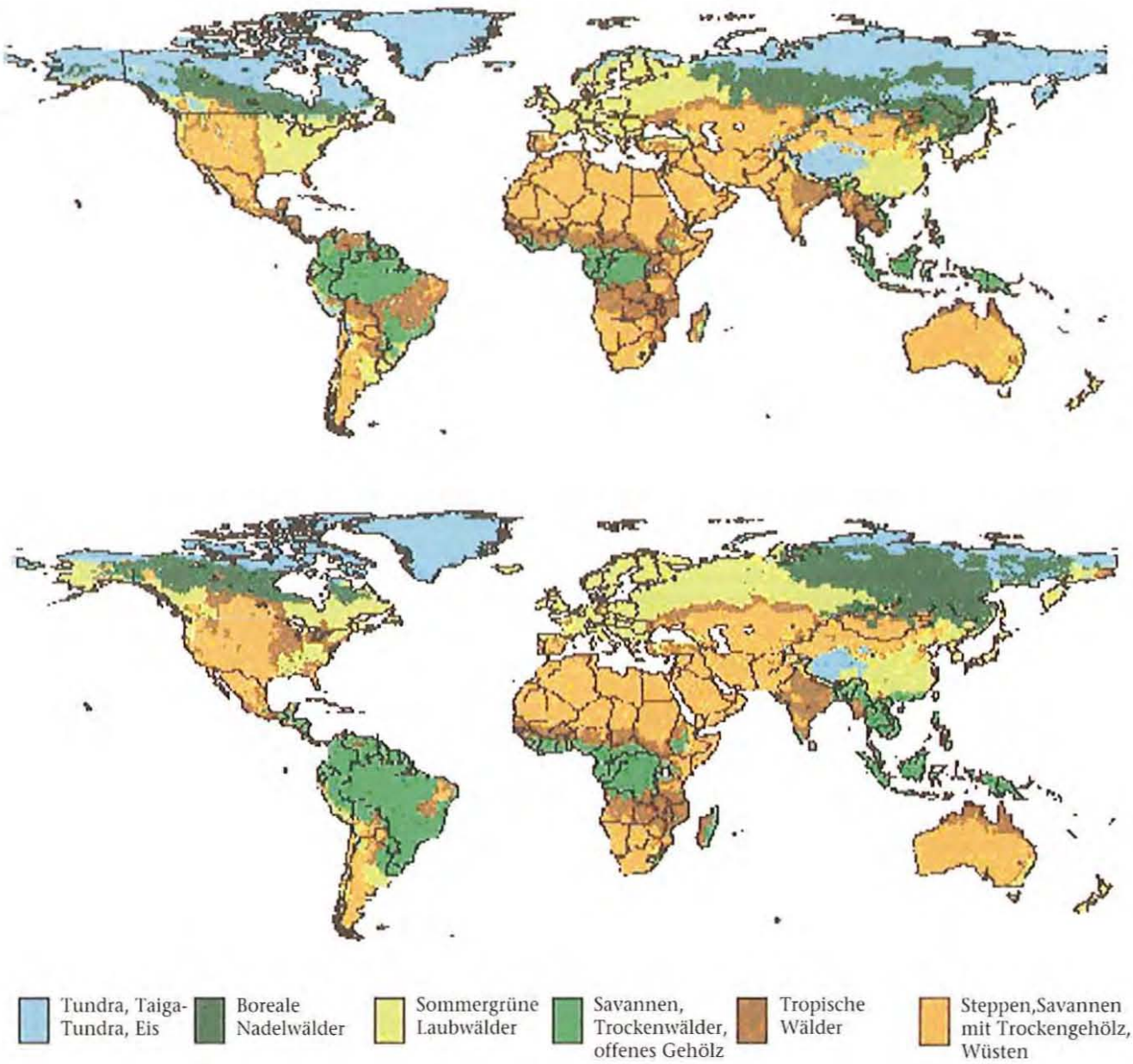


Abbildung 2: Potentielle Verteilung der wichtigsten Biome der Welt unter gegenwärtigen klimatischen Bedingungen, simuliert vom Modell MAPSS (Kartographisches System Atmosphäre-Pflanzen-Böden) (oben). Die "potentielle Verteilung" stellt die natürliche Vegetation dar, welche am jeweiligen Standort vorkommen kann bei gegebenen monatlichen Werten von Niederschlag, Temperatur, Feuchtigkeit und Windgeschwindigkeit. Die untere Abbildung zeigt die projezierte Verteilung der wichtigsten Biome der Welt durch eine Simulation der Auswirkungen von verdoppelten äquivalenten CO_2-Konzentrationen (GFDL Allgemeines Zirkulationsmodell), wobei die direkten physiologischen Auswirkungen von CO_2 auf die Vegetation berücksichtigt wurden. Beide Darstellungen adaptiert nach: Nielsen, R.P. and D. Marks, 1994: A global perspective of regional vegetation and hydrologic sensitivities from climate change. *Journal of Vegetation Science*, 5, 715-730.

mögliche Biom-Verteilung unter gegenwärtigen klimatischen Bedingungen sowie bei einer Verdoppelung der äquivalenten CO_2-Konzentration). Obschon die Primärproduktivität netto gesteigert werden könnte, dürfte dies auf die bestehende Waldbiomasse wegen des häufigeren und verbreiteteren Auftretens von Schädlingen und Pathogenen sowie zunehmender Häufigkeit und Intensität von Waldbränden nicht zutreffen. Während des Übergangs von einem Waldtypus zu einem anderen dürften große Mengen von Kohlenstoff in die Atmosphäre gelangen, da die Geschwindigkeit der Freisetzung von Kohlenstoff in Zeiten hoher Sterblichkeit von Wäldern höher ist als die der Einlagerung während der Wachstumsphase bis zur Reife.

Weidegebiete: In tropischen Weidegebieten sollten die mittleren Temperaturerhöhungen nicht zu wesentlichen

Änderungen der Produktivität und Artenzusammensetzung führen; solche werden aber durch Änderungen von Menge und jahreszeitlichen Verteilung von Regen sowie gesteigerte Evapotranspiration herbeigeführt. Eine gesteigerte atmosphärische Kohlendioxidkonzentration dürfte das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis im Futter von Pflanzenfressern erhöhen, was dessen Nährwert reduziert. Temperatur- und Niederschlagsverlagerungen in gemässigten Weidegebieten können zu veränderten Wachstumsperioden und Verlagerungen der Übergangszonen zwischen Grasland, Wäldern und Buschland führen.

Wüsten und Wüstenbildung: Wüsten werden wahrscheinlich extremer—insofern als projeziert wird, daß sie, mit einigen Ausnahmen, heisser, aber nicht deutlich feuchter werden. Temperatursteigerungen könnten Organismen bedrohen, welche nahe ihrer Wärmetoleranzgrenzen existieren. Die Auswirkungen auf Wasserhaushalt, Hydrologie und Vegetation sind unsicher. Im Übereinkommen der Vereinten Nationen zur Bekämpfung der Wüstenbildung wird Wüstenbildung als "Landzerstörung in ariden, semiariden und trockenen subhumiden Gebieten infolge verschiedener Faktoren, einschließlich Klimaschwankungen und menschlicher Tätigkeiten" definiert. Wüstenbildung wird umso eher unumkehrbar, wenn die Umwelt trockener wird und der Boden durch Erosion oder Verdichtung weiter degradiert wird. Eine Anpassung an Dürren und Wüstenbildung dürfte von der Entwicklung diversifizierter Produktionssysteme abhängen.

Kryosphäre: Modelle projezieren, daß von der bestehenden Gebirgsgletschermasse im Laufe der nächsten hundert Jahre ein Drittel bis die Hälfte verschwinden könnte. Die reduzierte Ausdehnung von Gletschern und die geringere Dicke von Schneedecken würden die jahreszeitliche Verteilung der Wassermenge in Flüssen und die Wasserversorgung für Wasserkraftwerke und die Landwirtschaft ebenfalls beeinflussen. Voraussichtliche Änderungen der Hydrologie und eine Reduktion von Ausdehnung und Dicke des Permafrosts könnten zu ausgedehnten Schäden bei der Infrastruktur, zu einer zusätzlichen Freisetzung von Kohlendioxid in die Atmosphäre und zu Änderungen bei den Prozessen führen, welche Methan in die Atmosphäre freisetzen. Eine Reduktion von Ausdehnung und Dicke des Meereseises würde die jahreszeitliche Dauer der Schiffbarkeit von Flüssen und Küstengewässern erhöhen, welche gegenwärtig durch jahreszeitlich bedingte Eisdecken eingeschränkt ist; auch könnte sich die Schiffbarkeit im Arktischen Ozean erhöhen. In Grönland und der Antarktis ist im Laufe der nächsten 50 bis 100 Jahre eine geringe Änderung des Ausmasses der Eismassen zu erwarten.

Gebirgsregionen: Die infolge eines wärmeren Klimas projezierte Reduktion der Ausdehnung von Gebirgsgletschern, Permafrost und Schneedecken wird hydrologische Systeme, die Bodenstabilität und davon abhängige sozioökonomische Systeme beeinflussen. Es wird projeziert, daß sich die Höhenverteilung der Vegetation nach oben verlagert; einige Arten, die klimabedingt auf Berggipfeln leben, könnten aussterben, weil ihr Habitat verschwindet oder weil sie verringerte Migrationsmöglichkeiten haben. In vielen Entwicklungsländern dürfte der Zugang der einheimischen Bevölkerung zu gebirgsspezifischen Ressourcen (z.B. Nahrungsmittel und Energieträger) unterbrochen werden. Ebenso wird die Freizeitindustrie wahrscheinlich leiden, welche in vielen Regionen eine wachsende wirtschaftliche Bedeutung erlangt hat.

Seen, Flüsse und Feuchtgebiete: Aquatische Binnenökosysteme werden von Klimaänderungen durch veränderte Wassertemperaturen, Abflußregimes sowie Wasserspiegel beeinflusst. In Seen und Flüssen hätte die Erwärmung die größten biologischen Auswirkungen in den hohen Breiten, wo die biologische Produktivität zunähme, und in den niederen Breiten an den Grenzen der Lebensbereiche von in kaltem und kühlem Wasser vorkommenden Arten, wo am meisten Arten aussterben würden. Eine Erwärmung größerer und tieferer Seen der gemässigten Zone würde deren Produktivität steigern, obschon diese Erwärmung in einigen flachen Seen und in Flüssen zu einer größeren Wahrscheinlichkeit von Sauerstoffmangel führen könnte. Zunehmende Variabilität in Zu- und Abfluß, vor allem die Häufigkeit und Dauer großer Überschwemmungen und Dürren, würde in den Flüssen eher zu einer Verschlechterung der Wasserqualität, der biologischen Produktivität und der Habitate führen. Der Wasserspiegel wird in Seen und Flüssen in trockenen Verdunstungsgebieten und in Becken mit kleinem Einzugsgebiet am ausgeprägtesten absinken. Bei veränderten Temperaturen und Niederschlägen wird sich die geographische Verteilung von Feuchtgebieten wahrscheinlich verlagern. Klimaänderungen werden auch die Freisetzung von Treibhausgasen aus Feuchtgebieten ohne Gezeiteneinfluß beeinflussen; über die genauen örtlichen Auswirkungen aber besteht Unsicherheit.

Küstensysteme: Küstensysteme sind ökonomisch und ökologisch wichtig; es wird projeziert, daß sie sehr unterschiedlich auf Änderungen des Klimas und des Meeresspiegels reagieren werden. Klimaänderungen und ein Ansteigen des Meeresspiegels oder Änderungen bei Stürmen oder Sturmfluten könnten zu folgenden Änderungen führen: Erosion von Küsten und küstennahen Habitaten, Anstieg des Salzgehaltes von Ästuaren und Süßwasser-Speichern, Änderung des Tidenhubes in Flüssen und Buchten, Änderungen beim Sediment- und Nährstofftransport und bei der Verteilung der chemischen und mikrobiologischen Verschmutzung in Küstengebieten sowie eine zunehmende Überflutung von Küsten. Einige Ökosysteme an Küsten sind besonders anfällig, u.a. Salzsümpfe, Mangroven-Ökosysteme, Küstenfeuchtgebiete, Korallenriffe, Korallenatolle und Flussdeltas. Veränderungen bei diesen Ökosystemen würden schwerwiegende nachteilige Auswirkungen auf den Tourismus, die Süßwasserversorgung, die Fischerei und die Artenvielfalt haben. Solche Auswirkungen würden das Funktionieren der küstennahen Meere und Binnengewässer—zusätzlich zu bereits bestehenden Auswirkungen infolge Verschmutzung, physikalischen Änderungen und Materialeinträgen durch menschliche Aktivitäten—verändern.

Ozeane: Klimaänderungen werden zu Veränderungen des Meeresspiegels führen, d.h. im Mittel zu dessen Ansteigen; ebenso könnten sie die Meereszirkulation, die vertikale

Durchmischung und das Wellenklima verändern sowie die Meereseisdecke reduzieren. Infolgedessen dürfte die Verfügbarkeit von Nährstoffen, die biologische Produktivität, die Struktur und die Funktionen von Meeresökosystemen sowie die Speicherkapazität für Wärme und Kohlenstoff beeinträchtigt werden, was mit wesentlichen Rückwirkungen auf das Klimasystem verbunden sein wird. Diese Änderungen hätten Auswirkungen auf Küstengebiete, Fischerei, Tourismus und Freizeitindustrie, Verkehr, Strukturen auf See, und Kommunikation. Paläoklimadaten und Modellexperimente lassen darauf schließen, daß sich das Klima plötzlich ändern kann, wenn die Süßwasserversorgung aus der Bewegung oder dem Abschmelzen von Meereseis oder Eisdecken die globale, durch die Verteilung von Temperatur und Salzgehalt angetriebene Zirkulation wesentlich schwächt.

3.2 Hydrologie und Management von Wasserressourcen

Klimaänderungen werden zu einer Intensivierung des globalen hydrologischen Kreislaufes führen und können größere Auswirkungen auf die regionalen Wasservorkommen haben. Eine Änderung der Wassermenge und -verteilung wird sich auf die Verfügbarkeit von Grund- und Oberflächenwasser für private und industrielle Zwecke, die Bewässerung, die Stromerzeugung aus Wasserkraft, die Navigation, die Ökosysteme in Fliessgewässern wie auch auf Freizeitaktivitäten in und am Wasser auswirken.

Veränderungen der Gesamtmenge, der Häufigkeit sowie Intensität des Niederschlags haben direkte Auswirkungen auf Menge und zeitlichen Verlauf des Abflusses sowie die Intensität von Überschwemmungen und Dürren; allerdings sind gegenwärtig die einzelnen regionalen Auswirkungen unsicher. Relativ geringe Änderungen von Temperatur und Niederschlägen können, zusammen mit den nichtlinearen Auswirkungen auf die Evapotranspiration und die Bodenfeuchtigkeit, besonders in ariden und semiariden Gebieten zu relativ großen Änderungen der Abflußmenge führen. In hohen Breiten könnte die Abflußmenge infolge gesteigerter Niederschläge ansteigen, in niederen Breiten infolge der kombinierten Wirkung gesteigerter Evapotranspiration und geringerer Niederschläge jedoch sinken. Tendenziell würden intensivere Regenfälle die Abflußmenge und die Gefahr von Überschwemmungen steigern, obschon dies nicht nur von der Änderung der Regenmenge, sondern auch von den physikalischen und biologischen Bedingungen im Einzugsgebiet abhängt. Ein wärmeres Klima könnte den Anteil der als Schnee fallenden Niederschläge verringern, was zu Reduktionen der Abflußmengen im Frühjahr und deren Zunahme im Winter führen könnte.

Die Wassermenge und die Wasserqualität sind bereits jetzt in vielen Regionen—u.a. in einigen tiefliegenden Küstengebieten, in Deltas und auf kleinen Inseln—ein ernsthaftes Problem, was die Länder in diesen Regionen besonders anfällig auf zusätzliche Reduktionen der einheimischen Wasserversorgung macht. Die pro Person und Jahr verfügbare Wassermenge fällt gegenwärtig in einer Reihe von Ländern (z.B. in Kuwait, Jordanien, Israel, Ruanda, Somalia, Algerien und in Kenia) unter 1'000 m^3—einer allgemeinen Wasserarmutsgrenze—oder wird voraussichtlich im Laufe der nächsten zwei oder drei Jahrzehnte unter diesen Wert fallen (z.B. in Libyen, Ägypten, Südafrika, Äthiopien und im Iran). Zudem hängen zahlreiche Länder in konfliktreichen Zonen in hohem Maße von Wasser ab, das außerhalb ihrer Grenzen entspringt (z.B. Kambodscha, Syrien, Sudan, Ägypten und Irak).

Die Auswirkungen von Klimaänderungen werden einerseits von den Grundbedingungen der Wasserversorgungssysteme abhängen und andererseits von der Fähigkeit der Manager von Wasserressourcen, nicht nur auf Klimaänderungen, sondern auch auf das Bevölkerungswachstum und Änderungen im Wasserbedarf, bei Technologien sowie ökonomischen, sozialen und rechtlichen Bedingungen zu reagieren. In einigen Fällen—besonders in den wohlhabenderen Ländern mit integrierten Systemen für die Wasserverwaltung—könnte es möglich sein, die Wasserverbraucher bei minimalen Kosten durch verbessertes Management vor den Folgen von Klimaänderungen zu schützen; in vielen anderen Fällen jedoch, besonders in Gebieten, wo bereits Wasserknappheit herrscht und wo unter den Verbrauchern ein erheblicher Wettbewerb um Wasser herrscht, könnten die ökonomischen, sozialen und Umweltkosten beträchtlich sein. Die Experten sind sich nicht einig, ob die Wasserversorgungssysteme in Zukunft ausreichend ausgebaut werden können, um die projezierten nachteiligen Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Wasservorkommen und den potentiell steigenden Bedarf aufzuwiegen.

Es bestehen u.a. folgende Optionen für den Umgang mit den möglichen Auswirkungen eines geänderten Klimas und der steigenden Unsicherheit über die zukünftige Verfügbarkeit von und den Bedarf an Süßwasser: effizienteres Management der bestehenden Versorgung und Infrastruktur, institutionelle Vereinbarungen zur Einschränkung des zukünftigen Bedarfs sowie zur Steigerung von Einsparungen, verbesserte Überwachungs- und Vorhersagesysteme für Überschwemmungen/Dürren, Wiederherstellung von Entwässerungsgebieten (vor allem in den Tropen) sowie Bau neuer Reservoirkapazitäten für die Rückhaltung und Speicherung überschüssiger Wassermengen, die durch eine veränderte räumliche und zeitliche Verteilung bei der Schneeschmelze und bei Stürmen entstehen.

3.3 Nahrungsmittel und Fasern

Landwirtschaft: Die von Klimaänderungen ausgelösten Ertrags- und Produktivitätsänderungen werden in verschiedenen Regionen und an verschiedenen Orten sehr unterschiedlich ausfallen und somit die Produktionsmuster verändern. Es wird projeziert, daß die Produktivität in einigen Gebieten steigen, in anderen jedoch fallen wird, besonders in den Tropen und Subtropen (Tabelle 2). Klimaänderungen wurden unter den Gleichgewichtsbedingungen einer verdoppelten äquivalenten CO_2-Konzentration mit allgemeinen Zirkulationsmodellen (General Circulation Models, GCMs) simuliert. Bisherige Studien anhand dieser Simulationen zeigen, daß die weltweite landwirtschaftliche Produktion im Verhältnis zur Produktion im Referenzfall zwar aufrechterhalten werden könnte, daß aber die Auswirkungen regional sehr unterschiedlich ausfallen würden. Diese Schlußfolgerung berücksichtigt die positiven

Tabelle 2: Auswirkungen auf die Ernteerträge ausgewählter Kulturen unter Gleichgewichtsbedingungen einer verdoppelten CO_2-Konzentration in Szenarien mit allgemeinen Zirkulationsmodellen (GCM).

Region	*Kultur*	*Auswirkungen auf Erträge (%)*	*Kommentare*
Lateinamerika	Mais	-61 bis Steigerung	Zahlen von Argentinien, Brasilien, Chile und Mexiko; Bereich über GCM-Szenarien, mit und ohne CO_2-Effekt.
	Weizen	-50 bis -5	Zahlen von Argentinien, Uruguay und Brasilien; Bereich über GCM-Szenarien, mit und ohne CO_2-Effekt.
	Sojabohnen	-10 bis +40	Zahlen von Brasilien; Bereich über GCM-Szenarien, mit CO_2-Effekt.
Frühere Sovietunion	Weizen Korn	-19 bis +41 -14 bis +13	Bereich über GCM-Szenarien und Regionen, mit CO_2-Effekt.
Europa	Mais	-30 bis Steigerung	Zahlen von Frankreich, Spanien und Nordeuropa; mit Anpassung und CO_2-Effekt, Annahmen: längere Anbauperiode, geringere Bewässerungseffizienz und Verlagerung nordwärts.
	Weizen	Steigerung oder Einbusse	Zahlen von Frankreich, Grossbritannien und Nordeuropa; mit Anpassung und CO_2-Effekt, Annahmen: längere Anbauperiode, Verlagerung nordwärts, stärkere Schäden durch Schädlinge, geringeres Risiko von Missernten.
	Gemüse	Steigerung	Zahlen von Grossbritannien und Nordeuropa; Annahmen: stärkere Schäden durch Schädlinge, geringeres Risiko von Missernten.
Nordamerika	Mais Weizen	-55 bis +62 -100 bis +234	Zahlen von USA und Kanada; Bereich über GCM-Szenarien und Standorte, mit/ohne Anpassung und mit/ohne CO_2-Effekt.
	Sojabohnen	-96 bis +58	Zahlen von USA; weniger starke Einbussen oder Steigerung mit CO_2 und Anpassung.
Afrika	Mais	-65 bis +6	Zahlen von Ägypten, Kenia, Südafrika und Simbabwe; Bereich über Studien und Klimaszenarien, mit CO_2-Effekt.
	Hirse	-79 bis -63	Zahlen von Senegal; Tragekapazität um 11–38% gefallen.
	Biomasse	Einbusse	Zahlen von Südafrika; Verlagerung der Agrarzone.
Südasien	Reis Mais Weizen	-22 bis +28 -65 bis -10 -61 bis +67	Zahlen von Bangladesh, Indien, Philippinen, Thailand, Indonesien, Malaysia and Myanmar; Bereich über GCM-Szenarien, mit CO_2-Effekt; einige Studien berücksichtigen auch Anpassung.
China	Reis	-78 bis +28	Einschliesslich niederschlagsversorgte und bewässerte Reiskulturen; Bereich über Standorte und GCM-Szenarien; genetische Unterschiede beinhalten Chancen für Anpassung.
Übriges Asien und Pazifikland	Reis	-45 bis +30	Zahlen von Japan and Südkorea; Bereich über GCM-Szenarien; allgemein positiv in Nord-, negativ in Südjapan.
	Weideland	-1 bis +35	Zahlen von Australien und Neuseeland; regionale Unterschiede.
	Weizen	-41 bis +65	Zahlen von Australien und Japan; grosse regionale Unterschiede, je nach Kulturvarietät.

Anmerkung: Die Studien konzentrierten sich für die meisten Regionen auf ein bis zwei Hauptkulturen. Diese Studien zeigen ganz klar die Unterschiede der geschätzten Auswirkungen auf die Ernteerträge zwischen den verschiedenen Ländern, Szenarien, Analysemethoden und Kulturen, was eine Verallgemeinerung der Ergebnisse über verschiedene geographische Gebiete oder für unterschiedliche Klimaszenarien erschwert.

Auswirkungen des Kohlendioxid-Düngungseffekts, nicht aber Veränderungen bei landwirtschaftlichen Schädlingen oder die möglichen Auswirkungen veränderlicher Klimavariabilität.

Der Blick auf die globale landwirtschaftliche Produktion klammert die potentiell ernsthaften Konsequenzen der großen Unterschiede im lokalen und regionalen Maßstab, sogar in den mittleren Breiten, aus. An einigen Orten dürfte die Gefahr von Hunger und Hungersnöten zunehmen; viele der ärmsten Menschen auf der Erde—besonders in den Subtropen und Tropen und solche, die in ariden und semiariden Gebieten von isolierten landwirtschaftlichen Systemen abhängig sind—sind am meisten von zunehmendem Hunger bedroht. Viele dieser bedrohten Bevölkerungsgruppen leben in Afrika südlich der Sahara, in Süd-, Ost- und Südostasien, in tropischen Gebieten Lateinamerikas und in einigen Nationen der Pazifikinseln.

Anpassung—z.B. andere Kulturen und Sorten, verbessertes Wassermanagement, verbesserte Bewässerungssysteme, veränderte Anbauzeiten sowie Methoden der Bodenbestellung—wird für die Begrenzung der nachteiligen Auswirkungen und für die Nutzung der positiven Auswirkungen von Klimaänderungen wesentlich sein. Das Ausmaß der Anpassung hängt davon ab, ob sich insbesondere Entwicklungsländer solche Maßnahmen leisten können, sowie vom Zugang zu Know-how und Technologien, der Geschwindigkeit von Klimaänderungen und von biopysikalischen Einschränkungen (z.B. der Verfügbarkeit von Wasser, der Bodencharakteristiken, oder der genetischen Qualität der Pflanzen). Die Zusatzkosten von Anpassungsstrategien könnten für Entwicklungsländer eine ernsthafte Belastung darstellen; einige dieser Strategien dürften in manchen Ländern zu Kosteneinsparungen führen. In bezug auf die Fähigkeit von verschiedenen Regionen, sich erfolgreich an die projezierten Klimaänderungen anzupassen, bestehen bedeutende Unsicherheiten.

Die Viehproduktion dürfte von veränderten Futtermittelpreisen sowie Änderungen in bezug auf Weidegebiete- und Weideproduktivität betroffen sein. Im allgemeinen weisen die Analysen darauf hin, daß intensive Viehhaltungssysteme ein größeres Anpassungspotential aufweisen als Ackerbausysteme. Dies dürfte nicht auf ländliche Systeme zutreffen, wo die Einführung neuer Technologien langsam vor sich geht und technologische Änderungen als riskant gelten.

Walderzeugnisse: Weltweit dürfte die Holzversorgung aufgrund klimatischer und nicht-klimatischer Faktoren im Laufe des kommenden Jahrhunderts immer weniger ausreichend sein, um die projezierte Nachfrage zu decken. Die nördlichen Wälder werden infolge der Auswirkungen von projezierten Klimaänderungen wahrscheinlich ungewöhnliche und weitreichende Verluste an lebenden Bäumen erleiden. Solche Verluste könnten anfangs einen zusätzlichen Holzausstoß aus Zwangsernten erzeugen, langfristig aber den Baumbestand und die Versorgung mit Holzprodukten stark reduzieren. Der genaue zeitliche Verlauf und das genaue Ausmaß dieser Entwicklung sind unsicher. Es wird erwartet, daß die Auswirkungen von Klima und Landnutzung auf die Produktion von Erzeugnissen in gemässigten Wäldern relativ gering sein werden. Es wird projeziert, daß sich in den Tropen infolge nicht-klimatischer Gründe in Zusammenhang mit menschlichen Aktivitäten die Verfügbarkeit von Walderzeugnissen ungefähr halbiert.

Fischerei: Die Auswirkungen von Klimaänderungen wirken mit denjenigen des herrschenden Überfischens, von kleiner werdenden Aufzuchtgebieten sowie der ausgedehnten Verschmutzung in Küstennähe und an der Küste zusammen. Es wird erwartet, daß die Meerfischproduktion weltweit ungefähr gleich bleibt. Vorausgesetzt, daß die natürliche Klimavariabilität sowie Struktur und Stärke der Meeresströmungen etwa gleichbleiben, wird die Produktion aus Süßgewässern und Zuchten in den hohen Breiten wahrscheinlich ansteigen. Die wichtigsten Auswirkungen werden national und lokal zu spüren sein, da sich die Arten vermischen und sich die Produktionszentren verlagern. Die positiven Auswirkungen von Klimaänderungen—z.B. längere Wachstumsperioden, geringere natürliche Sterblichkeit im Winter, höhere Wachstumsraten in den höheren Breiten—dürften durch negative Faktoren—z.B. Änderungen des bisherigen Fortpflanzungsverhaltens, der Migrationswege und der ökosystemaren Wechselbeziehungen—aufgehoben werden.

3.4 Infrastruktur für Menschen

Klimaänderungen und ein darauf zurückzuführendes Ansteigen des Meeresspiegels können eine ganze Reihe nachteiliger Auswirkungen auf die Infrastrukturen für Energie, Industrie und Verkehr, auf menschliche Siedlungen, die Sachversicherungsindustrie, den Tourismus sowie kulturelle Systeme und Wertvorstellungen haben.

Im allgemeinen ist die Sensitivität der Sektoren Energie, Industrie und Verkehr im Vergleich zu derjenigen von landwirtschaftlichen oder natürlichen Ökosystemen verhältnismäßig gering und ist das Anpassungsvermögen durch Kapitalmanagement und üblichen Kapitalersatz voraussichtlich hoch. Allerdings dürften Infrastruktur und Aktivitäten in diesen Sektoren plötzlichen Änderungen, Überraschungen und einer gesteigerten Häufigkeit oder Intensität extremer Ereignisse ausgesetzt sein. Die für Klimaänderungen empfindlichsten Subsektoren und Aktivitäten umfassen u.a. die Agrarindustrie, den Energiebedarf, die Produktion bei erneuerbaren Energien (z.B. Wasserkraft und Biomasse), das Bauwesen, gewisse Teile des Verkehrs, bestehende Schutzvorrichtungen gegen Überschwemmungen und vielerorts die Verkehrsinfrastruktur, auch in anfälligen Küstenzonen und Permafrostregionen.

Klimaänderungen werden die Anfälligkeit mancher Küstenpopulationen auf Überschwemmungen und den Landverlust durch Erosion ganz klar erhöhen. Schätzungen zufolge sind derzeit jährlich rund 46 Millionen Menschen durch Überschwemmungen infolge von Sturmfluten gefährdet. Diese Schätzung beruht auf der Multiplikation der Gesamtzahl von Menschen, die gegenwärtig in potentiellen Flutgebieten leben, mit der Wahrscheinlichkeit von Überschwemmungen dieser Orte in jedem Jahr, unter Annahme gegenwärtiger Schutzmaßnahmen und Bevölkerungsdichten. Ohne Anpassungsmaßnahmen würde diese Zahl durch ein Ansteigen des

Meeresspiegels um 50 cm auf rund 92 Millionen erhöht; ein Anstieg um 1 m hätte die Gefährdung von 118 Millionen Menschen zur Folge. Wird das erwartete Bevölkerungswachstum einbezogen, steigen diese Zahlen beträchtlich an. Manche kleine Inselstaaten und andere Länder werden sich einer größeren Anfälligkeit ausgesetzt sehen, da ihre bestehenden Küstenschutzsysteme weniger gut ausgebaut sind. Länder mit hoher Bevölkerungsdichte wären anfälliger. In diesen Ländern könnte ein Ansteigen des Meeresspiegels im Land selber oder international zur Migration von Bevölkerungsteilen führen.

Eine Anzahl von Studien hat die Sensitivität bei einem Ansteigen des Meeresspiegels um 1 m untersucht. Dieser Anstieg ist an der oberen Grenze der Schätzungen von IPCC-Arbeitsgruppe I für das Jahr 2100; allerdings sollte festgehalten werden, daß ein weiterer Anstieg des Meeresspiegels in den Jahrhunderten nach 2100 projeziert wird. Die Studien, welche auf dieser 1-m-Projektion beruhen, zeigen eine besondere Gefährdung für kleine Inseln und Deltas. Die unter Annahme der gegenwärtigen Küstenschutzsysteme geschätzten Landverluste reichen von 0,05% in Uruguay, 1,0% in Ägypten, 6% in den Niederlanden und 17,5% in Bangladesch bis zu rund 80% im Majuro-Atoll der Marschall-Inseln. Eine große Anzahl von Menschen sind ebenfalls betroffen—z.B. je rund 70 Millionen in China und Bangladesch. Viele Länder könnten einen Kapitalverlust von über 10% ihres Bruttoinlandproduktes (BIP) erleiden. Obschon die jährlichen Kosten für Schutzmaßnahmen in vielen Ländern relativ gering sind (ca. 0,1% des BIP), belaufen sich die mittleren jährlichen Kosten für viele kleine Inselstaaten auf mehrere Prozente des BIP. Für manche Inselstaaten wären die hohen Kosten für Schutzvorrichtungen gegen Sturmfluten unerschwinglich, vor allem angesichts der beschränkten Verfügbarkeit von Investitionskapital.

Die anfälligsten menschlichen Siedlungen befinden sich in den schadensanfälligen Gebieten der Entwicklungsländer, welche nicht über die Mittel verfügen, diese Auswirkungen zu bewältigen. Eine wirksame Bewirtschaftung der Küstenzonen und Landnutzungsregeln können dazu beitragen, Bevölkerungsverlagerungen von anfälligen Gebieten (z.B. Überschwemmungsgebiete, steile Abhänge und tiefliegende Küstengebiete) wegzulenken. Eine der potentiell einzigartigen und zerstörerischen Auswirkungen auf menschliche Siedlungen ist die erzwungene Migration der Bevölkerung im Land selbst oder international. Katastrophenhilfsprogramme können manche der ernsthafteren nachteiligen Auswirkungen von Klimaänderungen aufwiegen und die Anzahl ökologischer Flüchtlinge verringern.

Sachversicherungen sind für extreme Klimaereignisse anfällig. Ein höheres Risiko extremer Ereignisse infolge von Klimaänderungen könnte in manchen anfälligen Gebieten zu höheren Versicherungsprämien oder zur Ablehnung der Versicherungsdeckung führen. Änderungen der Klimavariabilität und das Risiko extremer Ereignisse dürften schwer nachzuweisen oder zu projezieren sein, was es den Versicherungsgesellschaften erschwert, die Prämien entsprechend festzulegen. Falls dies zu Insolvenz führt, dürften sich Gesellschaften außerstande sehen, die Versicherungsverträge zu erfüllen, was zu einer wirtschaftlichen Schwächung anderer Sektoren, z.B. der Banken, führen könnte. Die Versicherungsindustrie ist gegenwärtig infolge einer Reihe von "Milliarden-Dollar"-Stürmen seit 1987 unter Druck, was ein dramatisches Ansteigen der Verluste, einen Rückgang der Versicherbarkeit und ein Ansteigen der Kosten zur Folge hat.

Einige in der Versicherungsindustrie nehmen einen gegenwärtigen Trend zu steigender Häufigkeit und Intensität extremer Klimaereignisse wahr. Die Überprüfung der meteorologischen Daten liefert keine Erhärtung dieser Wahrnehmungen im Kontext einer längerfristigen Veränderung, obschon eine Verlagerung innerhalb der Grenzen der natürlichen Variabilität stattgefunden haben könnte. Höhere Verluste reflektieren in hohem Maße sowohl eine Wertsteigerung bei der Infrastruktur und der Wirtschaft in anfälligen Gebieten als auch eine mögliche Verlagerung der Intensität und Häufigkeit extremer Wetterereignisse.

3.5 Menschliche Gesundheit

Klimaänderungen werden wahrscheinlich vielfältige und im wesentlichen nachteilige Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben und zu einer bedeutenden Anzahl von Todesfällen führen. Diese Auswirkungen würden sowohl auf direkten wie indirekten Wegen erfolgen (Abbildung 3), und es ist wahrscheinlich, daß die indirekten Auswirkungen langfristig gesehen vorherrschen würden.

Direkte Auswirkungen für die Gesundheit umfassen ein Ansteigen der Sterblichkeit und von Erkrankungen (im wesentlichen Herz-, Gefäß- und Lungenerkrankungen) infolge der erwarteten Zunahme der Intensität und Dauer von Hitzewellen. Ein Ansteigen der Temperaturen in kälteren Gebieten sollte eine geringere Anzahl von kältebedingten Todesfällen bewirken. Eine Zunahme extremer Wetterereignisse würde zu einer grösseren Häufigkeit von Todesfällen, Verletzungen und psychischen Störungen führen; eine grössere Anzahl Menschen wären verschmutztem Wasser ausgesetzt.

Indirekte Auswirkungen von Klimaänderungen beinhalten eine Zunahme der potentiellen Übertragung von Infektionskrankheiten (z.B. Malaria, Denguefieber, Gelbfieber, gewisse Arten der viralen Hirnhautentzündung), welche auf einer geographischen Ausdehnung und einer längeren saisonalen Lebenszeit der Vektororganismen beruhen. Projektionen mit Modellen (welche notwendigerweise vereinfachte Annahmen bedingen) zeigen, daß sich in der zweiten Hälfte des nächsten Jahrhunderts das geographische Gebiet der potentiellen Malariaübertragung infolge eines globalen Temperaturanstiegs um 3-5°C bis 2100 (d.h. im oberen Teil des von IPCC projezierten Bereichs) ausdehnen würde. Der dadurch betroffene Anteil der Weltbevölkerung würde von rund 45% auf rund 60% ansteigen. Dies könnte zu einem potentiellen Anstieg der Malariahäufigkeit führen (in der Grössenordnung von 50-80 Millionen zusätzlicher Fälle pro Jahr im Verhältnis zu einem angenommenen globalen Hintergrund von insgesamt 500 Millionen Fällen), vorwiegend bei tropischen und subtropischen Populationen sowie weniger gut geschützten Populationen der gemässigten Zone. Nicht durch Vektoren ausgelöste

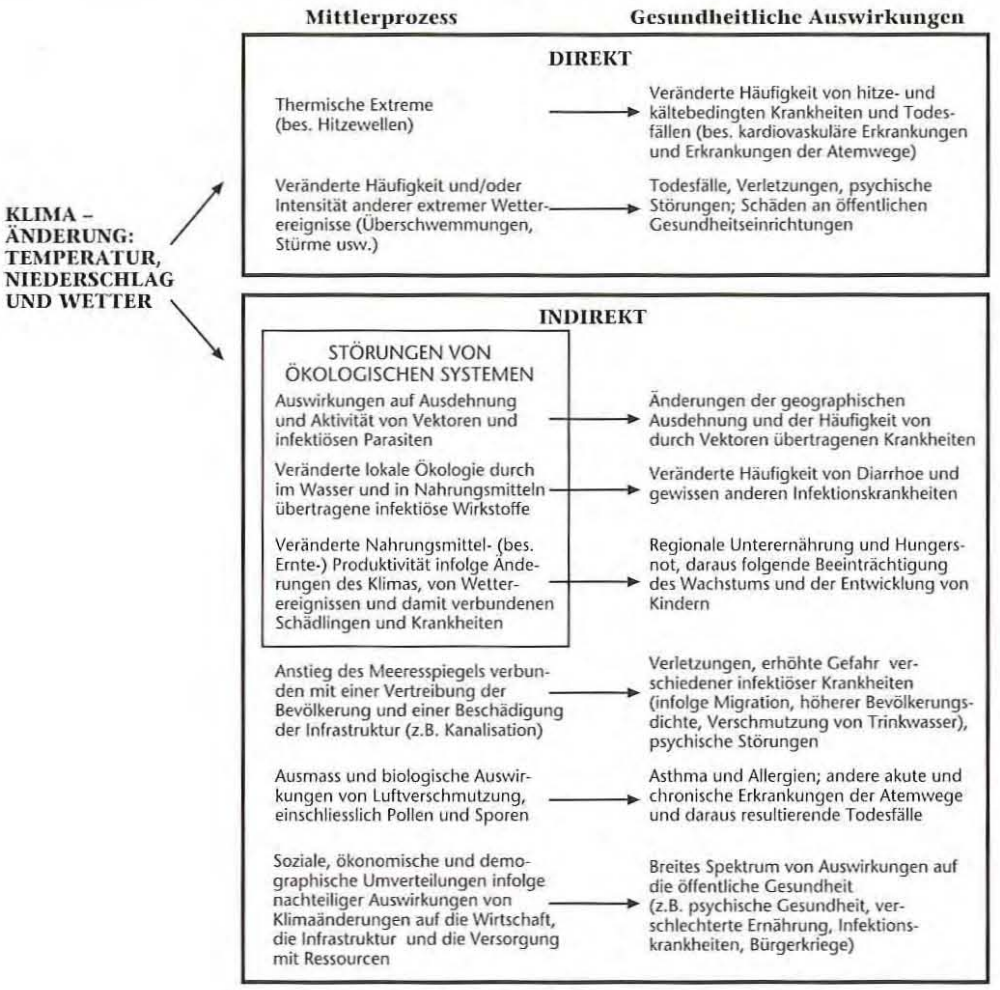


Abbildung 3: Mögliche Wege, wie sich Klimaänderungen auf die menschliche Gesundheit auswirken können.

Infektionskrankheiten—wie Salmonellose, Cholera und Giardiose—könnten teilweise infolge höherer Temperaturen und häufigerer Überschwemmungen ebenfalls ansteigen.

Zusätzliche indirekte Folgen umfassen Erkrankungen der Atemwege und Allergien aufgrund eines klimabedingten Anstiegs mancher luftverschmutzender Substanzen sowie Pollen und Schimmelsporen. Zusammen tragen die Luftverschmutzung und belastende Wetterereignisse dazu bei, daß die Wahrscheinlichkeit von Krankheiten und Todesfällen zunimmt. In einigen Gebieten könnte sich der Ernährungszustand infolge nachteiliger Auswirkungen auf Nahrungsmittelproduktion und Fischerei verschlechtern. Begrenzte Süßwasservorräte werden sich ebenfalls auf die menschliche Gesundheit auswirken.

Es ist schwierig, die projezierten Auswirkungen zu quantifizieren, denn das Ausmaß von klimabedingten gesundheitlichen Störungen hängt von zahlreichen, gleichzeitig existierenden und zusammenwirkenden Faktoren ab, welche die Anfälligkeit der jeweiligen Bevölkerung beschreiben. Dazu zählen der Zustand der Umwelt, sozioökonomische Bedingungen, Ernährungs- und Immunitätszustand, Bevölkerungsdichte und Verfügbarkeit gut ausgebauter Gesundheitseinrichtungen. Anpassungsoptionen zur Reduktion der Auswirkungen auf die Gesundheit umfassen u.a. Schutztechnologien (z.B. Wohnungsbau, Klimaanlagen, Wasserreinigung, Impfungen), gute Vorbereitung auf Katastrophen und angemessene Gesundheitseinrichtungen.

4. OPTIONEN FÜR DIE EMISSIONS-REDUKTION UND DEN SENKENAUSBAU VON TREIBHAUSGASEN

Menschliche Aktivitäten steigern direkt die atmosphärischen Konzentrationen verschiedener Treibhausgase, insbesondere Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), halogenierte Kohlenwasserstoffe, Lachgas (Distickstoffoxid, N_2O) und Schwefelhexafluorid (SF_6). Kohlendioxid ist das wichtigste dieser Gase, gefolgt von Methan. Menschliche Aktivitäten wirken sich ebenfalls indirekt auf die Konzentrationen von Wasserdampf und Ozon aus. Bedeutende Reduktionen der Nettoemissionen von Treibhausgasen sind technisch möglich und können ökonomisch vernünftig sein. Diese Reduktionen können durch den Einsatz einer Vielzahl von Technologien und durch politische Maßnahmen erreicht werden, welche die technologische Entwicklung, Verbreitung und den Transfer in allen

Sektoren, einschließlich Energie, Industrie, Verkehr, Haushalte, Kleinverbraucher sowie Land- und Forstwirtschaft beschleunigen. Bis zum Jahr 2100 wird das kommerzielle Energiesystem der Erde mindestens zwei Mal ersetzt worden sein, was Gelegenheiten bietet, es ohne vorzeitige Stillegung von Kapitalgütern zu ändern; bedeutende Mengen von Kapitalgütern in den Sektoren Industrie, Kleinverbrauch, Haushalte sowie Landwirtschaft und Forstwirtschaft werden ebenfalls ersetzt. Diese Kapitalersatzzyklen bieten Gelegenheiten, neue Technologien mit besserer Leistung einzusetzen. Es muss festgestellt werden, daß es nicht das Ziel der Analysen der Arbeitsgruppe II ist, die potentiellen makroökonomischen Folgen zu quantifizieren, welche mit Abschwächungsmaßnahmen verbunden sein könnten. Makroökonomische Analysen werden im Beitrag von IPCC-Arbeitsgruppe III zum Zweiten Sachstandsbericht diskutiert. Das Ausmaß, in welchem das technische Potential ausgeschöpft und Kostengünstigkeit verwirklicht werden, hängt von Initiativen ab, mit denen einem Mangel an Information begegnet und kulturelle, institutionelle, rechtliche, finanzielle und ökonomische Hemmnisse überwunden werden sollen, welche der Verbreitung von Technologie oder Verhaltensänderungen im Wege stehen. Abschwächungsoptionen können in den Grenzen der Kriterien für nachhaltige Entwicklung durchgeführt werden. Soziale und umweltrelevante Kriterien, die nicht im Zusammenhang mit der Reduktion der Emissionen von Treibhausgasen stehen, könnten allerdings das volle Potential jeder dieser Optionen einschränken.

4.1 Emissionen aus Energie, industriellen Prozessen und menschlichen Siedlungen

Der weltweite Energiebedarf nimmt seit beinahe zwei Jahrhunderten um durchschnittlich rund 2% pro Jahr zu, obschon die Zunahme des Energiebedarfs je nach Zeitraum und Region beträchtlich schwankt. In der veröffentlichten Fachliteratur werden für die Beschreibung des Energieverbrauches unterschiedliche Methoden und Konventionen verwendet. Diese Konventionen unterscheiden sich z.B. je nach ihrer Definition der Sektoren und deren Behandlung von Energieformen. Gemäss den aggregierten nationalen Energiebilanzen betrug der Primärenergieverbrauch 1990 weltweit 385 EJ, was zu einem Ausstoss von 6 GtC als CO_2 führte. Davon wurden 279 EJ an die Endverbraucher abgegeben, was 3,7 Gt Kohlenstoffemissionen als CO_2 am Ort des Verbrauchs entspricht. Die verbleibenden 106 EJ wurden bei der Energieumwandlung und -verteilung verbraucht, was Emissionen von 2,3 GtC als CO_2 ausmacht. 1990 waren die drei grössten energieverbrauchenden Sektoren die Industrie (45% des gesamten CO_2-Ausstoßes), Haushalte/Kleinverbraucher (29%) sowie der Verkehr (21%). Von diesen Sektoren nahmen Energieverbrauch und damit zusammenhängende CO_2-Emissionen in den vergangenen zwei Jahrzehnten im Verkehr am schnellsten zu. Der detaillierten sektoralen Beurteilung der Abschwächungsoptionen in diesem Bericht liegen Annahmen über den Energieverbrauch im Jahre 1990 zugrunde, welche aus verschiedenen Quellen stammen; verschiedene Konventionen wurden für die Definition dieser Sektoren und deren Energieverbrauch herangezogen, welcher auf insgesamt 259-282 EJ geschätzt wird.

Abbildung 4 zeigt die gesamten energiebedingten Emissionen nach Hauptregionen der Erde. Die Länder der OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) waren und sind die wichtigsten Energieverbraucher und für den grössten Teil der CO_2-Emissionen aus fossilen Energieträgern verantwortlich, obschon ihr Anteil an den weltweiten CO_2-Emissionen aus fossilen Energieträgern zurückgeht. Auf die Entwicklungsländer, als Gruppe genommen, entfällt immer noch ein kleinerer Anteil der weltweiten Kohlendioxidemissionen als auf die industrialisierten Länder—OECD und frühere Sowjetunion/Osteuropa—aber die meisten Projektionen zeigen, daß der Anteil der Entwicklungsländer bei der erwarteten Geschwindigkeit des Wirtschafts- und Bevölkerungswachstums zunehmen wird. Es wird angenommen, daß der Energiebedarf weiterhin—mindestens in der ersten Hälfte des nächsten Jahrhunderts—steigt. IPCC (1992, 1994) projeziert, daß es in den Sektoren Industrie, Verkehr sowie Kleinverbraucher und Haushalte ohne politische Eingriffe zu bedeutenden Emissionssteigerungen kommen könnte.

4.1.1. *Energiebedarf*

Zahlreiche Studien zeigen, daß es vernünftig ist, durch technische Einsparungsmaßnahmen und verbessertes Management über die kommenden zwei bis drei Jahrzehnte in vielen Teilen der Erde die Energieeffizienz um 10-30% über den gegenwärtigen Stand zu geringen oder keinen Nettokosten zu steigern. Im gleichen Zeiträum wäre in vielen Ländern eine Effizienzsteigerung von 50-60% technisch vernünftig, wenn die gegenwärtig energieeffizientesten Technologien eingesetzt würden. Ob diese Potentiale ausgeschöpft werden, hängt von zukünftigen Kostensenkungen, Finanzierung und Technologietransfer ab sowie von Maßnahmen zur Überwindung einer Vielzahl von nicht-technischen Hemmnissen. Das Potential für die Reduktion von Treibhausgasemissionen übertrifft dank der Möglichkeit, Brennstoffe und Energiequellen zu wechseln, dasjenige für effizienteren Energieverbrauch. Da der Energieverbrauch weltweit zunimmt, könnte sogar der Ersatz der gegenwärtigen durch effizientere Technologien noch zu einem absoluten Anstieg der künftigen CO_2-Emissionen führen.

1992 stellte IPCC sechs Szenarien (IS92a-f) für den zukünftigen Energieverbrauch und die damit zusammenhängenden Treibhausgasemissionen vor (IPCC, 1992, 1995). Diese Szenarien umfassen einen weiten Bereich möglicher zukünftiger Treibhausgasemissionen; sie beinhalten keine Abschwächungsmaßnahmen.

Im Zweiten Sachstandsbericht wurde der zukünftige Energieverbrauch aufgrund vorhandener Studien auf einer detaillierteren sektoralen Basis, sowohl mit und ohne neue Abschwächungsmaßnahmen, neu untersucht. Trotz unterschiedlicher Beurteilungsansätze stimmen die resultierenden Bereiche des Energieverbrauchsanstiegs bis 2025 ohne neue Maßnahmen im großen Ganzen mit denjenigen der IS92-

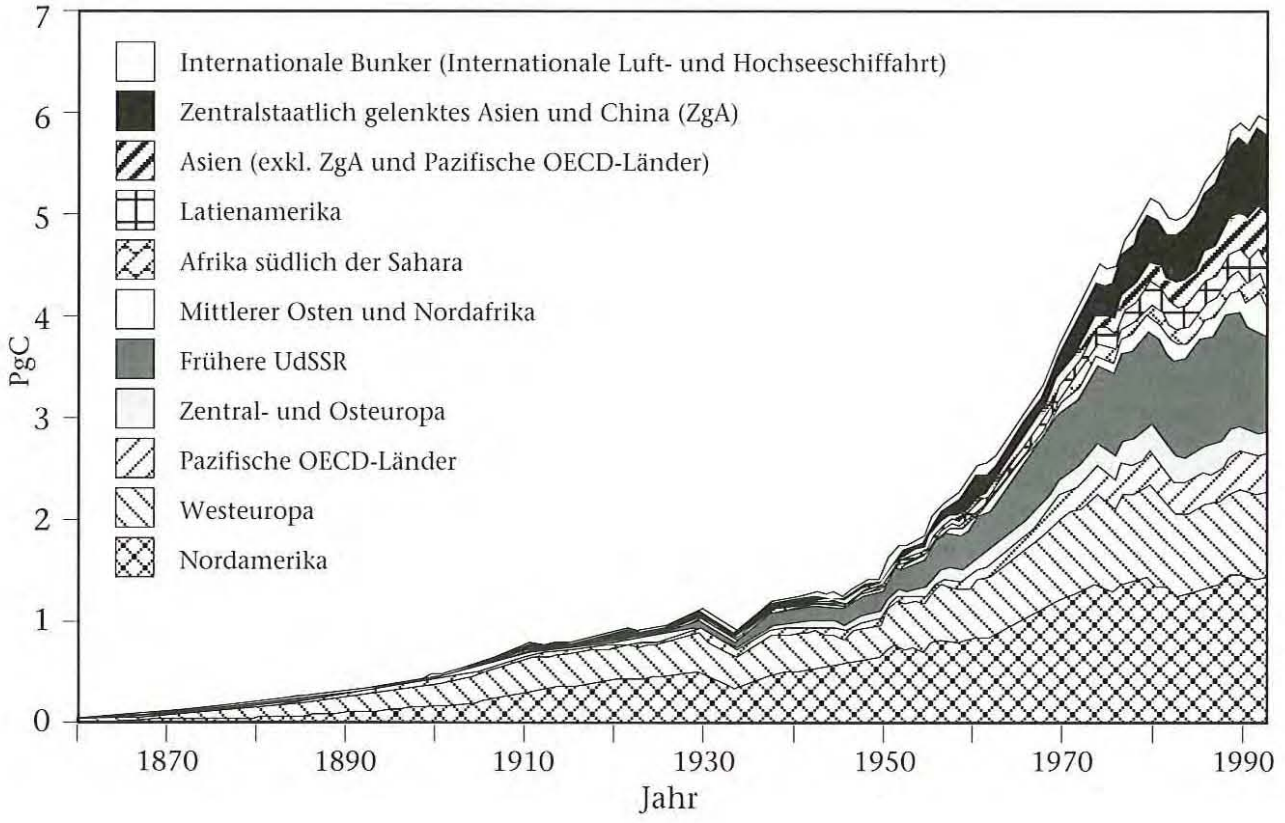


Abbildung 4: Globale, energiebedingte CO_2-Emissionen nach wichtigen Weltregionen in PgC/Jahr. Quellen: Keeling, 1994; Marland *et al.*, 1994; Grübler and Nakicenovic, 1992; Etemad and Luciani, 1991; Fujii, 1990; VN, 1952 (vgl. Energie-Fibel für Angaben zu den Referenzen).

Szenarien überein. Wenn sich die Tendenzen der Vergangenheit fortsetzen, werden die Treibhausgasemissionen langsamer zunehmen als der Energieverbrauch, außer im Verkehrssektor.

Die folgenden Abschnitte fassen die im Zweiten Sachstandsbericht von IPCC geschätzten Potentiale für Energieeffizienzsteigerungen zusammen. Um diese Potentiale zu erreichen, wären einschneidende politische Maßnahmen erforderlich. Die Reduktion energiebedingter Treibhausgasemissionen hängt von der Energiequelle ab, Reduktionen des Energieverbrauchs führen aber im allgemeinen zu geringeren Treibhausgasemissionen.

Industrie: Der Energieverbrauch wurde auf 98-117 EJ im Jahr 1990 geschätzt. Ohne neue Maßnahmen wird ein Zuwachs bis 2025 auf 140-242 EJ projeziert. Der gegenwärtige Energieverbrauch und die Trends für die energiebedingten Treibhausgasemissionen in der Industrie sind von Land zu Land sehr unterschiedlich. In den meisten industrialisierten Ländern wird projeziert, daß die energiebedingten Treibhausgasemissionen im industriellen Sektor infolge industrieller Umstrukturierung und technologischer Innovationen gleich bleiben oder zurückgehen, wogegen projeziert wird, daß die industriellen Emissionen in Entwicklungsländern—im wesentlichen infolge eines industriellen Wachstums—ansteigen. Das kurzfristige Potential zur Verbesserung der Energieeffizienz im Industriesektor der wichtigsten Industrieländer wird auf 25% geschätzt. Das Potential für die Reduktion von Treibhausgasemissionen ist grösser. Technologien und Maßnahmen zur Reduktion energiebedingter Emissionen aus diesem Sektor umfassen u.a. die Steigerung der Effizienz (z.B. Energie- und Materialeinsparungen, Kraft-/Wärme-Kopplung, Energie-Kaskadierung, Dampfrückgewinnung sowie Einsatz von Motoren und anderen elektrischen Geräten mit höherer Effizienz), Materialrecycling und Umsteigen auf Materialien, die mit geringeren Treibhausgasemissionen verbunden sind, sowie die Entwicklung von weniger energie- und materialaufwendigen Prozessen.

Verkehr: Der Energieverbrauch wurde auf 61-65 EJ im Jahr 1990 geschätzt. Ohne neue Maßnahmen wird ein Zuwachs auf 90-140 EJ bis ins Jahr 2025 projeziert. Der für 2025 projezierte Energieverbrauch könnte mit leichtgewichtigen Fahrzeugen, mit sehr effizienten Antrieben und Modellen mit geringem Luftwiderstand, ohne Komfort- und Leistungseinbussen um etwa ein Drittel auf 60-100 EJ reduziert werden. Weitere Energieeinsparungen sind möglich durch den Einsatz kleinerer Fahrzeuge, veränderte Landnutzungsmuster, Verkehrssysteme, Mobilitätsmuster und Lebensweisen sowie durch Umsteigen auf weniger energieintensive Verkehrsarten. Die Treibhausgasemissionen pro Einheit verbrauchter Energie könnten durch den Einsatz alternativer Energieträger und von Elektrizität aus

erneuerbaren Quellen reduziert werden. Insgesamt könnten die globalen Emissionen aus dem Verkehr mit diesen Maßnahmen um bis zu 40% der bis 2025 projezierten Emissionen reduziert werden. Die Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen aus dem Verkehr können gleichzeitig andere Probleme, z.B. die lokale Luftverschmutzung, lösen helfen.

Kleinverbraucher/Haushalte: Der Energieverbrauch wurde auf rund 100 EJ im Jahr 1990 geschätzt. Ohne neue Maßnahmen wird ein Zuwachs bis ins Jahr 2025 auf 165-205 EJ projeziert. Der projezierte Energieverbrauch könnte mittels energieeffizienter Technologie ohne Leistungseinbußen bis ins Jahr 2025 um rund ein Viertel auf 126-170 EJ reduziert werden. Das Potential für die Reduktion von Treibhausgasemissionen ist grösser. Mögliche technische Änderungen wären u.a. Reduktionen der Wärmeverluste durch Gebäudehüllen sowie effizientere Klimaanlagen und Wasserversorgungssysteme, Beleuchtungen und Geräte. In den Städten kann die Umgebungstemperatur durch mehr Vegetation und besser reflektierende Gebäudeoberflächen gesenkt werden, was den Energiebedarf für die Raumklimatisierung reduzieren würde. Reduktionen von Treibhausgasemissionen, zusätzlich zu denen durch geringeren Energieverbrauch, könnten durch Umsteigen auf andere Energiequellen erreicht werden.

4.1.2 *Verringern der Emissionen aus industriellen Prozessen und menschlichen Siedlungen*

Prozessbedingte Treibhausgase, einschließlich CO_2, Methan, N_2O, halogenierte Kohlenwasserstoffe und SF_6, werden während der Fabrikation und bei industriellen Prozessen (z.B. der Herstellung von Eisen, Stahl, Aluminium, Ammoniak, Zement und anderen Materialien) freigesetzt. In einigen Fällen sind wesentliche Reduktionen möglich. Maßnahmen umfassen u.a. veränderte Herstellungsprozesse, das Eliminieren von Lösungsmitteln, den Ersatz von Rohstoffen oder Verbrauchsmaterialien, gesteigertes Recycling und reduzierten Verbrauch treibhausgasintensiver Materialien. Die Rückhaltung und Nutzung von Methan aus Deponien und Abwasserreinigungsanlagen sowie ein verringertes Entweichen von Kühlmitteln, die halogenierte Kohlenwasserstoffe enthalten, aus mobilen und stationären Quellen kann ebenfalls zu wesentlichen Reduktionen von Treibhausgasemissionen führen.

4.1.3 *Energieversorgung*

Der vorliegende Bericht konzentriert sich zur Verwendung von weniger kohlenstoffintensiven Arten von Primärenergie auf neue Technologien für Kapitalinvestitionen und nicht auf potentielle Nachrüstung bestehender Kapitalgüter. Es ist technisch möglich, im Energieversorgungssektor deutliche Emissionsreduktionen zu realisieren, und zwar im Gleichschritt mit den normalen Investitionen für den Ersatz von Infrastruktur und Einrichtungen, wenn diese abgenutzt oder veraltet sind. Viele Optionen zum Erreichen dieser grossen Reduktionen werden die Emissionen von Schwefeldioxid, Stickstoffoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen ebenfalls reduzieren. Unter den vielversprechenden Ansätzen befinden sich folgende, nicht nach Priorität geordnete Möglichkeiten:

4.1.3.1 *Treibhausgasreduktionen bei der Verwendung fossiler Energieträger*

Effizientere Umwandlung fossiler Energieträger: Mit neuen Technologien ist eine beträchtlich gesteigerte Effizienz bei der Umwandlung möglich. So kann z.B. die Effizienz bei der Stromerzeugung längerfristig vom gegenwärtigen weltweiten Mittel von rund 30% auf über 60% gesteigert werden. Auch der Einsatz einer kombinierten Erzeugung von Wärme und Strom, welche die getrennte Erzeugung von Storm und Wärme—sei es für Prozesswärme oder für die Raumheizung—ersetzt, verspricht eine bedeutende Steigerung der Umwandlungseffizienz.

Umsteigen auf fossile Energieträger mit geringem Kohlenstoffgehalt, Verhinderung von Emissionen: Das Umsteigen von Kohle auf Erdöl oder Erdgas, und von Erdöl auf Erdgas kann Emissionen reduzieren. Von allen fossilen Energieträgern hat Erdgas mit rund 14 kgC/GJ die geringsten Kohlendioxidemissionen pro Energieeinheit, verglichen mit Erdöl (ca. 20 kgC/GJ) und Kohle (ca. 25 kgC/GJ). Die Energieträger mit geringerem Kohlenstoffgehalt können im allgemeinen effizienter umgewandelt werden als Kohle. In vielen Gebieten gibt es grosse Erdgasvorkommen. In einigen Gebieten haben neue, hocheffiziente, kombinierte Gas- und Dampfkraftwerke mit niedrigen Kapitalkosten den Strompreis beträchtlich gesenkt. Im Verkehrssektor könnte Erdgas potentiell Erdöl ersetzen. Es gibt Methoden für die Reduktion der Methanemissionen aus Erdgas-Pipelines und der Emissionen von Methan und/oder CO_2 aus Erdöl- und Erdgasbohrstellen und im Kohlebergbau.

Entkohlung von Abgasen und Energieträgern sowie Kohlendioxidlagerung: Die Entfernung und Lagerung von CO_2 aus Abgasen von mit fossilen Energieträgern betriebenen Kraftwerken ist machbar, reduziert aber die Umwandlungseffizienz und steigert die Stromerzeugungskosten signifikant. Eine andere Entkohlungsmethode ist die Verwendung fossiler Energieträger zur Erzeugung wasserstoffreicher Energieträger. Bei beiden Methoden entsteht als Nebenprodukt CO_2, das zum Beispiel in erschöpften Erdgasfeldern gelagert werden könnte. Die zukünftige Verfügbarkeit von Umwandlungstechnologien (z.B. Brennstoffzellen, welche Wasserstoff effizient nutzen können) würde die zweite Methode verhältnismässig attraktiver machen. In bezug auf manche längerfristige Optionen zur Lagerung von CO_2 sind die Kosten und Auswirkungen auf die Umwelt sowie die Wirksamkeit bisher weitgehend unbekannt.

4.1.3.2 *Umsteigen auf nicht-fossile Energieträger*

Umsteigen auf nukleare Energie: Nukleare Energie könnte in vielen Teilen der Erde die Grundlast-Stromerzeugung durch fossile Brennstoffe ersetzen, wenn allgemein akzeptable Antworten auf Probleme wie Reaktorsicherheit, Transport und Lagerung von radioaktiven Abfällen und nukleare Verbreitung gefunden werden können.

Umsteigen auf erneuerbare Energiequellen: Technologien für Sonnen-, Biomasse-, Wind- und geothermische Energie sowie

Wasserkraft sind bereits weit verbreitet. 1990 stammten rund 20% des weltweiten Primärenergieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen, davon der grösste Teil aus Brennholz und Wasserkraft. Technologische Fortschritte eröffnen neue Wege und senken die Kosten für diese Energiequellen. Längerfristig könnten erneuerbare Energiequellen einen grossen Teil des Weltenergiebedarfs decken. Elektrizitätssysteme können leicht an begrenzte Anteile von Strom aus unregelmäßiger Erzeugung angepaßt werden und—durch den Einsatz schnell reagierender Reserve- und Speichereinheiten—auch an grössere Anteile. Wo Biomasse nachhaltig wieder angepflanzt und eingesetzt wird, um fossile Energieträger in der Energieerzeugung zu ersetzen, werden Kohlenstoffemissionen netto vermieden, da das bei der Umwandlung der Biomasse in Energie freigesetzte CO_2 durch Photosynthese wieder gebunden wird. Wenn die Entwicklung von Biomasseenergie so durchgeführt werden kann, daß der Sorge um andere umweltbezogene Probleme und dem Wettbewerb mit anderen Landnutzungen Rechnung getragen wird, könnte Biomasse sowohl auf dem Elektrizitäts- wie auf dem Energieträgermarkt einen wichtigen Beitrag leisten und böte zudem die Aussicht auf einen steigenden Beschäftigungsgrad und ein höheres Einkommen der Landbevölkerung.

4.1.4 *Integration von Abschwächungsoptionen im Energiesystem*

Um die potentiellen Auswirkungen von Kombinationen individueller Maßnahmen auf der Ebene des Energiesystems gegenüber der Ebene von einzelnen Technologien abschätzen zu können, werden im folgenden verschiedene Varianten für ein "wenig CO_2-emittierendes Energieversorgungssystem" (Low CO_2-Emitting Energy Supply System, LESS) vorgestellt. Die LESS-Konstruktionen sind "Gedankenexperimente" zur Untersuchung möglicher globaler Energiesysteme.

Es wurden folgende Annahmen getroffen: Die Weltbevölkerung wächst von 5,3 Milliarden im Jahre 1990 auf 9,5 Milliarden im Jahre 2050 und 10,5 Milliarden im Jahre 2100. Bis 2050 steigt das BIP auf das 7-fache (5-fach in industrialisierten und 14-fach in Entwicklungsländern), bis 2100 auf das 25-fache (13-fach in industrialisierten und 70-fach in Entwicklungsländern), jeweils bezogen auf 1990. Durch eine Steigerung der Energieeffizienz nimmt der Primärenergieverbrauch viel langsamer zu als das BIP. Die Konstruktionen für die Energieversorgung wurden ausgelegt zur Befriedigung des Energiebedarfs, erstens aus den Projektionen, die für den Ersten Sachstandsbericht von IPCC (1990) für eine niedrige Bedarfsvariante aufgestellt wurden, wobei sich der weltweite kommerzielle Primärenergieverbrauch ungefähr verdoppelt und netto von 1990 bis 2100 keine Änderung für industrialisierte Länder, aber eine 4,4-fache Steigerung für Entwicklungsländer ergibt, und zweitens für eine höhere Energiebedarfsvariante, entwickelt im IPCC-Szenario IS92a, gemäss welcher sich der Energiebedarf von 1990 bis 2100 vervierfacht. Die Energiebedarfsniveaus der LESS-Konstruktionen sind konsistent mit den Kapiteln über die Verringerung des Energiebedarfs im vorliegenden Bericht.

Abbildung 5 zeigt Kombinationen verschiedener Energiequellen für die Befriedigung geänderter Energiebedarfe im Verlauf des nächsten Jahrhunderts. Die Analyse dieser Varianten führt zu den folgenden Schlüssen:

- In den nächsten 50 bis 100 Jahren sind unter Einsatz alternativer Strategien deutliche Reduktionen der CO_2-Emissionen aus Energieversorgungssystemen technisch möglich.
- Zahlreiche Kombinationen der im vorliegenden Bericht genannten Optionen könnten die globalen CO_2-Emissionen aus fossilen Energieträgern von rund 6 GtC im Jahre 1990 auf rund 4 GtC pro Jahr bis 2050 und auf rund 2 GtC pro Jahr bis 2100 reduzieren (s. Abbildung 6). Die kumulativen CO_2-Emissionen von 1990 bis 2100 würden in den alternativen LESS-Konstruktionen im Bereich zwischen rund 450 bis rund 470 GtC liegen.
- Für das Erreichen der deutlichen Reduktionen der CO_2-Emissionen, für die Steigerung der Flexibilität von Kombinationen auf der Versorgungsseite sowie für die Reduktion der allgemeinen Kosten des Energiesystems ist eine grössere Energieeffizienz unabdingbar.
- Im Vergleich zu heute nimmt der internationale Handel mit Energie in den LESS-Konstruktionen zu, was im Laufe des nächsten Jahrhunderts die Optionen für nachhaltige Entwicklung in Afrika, Lateinamerika und dem Nahen Osten verbessert.

Die Energiekosten in jeder LESS-Variante im Verhältnis zu den Kosten für konventionelle Energien hängen von den relativen zukünftigen Energiepreisen, die in einem großen Bereich unsicher sind, sowie von den für alternative Technologien angenommenen Leistungen und Kosten ab. Allerdings würden innerhalb des großen Bereichs zukünftiger Energiepreise eine oder mehrere Varianten realistischerweise die geforderten Energiedienstleistungen zu geschätzten Kosten erbringen können, welche ungefähr den geschätzten zukünftigen Kosten für heutige konventionelle Energien entsprechen. Es ist nicht möglich, längerfristig ein künftiges Energiesystem mit den geringsten Kosten zu bestimmen, da die relativen Kosten der Optionen von unvollständig bekannten Ressourcenbeschränkungen und technologischen Möglichkeiten sowie von den Aktivitäten von Regierungen und des privaten Sektors abhängen.

Die Fachliteratur befürwortet überzeugend, daß es vernünftig ist, die für die Energietechnologien in den LESS-Konstruktionen angenommenen Leistungen und Kosten innerhalb der nächsten zwei Jahrzehnte zu erreichen, obschon keine Gewissheit erlangt werden kann, bis Forschung und Entwicklung abgeschlossen und die Technologien im Markt getestet worden sind. Überdies können diese Leistungen und Kosten ohne substantielle und dauerhafte Investitionen in Forschung, Entwicklung und Demonstration nicht erreicht werden. Viele der jetzt in Entwicklung begriffenen Technologien bräuchten anfängliche Unterstützung, um in den Markt Eingang zu finden und um ein genügendes Volumen und somit geringere Kosten zu erreichen, um konkurrenzfähig zu werden.

Die Marktdurchdringung und dauerhafte Akzeptanz verschiedener Energietechnologien hängt letztlich von ihren

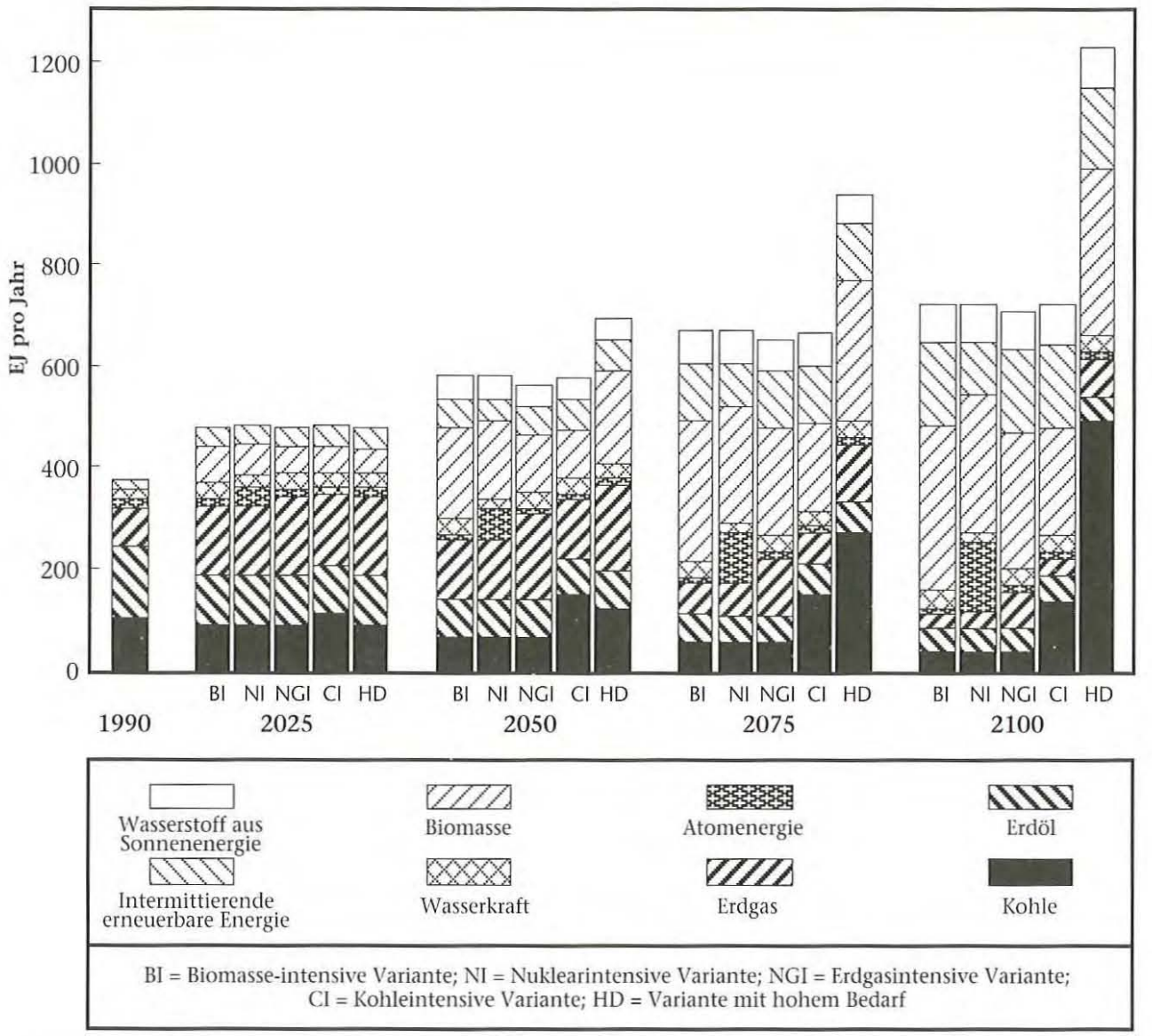


Abbildung 5: Globaler Primärenergieverbrauch in einer Konstruktion alternativer, wenig CO_2-emittierender Energieversorgungssysteme (Low CO_2-Emitting Energy Supply Systems, LESS). Alternativen für die Befriedigung verschiedener Energiebedarfe über eine gewisse Zeit, bei Verwendung verschiedener Kombinationen von Energieträgern.

relativen Kosten, Leistungen (einschließlich die umweltbezogenen), von institutionellen Vereinbarungen sowie von Vorschriften und Politiken ab. Da die Kosten je nach Ort und Anwendung unterschiedlich sind, schaffen die sehr verschiedenen Bedingungen anfängliche Gelegenheiten für neue Technologien, auf den Markt zu kommen. Ein besseres Verständnis der Möglichkeiten für Emissionsreduktionen würde eine detailliertere Analyse der Optionen unter Einbezug lokaler Bedingungen voraussetzen.

Die mögliche Entwicklung des Energieversorgungssystems ist wegen der großen Anzahl von Optionen flexibel, und die Entwicklung des Energiesystems könnte durch andere Überlegungen als Klimaänderungen beeinflusst werden, z.B. politische, umweltbezogene (insbesondere die Verschmutzung der Raumluft und der Luft in Städten, Versäuerung der Böden und Bodensanierung) sowie sozioökonomische Bedingungen.

4.2 Landwirtschaft, Weideland und Forstwirtschaft

Über die Nutzung von Energieträgern aus Biomasse als Ersatz fossiler Energieträger hinaus kann die Bewirtschaftung von Wäldern, Feldern und Weideland bei der Reduktion der gegenwärtigen Emissionen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas sowie beim Ausbau der Kohlenstoffsenken eine wichtige Rolle spielen. Eine Anzahl von Maßnahmen könnte im Verlauf der nächsten 50 Jahre beträchtliche Mengen an Kohlenstoff (rund 60-90 GtC allein im Forstwirtschaftssektor) erhalten und binden. Es wird geschätzt, daß die Kosten für die Erhaltung und Bindung von Kohlenstoff in Biomasse und Böden im

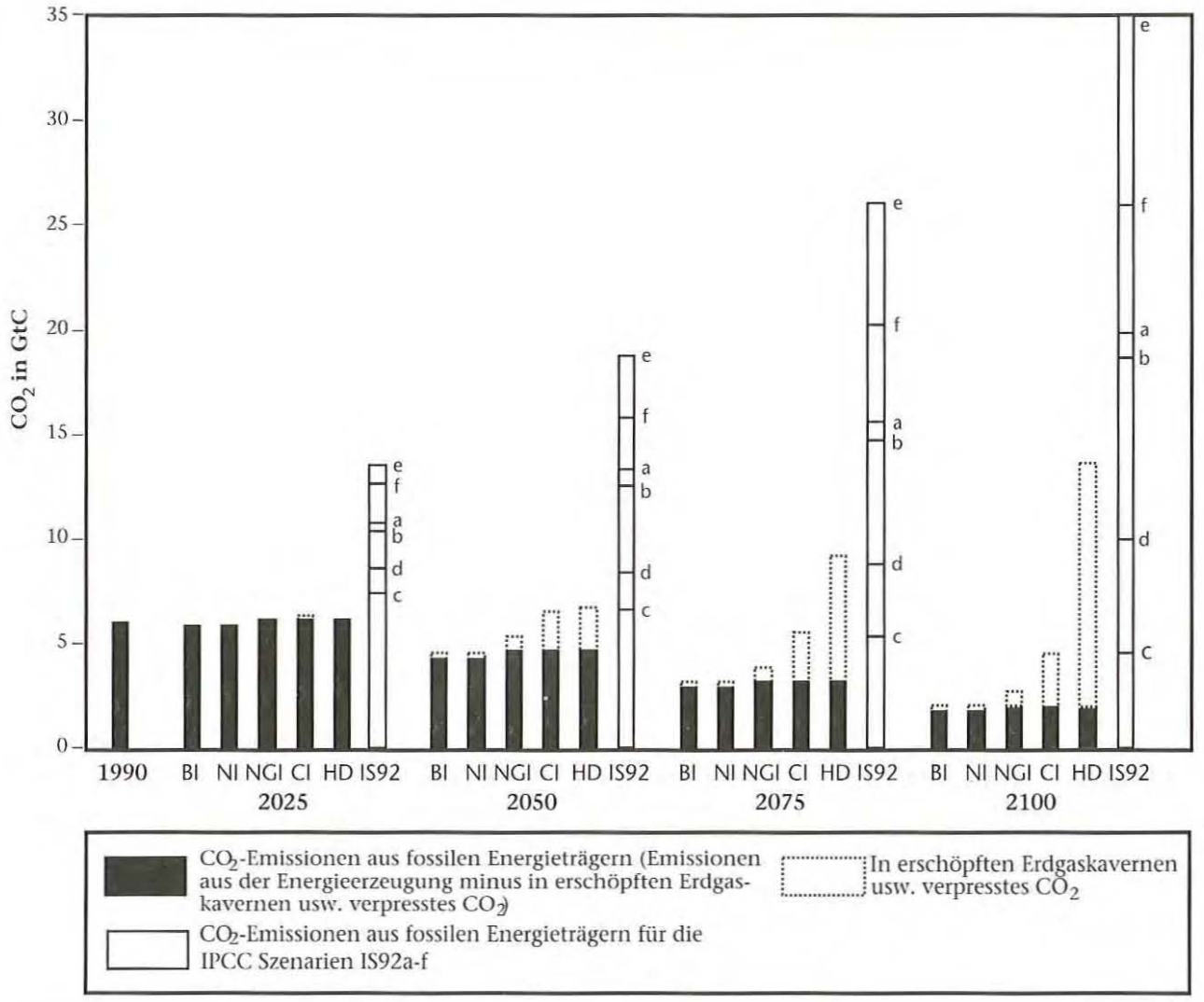


Abbildung 6: Jährliche CO_2-Emissionen aus fossilen Energieträgern für alternative LESS-Konstruktionen im Vergleich mit den IPCC-Szenarien IS92a-f (vgl. Abb. 5 zur Erläuterung der Abkürzungen)

Forstwirtschaftssektor sehr unterschiedlich sind, aber doch mit anderen Abschwächungsoptionen konkurrieren können. Die Faktoren, welche sich auf diese Kosten auswirken, umfassen u.a. Opportunitätskosten für Land, Anfangskosten für Anpflanzungen und Einrichtungen, Kosten für Baumschulen, jährlichen Unterhalt und Überwachung sowie Transaktionskosten. Der direkte und indirekte Nutzen wird je nach Landesverhältnissen unterschiedlich sein und könnte die Kosten aufwiegen. Andere Verfahren im Landwirtschaftssektor könnten die Emissionen anderer Treibhausgase wie CH_4 und N_2O reduzieren. Maßnahmen betreffend Landnutzung und -bewirtschaftung umfassen:

- Erhaltung bestehender Wälder
- Verlangsamung der Entwaldung
- Regeneration von natürlichen Wäldern
- Einrichtung von Baumpflanzungen
- Förderung der Agroforstwirtschaft
- veränderte Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Böden und Weideland
- Verbesserung der Effizienz des Düngereinsatzes
- Wiederherstellung von degradierten Ackerflächen und Weideland
- Rückgewinnung von Methan durch die Speicherung von Gülle
- Verbesserung der Qualität der Ernährung von Wiederkäuern

Die Nettokohlenstoffmenge, welche mittels eines bestimmten forstwirtschaftlichen Verfahrens und bei gegenwärtigem Klima pro Flächeneinheit erhalten oder in lebender Biomasse gebunden werden kann, ist verhältnismässig gut bekannt. Die wichtigsten mit der Abschätzung eines globalen Wertes verbundenen Unsicherheiten sind: 1. die für Aufforstungs-, Regenerations- und/oder Wiederherstellungsprogramme geeignete und verfügbare Landfläche, 2. die Geschwindigkeit, mit welcher die tropische Entwaldung tatsächlich verringert werden kann, 3. die langfristige Nutzung (Sicherung) dieser Gebiete und 4. die dauerhafte Eignung mancher Verfahren an bestimmten Orten angesichts möglicher Änderungen in Temperatur, Wasserverfügbarkeit usw. infolge von Klimaänderungen.

4.3 Sektorenübergreifende Fragen

Eine sektorenübergreifende Beurteilung verschiedener Abschwächungsoptionen konzentriert sich auf die Interaktionen aller Technologien und Verfahren, welche potentiell in der Lage sind, Treibhausgasemissionen zu reduzieren oder Kohlenstoff zu binden.
Die gegenwärtige Analyse läßt auf folgendes schließen:

- **Konkurrierende Nutzungen von Land, Wasser und anderen natürlichen Ressourcen:** Eine steigende Bevölkerung und eine wachsende Wirtschaft werden den Bedarf an Land und anderen natürlichen Ressourcen für die Sicherstellung u.a. von Nahrung, Fasern, Walderzeugnissen und Freizeitangeboten ansteigen lassen. Die daraus resultierende intensivere Ressourcennutzung wird mit Klimaänderungen interagieren. Land und andere Ressourcen könnten auch für die Abschwächung von Treibhausgasemissionen benötigt werden. Verbesserungen der landwirtschaftlichen Produktivität weltweit und insbesondere in Entwicklungsländern würden die Verfügbarkeit von Land für die Produktion von Energie aus Biomasse steigern.
- **Optionen auf dem Gebiet des Geoingenieurwesens:** Zum Ausgleich von aus dem Treibhauseffekt resultierenden Klimaänderungen wurden bereits einige Ansätze aus dem Geoingenieurwesen vorgeschlagen (z.B. im Weltall installierte Sonnenreflektoren oder das Einspritzen von Sulfat-Aerosolen in die Atmosphäre, um die abkühlende Wirkung von Vulkanausbrüchen zu imitieren). Solche Methoden sind im allgemeinen wahrscheinlich wirkungslos, teuer im Unterhalt und/oder haben ernsthafte Auswirkungen, u.a. auf die Umwelt, die in vielen Fällen wenig bekannt sind.

4.4 Politische Instrumente

Abschwächung hängt von verschiedenen Faktoren ab, so z.B. vom Abbau von Hemmnissen bei der Verbreitung und dem Transfer von Technologien, von der Mobilisierung finanzieller Mittel, der Unterstützung im Aufbau von Fähigkeiten in Entwicklungsländern und anderen Ansätzen zur Unterstützung von Verhaltensänderungen und technologischen Möglichkeiten in allen Gebieten der Erde. Die beste Kombination von Politiken wird von Land zu Land, je nach politischer Struktur und gesellschaftlicher Aufnahmebereitschaft, unterschiedlich sein. Die Führungen von nationalen Regierungen werden durch Anwendung solcher Politiken einen Beitrag leisten, um nachteiligen Auswirkungen von Klimaänderungen zu begegnen. Regierungen können Politiken wählen, welche die Verbreitung weniger treibhausgasintensiver Technologien und veränderter Verbrauchsgewohnheiten erleichtern. Viele Länder haben in der Tat große Erfahrung mit einer Anzahl Politiken, welche die Einführung solcher Technologien beschleunigen können. Diese Erfahrung geht auf Anstrengungen der letzten 20 bis 30 Jahre zurück, die Energieeffizienz zu steigern, die negativen Auswirkungen der Landwirtschaftspolitik auf die Umwelt zu vermindern sowie Schutz- und Umweltziele zu erreichen, die nicht mit Klimaänderungen zusammenhängen. Politiken zur Reduktion der Nettotreibhausgasemissionen scheinen leichter durchführbar zu sein, wenn sie andere Probleme angehen, welche die nachhaltige Entwicklung behindern (z.B. Luftverschmutzung, Bodenerosion). Eine Reihe von Politiken, welche zum Teil regionaler oder internationaler Vereinbarungen bedürfen, können die Verbreitung weniger treibhausgasintensiver Technologien und veränderter Verbrauchsgewohnheiten erleichtern. Es sind dies u.a.:

- Schaffung angemessener institutioneller und struktureller Rahmenbedingungen
- Energiepreisstrategien, z.B. Kohlenstoff- oder Energiesteuern, verringerte Subventionen auf Energie
- Reduktion oder Aufhebung anderer Subventionen, z.B. in der Landwirtschaft oder im Verkehr, die Treibhausgasemissionen steigern
- Handelbare Emissionszertifikate
- Freiwillige Programme und ausgehandelte Vereinbarungen mit der Industrie
- Bedarfseitige Managementprogramme bei Versorgungsbetrieben
- Rechtsvorschriften, einschließlich Mindestenergieeffizienzstandards, z.B. für Geräte und Treibstoffverbrauch
- Anreize für Forschung, Entwicklung und Demonstration zur Einführung neuer Technologien
- Marktfrage- und Demonstrationsprogramme, welche die Entwicklung und Anwendung fortschrittlicher Technologien anregen
- Anreize für erneuerbare Energien während des Aufbaus von Märkten
- Anreize wie Zuwendungen für beschleunigte Abschreibungen und reduzierte Kosten für Verbraucher
- Bildung und Ausbildung; Informations- und Beratungsmaßnahmen
- Optionen, welche auch andere ökonomische und Umweltziele unterstützen.

Eine beschleunigte Entwicklung von Technologien zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und zum Ausbau von Treibhausgassenken—wie auch das Erkennen der Hemmnisse, welche ihrer Verbreitung auf dem Markt im Wege stehen—erfordert intensive Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen von Regierungen und vom privaten Sektor.

AUTOREN UND BEITRAGENDE

Robert T. Watson, USA; M.C. Zinyowera, Zimbabwe; Richard H. Moss, USA; Roberto Acosta Moreno, Kuba; Sharad Adhikary, Nepal; Michael Adler, USA; Shardul Agrawala, Indien; Adrian Guillermo Aguilar, Mexiko; Saiyed Al-Khouli, Saudi Arabien; Barbara Allen-Diaz, USA; Mitsuru Ando, Japan; Rigoberto Andressen, Venezuela; B.W. Ang, Singapore; Nigel Arnell, Großbritannien; Anne Arquit Niederberger, Schweiz; Walter Baethgen, Uruguay; Bryson Bates, Australien; Martin Beniston, Schweiz; Rosina Bierbaum, USA; Luitzen Bijlsma, Niederlande; Michel Boko, Republik Benin; Bert Bolin, Schweden; Suzanne Bolton, USA; Evelyne Bravo, Venezuela; Sandra Brown, USA; Peter Bullock, Großbritannien; Melvin Cannell, Großbritannien; Osvaldo F. Canziani, Argentinien; Rodolfo Carcavallo, Argentinien; Carlos Clemente Cerri, Brazilien; William Chandler, USA; Fred C. Cheghe, Kenia; Chunzhen Liu, China; Vernon Cole, USA; Wolfgang Cramer, Deutschland; Rex Victor Cruz, Philippinen; Ogunlade Davidson, Sierra Leone;

Ehrlich Desa, Indien; Deying Xu, China; Sandra Diaz, Argentinien; Andrew F. Dlugolecki, Schottland; James A. Edmonds, USA; John Everett, USA; Andreas Fischlin, Schweiz; Blair Fitzharris, Neuseeland; Douglas Fox, USA; Jaafar Friaa, Tunesien; Alexander Rauja Gacuhi, Kenia; Wojciech Galinski, Polen; Habiba Gitay, Australien; Peter Groffmann, USA; Arnulf Grubler, Österreich; Howard Gruenspecht, USA; Steven Hamburg, USA; Timm Hoffman, Südafrika; Jarle Inge Holten, Norwegen; Hisashi Ishitani, Japan; Venugopalan Ittekkot, Deutschland; Thomas B. Johansson, Schweden; Zdzislaw Kaczmarek, Polen; Takao Kashiwagi, Japan; Miko Kirschbaum, Australien; Paul Komor, USA; Andrei Krovnin, Russische Föderation; Richard Klein, Niederlande; Shashi Kulshreshta, Indien; Herbert Lang, Schweiz; Henry Le Houerou, Frankreich; Rik Leemans, Niederlande; Mark Levine, USA; Lin Erda, China; Daniel Lluch-Belda, Mexiko; Michael MacCracken, USA; John Magnuson, USA; Gabriel Mailu, Kenia; Joseph Mworia Maitima, Kenia; Gregg Marland, USA; Kathy Maskell, Großbritannien; Roger McLean, Australien; Anthony McMichael, Australien/Großbritannien; Laurie Michaelis, Frankreich; Ed Miles, USA; William Moomaw, USA; Roberto Moreira, Brasilien; Patrick Mulholland, USA; Nebojsa Nakicenovic, Österreich; Robert Nicholls, Großbritannien; Shuzo Nishioka, Japan; Ian Noble, Australien; Leonard Nurse, Barbados; Rispa Odongo, Kenia; Ryousuke Ohashi, Japan; Ezekiel Okemwa, Kenia; Mats Oquist, Schweden; Martin L. Parry, Großbritannien; Martha Perdomo, Venezuela; Michel Petit, Frankreich; Warren Piver, USA; P.S. Ramakrishnan, Indien; N.H. Ravindranath, Indien; John Reilly, USA; Arthur Riedacker, Frankreich; Hans-Holger Rogner, Kanada; Jayant Sathaye, USA; Dieter Sauerbeck, Deutschland; Michael Scott, USA; Subodh Sharma, Indien; David Shriner, USA; S.K. Sinha, Indien; Jim Skea, Großbritannien; Allen Solomon, USA; Eugene Stakhiv, USA; Oedon Starosolszky, Ungarn; Su Jilan, China; Avelino Suarez, Kuba; Bo Svensson, Schweden; Hidekazu Takakura, Japan; Melissa Taylor, USA; Lucien Tessier, Frankreich; Dennis Tirpak,USA; Tran Viet Lien, Vietnam; Jean-Paul Troadec, Frankreich; Hiroshi Tsukamoto, Japan; Itsuya Tsuzaka, Japan; Pier Vellinga, Niederlande; Ted Williams, USA; Patrick Young, USA; Youyu Xie, China; Zhou Fengqi, China.

ZUSAMMENFASSUNG FÜR POLITISCHE ENTSCHEIDUNGSTRÄGER:

WIRTSCHAFTLICHE UND POLITISCHE DIMENSIONEN VON KLIMAÄNDERUNGEN

IPCC-ARBEITSGRUPPE III

ZUSAMMENFASSUNG FÜR POLITISCHE ENTSCHEIDUNGSTRÄGER: WIRTSCHAFTLICHE UND SOZIALE DIMENSIONEN VON KLIMAÄNDERUNGEN

1. EINLEITUNG

Die Arbeitsgruppe III des Zwischenstaatlichen Ausschusses über Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) wurde im November 1992 ins Leben gerufen. Sie hat die Aufgabe, "fachliche Beurteilungen der kurz- wie langfristigen, regionalen wie globalen sozioökonomischen Fragen zu Auswirkungen, Anpassungen und Abschwächung von Klimaänderungen" durchzuführen. Die Arbeitsgruppe III stellte sich dieser Aufgabe, indem sie in ihrem Arbeitsplan niederlegte, die sozioökonomischen Aspekte unter dem Blickwinkel nachhaltiger Entwicklung zu betrachten und, in Übereinstimmung mit dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UN Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), umfassend zu sein, alle wichtigen Quellen, Senken und Speicher von Treibhausgasen sowie Anpassungsmaßnahmen zu erfassen und alle Wirtschaftssektoren einzuschließen.

Dieser Bericht beurteilt einen Großteil der bestehenden Fachliteratur über die Sozioökonomie von Klimaänderungen und zeigt Gebiete auf, in denen in Schlüsselfragen entweder Übereinstimmung herrscht oder Differenzen bestehen.[1] Die Abschnitte sind so angelegt, daß sie mehrere Schlüsselfragen abdecken. Als erstes werden verschiedene Rahmen für die sozioökonomische Beurteilung von Kosten und Nutzen des Handelns bzw. Nichthandelns beschrieben. Dabei werden insbesondere die Anwendbarkeit von Kosten-Nutzen-Analysen, die Berücksichtigung von Gerechtigkeit und sozialen Belangen sowie Fragen der Gerechtigkeit zwischen den Generationen diskutiert. Zweitens werden der wirtschaftliche und soziale Nutzen einer Einschränkung von Treibhausgasemissionen sowie eines Ausbaus von Senken geprüft. Drittens werden die wirtschaftlichen, sozialen und umweltrelevanten Kosten der Abschwächung von Treibhausgasemissionen beurteilt. Im weiteren werden die allgemeinen Reaktionsoptionen zur Abschwächung und Anpassung beurteilt; es werden Methoden zur Beurteilung von Kosten und Wirksamkeit der verschiedenen Reaktionsoptionen zusammengefaßt und integrierte Beurteilungstechniken diskutiert. Schließlich liefert der Bericht eine ökonomische Beurteilung der politischen Instrumente zur Bekämpfung von Klimaänderungen.

In dieser Beurteilung der sozioökonomischen Fachliteratur mit Bezug auf Klimaänderungen wird, in Übereinstimmung mit dem angenommenen Arbeitsplan, der Schwerpunkt auf die Wirtschaftswissenschaften gelegt; Material aus anderen sozialwissenschaftlichen Disziplinen wird vor allem im Abschnitt über Gerechtigkeit und soziale Belange behandelt. Der vorliegende Bericht ist eine Beurteilung des gegenwärtigen Wissensstandes—was wir wissen und was wir nicht wissen—und keine Anleitung zur Anwendung von Politiken. Jedes Land kann diejenigen in diesem Bericht enthaltenen Informationen als Entscheidungshilfe heranziehen, welche in seinen spezifischen Umständen am geeignetsten erscheinen.

2. UMFANG DER BEURTEILUNG

Klimaänderungen stellen die Entscheidungsträger vor eine ganze Anzahl schwieriger Komplikationen: der Komplexität des Problems inneliegende, beträchtliche Ungewißheiten, die Möglichkeit irreversibler Schäden oder Kosten, ein sehr langer Planungshorizont, große Verzögerungen zwischen Emissionen und Auswirkungen, große regionale Unterschiede bei Ursachen und Auswirkungen, ein notwendigerweise globales Problem und vielfältigste zu betrachtende Treibhausgase und Aerosole. Eine weitere Komplikation ist die Tatsache, daß ein wirksamer Schutz des Klimasystems weltweite Zusammenarbeit erfordert.

Dennoch können der Fachliteratur eine Reihe von Erkenntnissen entnommen werden, die für politische Entscheidungsträger von Nutzen sein dürften:

- Analysen zeigen, daß Klimaänderungen vernünftigerweise mit einem ganzen Portefeuille von Aktionen zur Abschwächung, zur Anpassung und zur Verbesserung unseres Wissens begegnet werden sollte. Je nach Land wird dieses Portefeuille verschieden ausfallen. Die Herausforderung besteht nicht darin, heute die beste Politik für die kommenden 100 Jahre zu finden, sondern eine vorsichtige Strategie zu entwickeln und diese im Lichte neuer Informationen im Verlauf der Zeit anzupassen.
- Frühzeitige Abschwächungsmaßnahmen können unsere Flexibilität auf dem Weg zur Stabilisierung der atmosphärischen Konzentrationen von Treibhausgasen erhöhen (Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen, Artikel 2). Die Wahl von Reduktionspfaden erfordert ein Abwägen der wirtschaftlichen Risiken einer schnellen Reduktion heute (so daß eine vorzeitige Stillegung von Kapitalgütern sich später als unnötig erweist) gegen die entsprechenden Risiken einer Verzögerung (so daß in diesem Fall eine noch schnellere

[1] Das Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen definiert "Klimaänderungen" als Änderungen des Klimas, die unmittelbar oder mittelbar auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind, welche die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern und die zu den über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimaschwankungen hinzukommen. Die Frage, ob solche Änderungen möglich sind oder bereits festgestellt werden können, wird im Berichtsteil über naturwissenschaftliche Erkenntnisse von Klimaänderungen des Zweiten Sachstandsberichts von IPCC untersucht.

Reduktion nötig sein wird, was eine verfrühte Stillegung von Kapitalgütern in der Zukunft erfordert).

- Aus der Fachliteratur geht hervor, daß in den meisten Ländern beträchtliche Möglichkeiten für "no-regrets"-Maßnahmen[2] bestehen, und daß das Risiko des durch Klimaänderungen entstehenden Nettogesamtschadens, Überlegungen zur Risikoverhütung sowie das Vorsorgeprinzip bereits vernünftige Gründe für Maßnahmen über die "no-regrets"-Maßnahmen hinaus darstellen.
- Der Wert verbesserter Informationen über Abläufe und Auswirkungen von Klimaänderungen sowie Reaktionen darauf dürfte hoch sein. Insbesondere mißt die Fachliteratur Informationen über die Sensitivität des Klimas gegenüber Treibhausgasen und Aerosolen, über Funktionen für Schäden durch Klimaänderungen sowie über Variablen, wie z.B. Determinanten des Wirtschaftswachstums und die Geschwindigkeit von Energieeffizienzsteigerungen, hohen Wert bei. Verbesserte Informationen über Kosten und Nutzen von Abschwächungs- und Anpassungsmaßnahmen und darüber, wie diese sich in den kommenden Jahrzehnten ändern könnten, sind ebenfalls von hohem Wert.
- Die Analyse der mit Klimaänderungen zusammenhängenden wirtschaftlichen und sozialen Fragen—vor allem in den Entwicklungsländern, wo noch wenig in diese Richtung gearbeitet worden ist—hat in der Forschung hohe Priorität. Ganz allgemein besteht ein Bedarf an Forschung im Bereich von integrierten Beurteilungen und Analysen von Entscheidungsprozessen im Zusammenhang mit Klimaänderungen. Im weiteren ist Forschung zur Verbesserung des ökonomischen Verständnisses von Nichtlinearitäten und von neuen Theorien über das Wirtschaftswachstum vonnöten. Auch die Forschung über und Entwicklung von effizienteren Energietechnologien und nichtfossilen Energiequellen sind von hohem potentiellem Wert. Zudem besteht ein Bedarf im Bereich der Forschung über die Entwicklung nachhaltiger Konsummuster.

Ein Portefeuille möglicher Aktionen, welche politische Entscheidungsträger bei der Durchführung von kostengünstigen und/oder kosteneffizienten Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und zur Anpassung an Klimaänderungen in Übereinstimmung mit geltenden internationalen Vereinbarungen in Erwägung ziehen könnten, könnte u.a. umfassen:

- Ergreifen von energieeffizienten Maßnahmen, einschließlich dem Abbau institutioneller Hemmnisse für Energieeffizienzsteigerungen;
- Stufenweise Abschaffung bestehender verzerrender Politiken, welche Treibhausgasemissionen steigern, wie z.B. manche Subventionen und Vorschriften, die Nicht-Internalisierung von Umweltkosten sowie Preisverzerrungen im Verkehr;
- Ergreifen kostengünstiger Maßnahmen zum Umsteigen von hoch- auf niedrig-kohlenstoffintensive oder kohlenstofffreie Energieträger, wie z.B. erneuerbare Energien;
- Ergreifen von Maßnahmen zum Ausbau von Treibhausgas-Senken oder -Speichern, z.B. durch Verbesserung der Wald- und Bodennutzungspraktiken;
- Ergreifen von Maßnahmen und Entwicklung neuer Techniken zur Reduktion von Methan, Lachgas und anderen Treibhausgasemissionen;
- Unterstützung von Formen der internationalen Zusammenarbeit zur Begrenzung von Treibhausgasemissionen, wie z.B. Einführung von koordinierten Kohlenstoff-/Energiesteuern, gemeinsam umgesetzte Aktivitäten und handelbare Quoten;
- Förderung der Entwicklung und Einführung nationaler und internationaler Energieeffizienzstandards;
- Förderung freiwilliger Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen;
- Durchführung von Bildungs-, Ausbildungs-, Informations- und Beratungsmaßnahmen zur nachhaltigen Entwicklung und für Konsummuster zur Abschwächung von und Anpassung an Klimaänderungen;
- Planung und Durchführung von Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen von Klimaänderungen;
- Durchführung von Forschungsarbeiten zum besseren Verständnis der Ursachen und Auswirkungen von Klimaänderungen und der Anpassung daran;
- Durchführung von technologischen Forschungsarbeiten im Hinblick auf die Minimierung von Treibhausgasemissionen aus der weiteren Nutzung fossiler Energieträger sowie die Entwicklung kommerzieller nichtfossiler Energiequellen;
- Entwicklung verbesserter institutioneller Mechanismen, wie z.B. verbesserte Versicherungsvereinbarungen, zur besseren Aufteilung der Schadensrisiken infolge von Klimaänderungen.

Beitrag der Wirtschaftswissenschaften

- Schätzungen von Kosten und Nutzen einer Stabilisierung der Treibhausgas*konzentrationen* hängen unter anderem von den folgenden Faktoren ab: der letztlich angestrebten Konzentration, dem Emissionspfad auf diese Konzentration hin, der Diskontrate und Annahmen betreffend die Kosten und Verfügbarkeit von Technologien und Verfahren.
- Trotz seiner weitverbreiteten Anwendung zu Bewertung in der Wirtschaftspolitik wird das Bruttoinlandsprodukt (BIP) weithin als unzureichender Maßstab für das Wohlergehen einer Gesellschaft betrachtet, vor allem, weil es die Beeinträchtigung der Umwelt und der natürlichen Systeme nicht berücksichtigt. Es gibt andere Methoden, welche diese nicht durch den Markt bestimmten Werte sowie die soziale und ökologische Nachhaltigkeit zu berücksichtigen suchen. Solche Methoden könnten zu vollständigeren Hinweisen darüber führen, wie sich Klimaänderungen auf das Wohlergehen einer Gesellschaft auswirken könnten.
- Angesichts der weltweiten Verflechtungen im globalen Wirtschaftssystem könnten Versuche, Klimaänderungen durch Maßnahmen in einer Region oder einem Sektor abzuschwächen, wirtschaftliche Auswirkungen haben, welche die Erhöhung der Emissionen in anderen Regionen oder Sektoren nach sich ziehen (sog. Leckagen). Diese Emissions-Leckagen können durch ein koordiniertes Vorgehen von Gruppen von Ländern verringert werden.

2 "No regrets"-Maßnahmen sind Maßnahmen, deren Nutzen, z.B. verringerte Energiekosten und lokal/regional verringerte Emisssionen von Schadstoffen, die gesellschaftlichen Kosten aufwiegen oder sogar übertreffen, *ohne* dass der Nutzen der Abschwächung von Klimaänderungen berücksichtigt ist. Solche Maßnahmen werden manchmal als "sich ohnehin lohnende Maßnahmen" bezeichnet.

- Aus der Fachliteratur geht hervor, daß flexible, kostengünstige Politiken, die sich auf wirtschaftliche Anreize und Instrumente sowie auf koordinierte Instrumente abstützen, die Abschwächungs- oder Anpassungskosten wesentlich senken oder die Kostengünstigkeit von Maßnahmen zur Emissionsreduktion erhöhen können.

Überlegungen zur Gerechtigkeit

Wenn Überlegungen zu Gerechtigkeitsprinzipien und zu Problemen im Zusammenhang mit Treibhausgasemissionen angestellt werden, ist es wesentlich, insbesondere Artikel 3, 4.2a und 11.2 des Rahmenübereinkommens über Klimaänderungen, Grundsatz 2 der Riodeklaration sowie die allgemeinen Grundsätze des internationalen Rechts bei Erwägungen in der Politik mitzuberücksichtigen.

Wissenschaftliche Analysen können nicht vorschreiben, wie der Gerechtigkeit bei der Durchführung des Rahmenübereinkommens über Klimaänderungen Genüge getan werden soll, aber sie können die Implikationen von Alternativen und ihre ethische Grundlage abklären.

- Entwicklungsländer benötigen Unterstützung beim Aufbau institutioneller und im Land selber vorhandener Fähigkeiten, damit sie sich wirksam am Entscheidungsprozeß in bezug auf Klimaänderungen beteiligen können.
- Es ist wichtig, daß bei der Analyse der Abschwächungs- und Anpassungsmaßnahmen sowohl Effizienz wie Gerechtigkeitsbelange berücksichtigt werden. Die Effizienz kann zu Zwecken der Analyse von der Gerechtigkeit getrennt werden. Diese analytische Trennung setzt voraus, daß wirksame Institutionen zur angemessenen Verteilung der Kosten von Klimaänderungen bestehen oder geschaffen werden können und ist für politische Zwecke nur dann gültig. Es dürfte sich lohnen, Analysen der Implikationen in bezug auf die Gerechtigkeit einzelner Maßnahmen zur Erreichung von Effizienz durchzuführen und dabei die gesellschaftlichen Belange und Auswirkungen mitzuberücksichtigen.

3. RAHMEN FÜR ENTSCHEIDUNGSFINDUNGEN BETREFFEND KLIMAÄNDERUNGEN

Da Klimaänderungen ein weltweites Problem sind, sind umfassende Analysen von Abschwächungs-, Anpassungs- und Forschungsmaßnahmen erforderlich, um die effizienteste und am besten geeignete Strategie für den Umgang mit Klimaänderungen zu identifizieren. Die im Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen festgeschriebene internationale Entscheidungsfindung in bezug auf Klimaänderungen ist ein kollektiver Prozeß, in dem unterschiedliche Belange, wie z.B. Gerechtigkeit, ökologische, wirtschaftliche, ethische und mit der Armut zusammenhängende Fragen für die heutigen und künftigen Generationen von besonderer Bedeutung sind. Die Behandlung der Entscheidungsfindung unter Bedingungen der Unsicherheit, Risikoverhütung, Prozessen der Technologieentwicklung und -verbreitung und Fragen der Verteilung ist gegenwärtig in der internationalen Umweltökonomie und insbesondere in der Fachliteratur zu Klimaänderungen relativ schwach entwickelt.

Die mit Klimaänderungen zusammenhängende Entscheidungsfindung muß die Einzigartigkeit des "Problems" berücksichtigen: große (naturwissenschaftliche- und ökonomische) Unsicherheiten, mögliche Nichtlinearitäten und Irreversibilitäten, geographisch und zeitlich asymmetrische Verteilung der Auswirkungen, ein sehr langer Zeithorizont und der globale Charakter von Klimaänderungen, mit dem entsprechenden Potential für Trittbrettfahrerverhalten. Neben den naturwissenschaftlichen Unsicherheiten (diskutiert im Berichtsteil über naturwissenschaftliche Erkenntnisse von Klimaänderungen des Zweiten Sachstandsberichts von IPCC) und den Unsicherheiten über Auswirkungen (Berichtsteil über wissenschaftliche-technische Analysen der Auswirkungen von, zur Anpassung an und Abschwächung von Klimaänderungen des Zweiten Sachstandsberichts von IPCC) beziehen sich *sozioökonomische Unsicherheiten* einerseits auf Abschätzungen darüber, wie sich diese Änderungen, einschließlich der direkten Auswirkungen auf die Wirtschaft wie auch derjenigen auf eine umfassendere Wohlfahrt, auf die menschliche Gesellschaft auswirken werden, und anderseits auf die sozioökonomischen Implikationen einer Emissionsminderung.

Die andere Dimension, welche die Unsicherheiten vergrößert und die Entscheidungsfindung kompliziert, ist die *geographische*: Klimaänderungen sind ein weltweites Problem, das eine unglaublich vielfältige Mischung menschlicher Gesellschaften mit unterschiedlicher Geschichte, Bedingungen und Fähigkeiten betrifft. Viele Entwicklungsländer befinden sich in relativ heißen Klimazonen, hängen stärker von der Landwirtschaft ab und verfügen über eine weniger gut entwikkelte Infrastruktur und Sozialstrukturen; sie dürften deshalb überdurchschnittlich, vielleicht sogar viel stärker in Mitleidenschaft gezogen werden. Auch in entwickelten Ländern dürften umfangreiche Auswirkungen von Klimaänderungen auftreten.

In der Fachliteratur wird auch betont, daß das Hinauszögern von Reaktionen an sich eine Entscheidung ist, die Kosten nach sich zieht. Gemäß einigen Studien bleiben diese Verzögerungskosten gering, andere betonen, daß diese Kosten allen Beteiligten, insbesondere den Anfälligsten, Risiken auferlegen, sowie eine stärkere Nutzung der beschränkten atmosphärischen Kapazitäten und die mögliche Verzögerung erwünschter technischer Entwicklung nach sich ziehen könnten; die Fachliteratur widerspiegelt keinen Konsens.

Der globale Charakter des Problems, welcher kollektives Handeln souveräner Staaten erfordert, und die großen Unterschiede in den Umständen verschiedener Beteiligter werfen folgenbezogene sowie prozedurale Fragen auf. Folgenbezogene Fragen beziehen sich auf die Ergebnisse, während prozedurale Fragen damit zusammenhängen, wie Entscheidungen gefällt werden. In bezug auf Klimaänderungen zieht die Existenz eines vereinbarten rechtlichen Rahmens einen kollektiven Prozeß innerhalb eines ausgehandelten Rahmens (UNFCCC) nach sich. Dementsprechend kann die Entscheidungsfindung unter drei unterschiedlichen Kategorien

von Gesichtspunkten mit je unterschiedlichen Implikationen und Schwerpunkten betrachtet werden: globale Optimierung (Versuch, das global beste Resultat zu finden), Vorgehen bei der Entscheidungsfindung (Verfahrensregeln) und kollektive Entscheidungsfindung (Verteilungsfragen, mehrfach unabhängige Entscheidungsträger).

Die Anwendung der Fachliteratur auf die Entscheidungsfindung zu Klimaänderungen liefert Elemente zum Aufbau kollektiver und/oder marktorientierter Strategien für die Aufteilung der Risiken und das Erzielen von gemeinsamen Nutzen. Die Literatur legt sequentielles Handeln (zeitliche Verteilung) nahe und daß die Länder ein Portefeuille von Abschwächungs-, Anpassungs- und Forschungsmaßnahmen durchführen sowie dieses Portefeuille laufend an die neuesten Erkenntnisse anpassen. Das Potential für den Transfer von finanziellen Mitteln und Technologien in Entwicklungsländer könnte als Bestandteil jedes umfassenden analytischen Rahmens gelten.

Teile einer marktbezogenen Strategie sind *Versicherungen und Märkte für Risiken*. Die Bildung von Risikopools verändert diese Risiken nicht; es kann aber die wirtschaftliche Effizienz und die Wohlfahrt verbessern. Obschon es zur Zeit keine Versicherung gibt, welche die Risiken von Klimaänderungen auf einer globalen Basis aufteilen könnte, ist doch einer der wesentlichen potentiellen Nutzen der Zusammenarbeit innerhalb eines kollektiven Rahmens, wie z.B. des Rahmenübereinkommens über Klimaänderungen, derjenige des gemeinsam getragenen Risikos. Die Risiken von Klimaänderungen sind nur schwer versicherbar,[3] und die internationale Gemeinschaft hat solche ausgefeilten Instrumente noch nicht ausgearbeitet. Dies soll jedoch künftiges internationales Handeln mit dem Zweck der Errichtung von Versicherungsmärkten, die manche internationale Bedürfnisse abdecken, nicht ausschließen.

4. ÜBERLEGUNGEN ZU GERECHTIGKEIT UND SOZIALEN BELANGEN

Überlegungen zur Gerechtigkeit bilden einen wichtigen Aspekt der Politik zu Klimaänderungen und des Rahmenübereinkommens. Im üblichen Sprachgebrauch bedeutet Gerechtigkeit "Unparteilichkeit" oder "etwas, das recht und billig ist". Das Rahmenübereinkommen, einschließlich der Erwähnungen von "Gerechtigkeit" und "gerecht" in Artikel 3.1, 4.2a und 11.2, bildet den Kontext für Anstrengungen, Gerechtigkeit bei der Umsetzung seiner Zwecke und seines Ziels anzuwenden. Internationales Recht, einschließlich der relevanten Beschlüsse des Internationalen Gerichtshofes, könnte ebenfalls als Richtschnur dienen.

Eine Reihe unterschiedlicher ethischer Prinzipien, einschließlich der Befriedigung menschlicher Grundbedürfnisse, könnte für den Umgang mit Klimaänderungen relevant sein, aber die Anwendung von für das individuelle Verhalten entwickelten Prinzipien auf zwischenstaatliche Beziehungen ist komplex und nicht leicht. Politiken zu Klimaänderungen sollten die bestehenden Unterschiede zwischen den Regionen nicht verschärfen, aber auch nicht versuchen, alle Ungerechtigkeiten auszugleichen.

Gerechtigkeit hat sowohl mit prozeduralen als auch mit folgenbezogenen Fragen zu tun. Prozedurale Fragen hängen damit zusammen, wie Entscheidungen gefällt werden, während folgenbezogene sich auf die Ergebnisse beziehen. Damit sie wirksam werden und die Zusammenarbeit fördern können, müssen Vereinbarungen als legitim gelten; Gerechtigkeit ist ein wichtiges Element für die Erlangung von Legitimität.

Prozedurale Gerechtigkeit umfaßt Fragen des Verfahrens und der Beteiligung. Sie erfordert, daß alle Parteien in der Lage sind, sich wirkungsvoll an den internationalen Verhandlungen im Zusammenhang mit Klimaänderungen zu beteiligen. Entsprechende Maßnahmen, die Vertragsparteien, welche Entwicklungsländer sind, die wirkungsvolle Beteiligung an diesen Verhandlungen ermöglichen, erhöhen die Aussicht auf wirkungsvolle, dauerhafte und gerechte Vereinbarungen über den bestmöglichen Umgang mit der Bedrohung durch Klimaänderungen. Die Sorge um Gerechtigkeit und soziale Auswirkungen zeigt die Notwendigkeit auf, insbesondere in den Entwicklungsländern Fähigkeiten im Land aufzubauen und die institutionelle Handlungsfähigkeit zu stärken, damit kollektive Entscheidungen auf legitime und gerechte Weise gefällt und umgesetzt werden können.

Folgenbezogene Gerechtigkeit hat zwei Komponenten: die Aufteilung der Schadens- oder Anpassungskosten und der Maßnahmen zur Abschwächung von Klimaänderungen. Da zwischen den Ländern große Unterschiede in bezug auf Anfälligkeit, Vermögen, Fähigkeiten, Ressourcenausstattung und andere, weiter unten angeführte Faktoren bestehen, könnten die Schadens-, Anpassungs- und Abschwächungskosten ungerecht verteilt werden, wenn diese Frage nicht explizit angegangen wird.

Klimaänderungen dürften zukünftigen Generationen und von Schäden betroffenen Regionen, einschließlich Regionen mit niedrigen Treibhausgasemissionen, Kosten aufbürden. Die Auswirkungen von Klimaänderungen werden ungleich verteilt sein.

Das Rahmenübereinkommen anerkennt in Artikel 3.1 das Prinzip der gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten und jeweiligen Fähigkeiten. Maßnahmen über "no-regrets"-Maßnahmen hinaus auferlegen der heutigen Generation Kosten. Abschwächungspolitiken werfen unvermeidlich die Frage nach der Aufteilung der Kosten auf. Die ersten Absichten zur Emissionsbegrenzung der Vertragsparteien aus Anlage I stellen einen vereinbarten, kollektiven ersten Schritt dieser Vertragsparteien im Umgang mit Klimaänderungen dar.

Gerechtigkeitsargumente können verschiedene Vorschläge zur Aufteilung der Abschwächungskosten unterstützen. Die meisten von ihnen kreisen um zwei Hauptansätze: gleiche Emissionsquoten pro Kopf und Quoten basierend auf Abweichungsinkrementen von (gegenwärtigen oder projezierten) nationalen Referenzemissionswerten. Einige

[3] Es ist unbekannt, wie weit private Märkte Verluste im Zusammenhang mit Klimaänderungen versichern könnten, ohne das Ausmass potentieller Auswirkungen zu kennen.

Vorschläge kombinieren diese Ansätze im Versuch, die Gerechtigkeitsbelange einzubringen, die durch den einen oder anderen Ansatz allein vernachlässigt würden. IPCC kann die Implikationen der verschiedenen Ansätze und Vorschläge wissenschaftlich abklären; die Wahl eines bestimmten Vorschlages aber ist eine Frage der politischen Einschätzung.

Es gibt beträchtliche Unterschiede sowohl zwischen entwickelten Ländern wie zwischen Entwicklungsländern, die für die Anwendung von Gerechtigkeitsprinzipien bei der Abschwächung relevant sind. Dazu gehören Schwankungen bei den historischen und den kumulativen Emissionen, den gegenwärtigen Gesamtemissionen und den Pro-Kopf-Emissionen, den Emissionsintensitäten und der wirtschaftlichen Produktion sowie Faktoren, wie Wohlstand, Energiestrukturen und Ressourcenausstattung. Die Fachliteratur enthält wenig zu den Verflechtungen dieser Unterschiede zwischen entwickelten Ländern und Entwicklungsländern mit Gerechtigkeit.

Zudem sind die Implikationen von Klimaänderungen für Entwicklungsländer anders als für entwickelte Länder. Erstere haben oft andere dringende Prioritäten, schwächere Institutionen und sind im allgemeinen anfälliger auf Klimaänderungen. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß der Anteil der Entwicklungsländer an den Emissionen weiter zunehmen wird, um ihre sozialen und Entwicklungsbedürfnisse zu befriedigen. Treibhausgasemissionen dürften zunehmend global werden, obwohl wahrscheinlich wesentliche Unterschiede in den Pro-Kopf-Emissionen bestehen bleiben werden.

Es ist wichtig, daß bei der Analyse von Abschwächungs- und Anpassungsmaßnahmen sowohl Effizienz- wie Gerechtigkeitsbelange berücksichtigt werden. Es dürfte sich lohnen, Analysen der Implikationen in bezug auf die Gerechtigkeit einzelner Maßnahmen zur Erreichung von Effizienz durchzuführen und dabei die gesellschaftlichen Belange und Auswirkungen mitzuberücksichtigen.

5. GERECHTIGKEIT ZWISCHEN DEN GENERATIONEN UND DISKONTIERUNG

Wie viele andere politische Bereiche, wirft die Politik zu Klimaänderungen besondere Fragen zur Gerechtigkeit zwischen den Generationen auf, weil zukünftige Generationen eine heute gewählte Politik, die ihr Wohlergehen beeinträchtigen könnte, nicht direkt beeinflussen können, und weil es nicht möglich sein könnte, zukünftige Generationen für eine sich ergebende Reduktion ihres Wohlergehens zu entschädigen.

Nachhaltige Entwicklung ist ein möglicher Ansatz zur Erreichung von Gerechtigkeit zwischen den Generationen. Nachhaltige Entwicklung befriedigt "die Bedürfnisse gegenwärtiger Generationen, ohne die Fähigkeit zukünftiger Generationen, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen, zu beeinträchtigen."[4] Unter Ökonomen besteht ein Konsens darüber, daß dies nicht bedeutet, daß zukünftige Generationen eine Welt mit mindestens gleich viel von jeder Ressource erben sollten. Trotzdem würde nachhaltige Entwicklung gebieten, daß die Nutzung nichterneuerbarer natürlicher Ressourcen und die Umweltverschmutzung sich entsprechend die Waage halten—zum Beispiel durch eine ausreichende Zunahme des Produktivvermögens, so daß zukünftige Generationen mindestens den gleichen Lebensstandard erreichen können wie die jetzt lebenden. In der Fachliteratur gibt es verschiedene Ansichten darüber, inwieweit Infrastruktur und Wissen einerseits und natürliche Ressourcen andererseits, wie z.B. eine gesunde Umwelt, austauschbar sind. Dies ist für die Anwendung dieser Konzepte entscheidend. Einige Autoren und Autorinnen betonen, daß es nichterneuerbare Ressourcen gibt, die einzigartig sind und die nicht ausgetauscht werden können. Andere glauben, daß die jetzt lebenden Generationen zukünftigen Generationen Einbußen in Quantität oder Qualität von Umweltressourcen ersetzen können, indem sie andere Ressourcen vermehren.

In den Wirtschaftswissenschaften ist die Diskontierung das hauptsächliche Analyseinstrument zum Vergleich wirtschaftlicher Effekte, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftreten. Die Wahl der Diskontrate ist von entscheidender fachlicher Bedeutung für die Analyse der Politik zu Klimaänderungen, weil der Zeithorizont extrem lang ist und weil Abschwächungskosten tendenziell viel früher anfallen als der Nutzen aus vermiedenen Schäden. Je höher die Diskontrate, desto geringer ist der zukünftige Nutzen und desto mehr spielen die gegenwärtigen Kosten in der Analyse eine Rolle.

Die Wahl einer sozialen Diskontrate ist auch eine Wertfrage, da sie inhärenterweise die Kosten gegenwärtiger Maßnahmen mit möglichen Schäden in Verbindung bringt, welche künftige Generationen erleiden werden, wenn keine Maßnahmen ergriffen werden.[5] Die Frage, wie man am besten eine Diskontrate wählt, ist in den Wirtschaftswissenschaften ungelöst und wird es wahrscheinlich auch bleiben. Zum Teil als Folge davon werden in verschiedenen Ländern verschiedene Diskontraten angewandt. Analytiker führen normalerweise Sensitivitätsanalysen mit verschiedenen Diskontraten durch. Es sollte auch beachtet werden, daß eine soziale Diskontrate voraussetzt, daß alle Auswirkungen in ihr Konsumäquivalent umgewandelt werden. Dies macht es schwierig, sie auf Auswirkungen von Klimaänderungen anzuwenden, die sich nicht unmittelbar in Markttransaktionen widerspiegeln und aus ethischen bzw. praktischen Gründen nicht in Konsumeinheiten konvertiert werden dürfen bzw. können.

Die Fachliteratur über die geeignete soziale Diskontrate zur Analyse von Klimaänderungen kann in zwei große Kategorien eingeteilt werden. Ein Ansatz diskontiert Verbrauch durch verschiedene Generationen, indem er die "soziale Zeitpräferenzrate" anwendet, d.h. die Summe der Rate der "reinen Zeitpräferenz" (Ungeduld) und der Wachstumsrate der Wohlfahrt, abgeleitet von höheren Pro-Kopf-Einkommen in der Zukunft. Je nach den Werten, die für die verschiedenen

[4] Ein verwandtes (etwas weitergehendes) Konzept besagt, daß jede Generation ein Anrecht darauf hat, einen Planeten und kulturelle Ressourcen zu erben, die mindestens so gut sind wie diejenigen der vorhergehenden Generationen.

[5] Eine soziale Diskontrate ist eine Diskontrate, die sich zur Anwendung durch Regierungen in der Bewertung einer staatlichen Politik eignet.

Parameter gewählt werden, beträgt die globale Diskontrate bei Anwendung dieses Ansatzes tendenziell zwischen 0,5% und 3,0% pro Jahr. Allerdings existieren große Unterschiede bei den regionalen Diskontraten, die trotzdem mit einem bestimmten globalen Durchschnitt konsistent sind.

Der zweite Ansatz für die Diskontrate berücksichtigt die Marktverzinsung des Kapitals, die sich für langfristige, risikolose öffentliche Investitionen real zwischen 3% und 6% bewegt. Theoretisch könnte Kapital in Projekte investiert werden, die solche Renditen erbringen, wobei die erzielten Erträge dazu eingesetzt werden könnten, den Verbrauch kommender Generationen zu erhöhen.

Die Wahl der sozialen Diskontrate für öffentliche Investitionsprojekte ist eine Frage der politischen Präferenz, hat aber weitreichende Auswirkungen auf die ökonomische Bewertung von Maßnahmen bezüglich Klimaänderungen.[6] So würde zum Beispiel ein Schaden von 1000 Dollar in 100 Jahren bei einer Diskontrate von 1% heute mit 370 Dollar bewertet (nahe dem unteren Ende des Bereichs beim ersten Ansatz), bei einer Diskontrate von 5% jedoch mit 7,6 Dollar (nahe dem oberen Ende des Bereichs beim zweiten Ansatz). Bei Analysen zur Kostengünstigkeit von Politiken über kurze Zeithorizonte sind allerdings die Auswirkungen der Anwendung verschiedener Diskontraten viel kleiner. In allen Bereichen sollten Analytiker die von ihnen angewendete(n) Diskontrate(n) angeben, um einen Vergleich und eine Aggregierung der Ergebnisse zu erleichtern.

6. ANWENDBARKEIT VON KOSTEN- UND NUTZENBEURTEILUNGEN

Viele Faktoren müssen bei der Bewertung von Projekten und Fragen der staatlichen Politik im Zusammenhang mit Klimaänderungen berücksichtigt werden, einschließlich der Analyse möglicher Kosten und Nutzen. Obwohl nicht alle Kosten und Nutzen monetär bewertet werden können, gibt es verschiedene Techniken, die einen zweckmäßigen Rahmen zur Organisation von Informationen über die Folgen alternativer Maßnahmen im Umgang mit Klimaänderungen bieten.

Die Familie der analytischen Techniken zur Untersuchung wirtschaftlicher Umweltpolitiken und -entscheidungen umfaßt die traditionelle Kosten-Nutzen-Analyse auf der Ebene einzelner Projekte, Kostengünstigkeitsanalyse, Multikriterienanalyse und Entscheidungsanalyse. Die traditionelle Kosten-Nutzen-Analyse versucht, alle Kosten und Nutzen, ausgedrückt in einer gemeinsamen monetären Einheit, zu vergleichen. Die Kostengünstigkeitsanalyse versucht, die Option mit den niedrigsten Kosten zur Erreichung eines mit anderen Kriterien festgelegten Zieles zu finden. Die Multikriterienanalyse dient dazu, mit Problemen umzugehen, bei denen ein Teil des Nutzens und/oder der Kosten in nichtmonetären Einheiten bewertet wird. Die Entscheidungsanalyse konzentriert sich speziell darauf, Entscheidungen zu treffen, wenn Unsicherheiten bestehen.

Im Prinzip können diese Techniken dazu beitragen, staatliche politische Entscheidungen bezüglich des angestrebten Ausmasses von Maßnahmen zur Abschwächung von globalen Klimaänderungen, die zeitliche Abstimmung solcher Maßnahmen und die anzuwendenden Methoden zu verbessern.

Die traditionelle Kosten-Nutzen-Analyse beruht auf der Annahme, daß das Niveau der Emissionskontrolle zu jedem Zeitpunkt so festgelegt wird, daß Grenzkosten und Grenznutzen gleich sind. Es kann aber wegen großer Unsicherheiten, möglicher Katastrophen mit sehr kleinen Wahrscheinlichkeiten oder einfach darum, weil noch keine konsistente Methodologie zur Monetarisierung der Auswirkungen verfügbar ist, schwierig, manchmal unmöglich sein, sowohl Kosten wie Nutzen zu bewerten. In manchen dieser Fälle könnte es möglich sein, die Multikriterienanalyse anzuwenden. Diese liefert politischen Entscheidungsträgern ein breiteres Spektrum an Informationen, einschließlich der Beurteilung relevanter Kosten und Nutzen, die in einem gemeinsamen System abgeschätzt wurden.

Die praktische Anwendung der traditionellen Kosten-Nutzen-Analyse auf das Problem von Klimaänderungen ist aufgrund der globalen, regionalen und generationenübergreifenden Art des Problems schwierig. Zudem variieren Schätzungen der Kosten verschiedener Abschwächungsoptionen beträchtlich, ebenso wie die Einschätzungen der möglichen durch Klimaänderungen verursachten materiellen Schäden. Im weiteren ist das Vertrauen in monetäre Einschätzungen wichtiger Folgen (vor allem von Folgen, die sich nicht unmittelbar in Markttransaktionen widerspiegeln) gering. Diese Unsicherheiten und die allmähliche Ausräumung dieser Unsicherheiten dürften entscheidend für die Wahl der Strategien zur Bekämpfung von Klimaänderungen sein. Es ist das Ziel der Entscheidungsanalyse, mit solchen Problemen umzugehen. Weiterhin gibt es für einige Kategorien von Auswirkungen auf Ökologie, Kultur oder die menschliche Gesundheit keine allgemein akzeptierten ökonomischen Wertkonzepte. Wo manche Auswirkungen und Maßnahmen nicht monetarisiert werden können, ergänzen Wirtschaftswissenschaftler den traditionellen Ansatz der Kosten-Nutzen-Analyse mit Techniken wie der Multikriterienanalyse, die eine gewisse Quantifizierung der notwendigen Wechselbeziehungen erlauben. Diese Techniken lösen keine Fragen der Gerechtigkeit—zum Beispiel bei der Bestimmung, wer die Kosten tragen soll. Sie liefern jedoch wichtige Informationen über den Umfang der Schadens-, Abschwächungs- und Anpassungskosten und darüber, wo kosteneffiziente Maßnahmen ergriffen werden könnten.

Trotz der vielen Mängel liefern diese Techniken einen wertvollen Rahmen zur Identifizierung wesentlicher Fragen, denen politische Entscheidungsträger sich stellen müssen, wenn sie sich mit Klimaänderungen befassen:

- Um wieviel sollen die Treibhausgasemissionen reduziert werden?
- Wann sollen Emissionen reduziert werden?

[6] Trotz der Unterschiede in den Werten der Diskontrate können Politiken, die aufgrund der beiden Ansätze entwickelt worden sind, zu ähnlichen Ergebnissen führen.

- Wie sollen Emissionen reduziert werden?

Diese analytischen Techniken helfen Entscheidungsträgern dabei, die Folgen der zur Wahl stehenden Maßnahmen einschließlich derer, keine Maßnahme zu ergreifen, auf einer quantitativen Grundlage zu vergleichen; sie können sicher einen Beitrag zur Lösung dieser Fragen leisten.

7. DIE SOZIALEN KOSTEN ANTHROPOGENER KLIMAÄNDERUNGEN: SCHÄDEN DURCH ZUNAHME VON TREIBHAUSGASEMISSIONEN

Die Fachliteratur zum in diesem Abschnitt behandelten Thema ist widersprüchlich und beruht hauptsächlich auf Forschung über entwickelte Länder, oft auf Entwicklungsländer extrapoliert. Es besteht kein Konsens darüber, wie statistische Leben zu bewerten sind oder wie statistische Leben aus verschiedenen Ländern aggregiert werden können.[7] Eine monetäre Bewertung sollte die menschlichen Folgen von durch anthropogene Klimaänderungen verursachten Schäden nicht in den Hintergrund treten lassen, da der Wert des Lebens eine Bedeutung jenseits einer monetären Bewertung hat. Es sollte beachtet werden, daß die Riodeklaration und die Agenda 21 dazu aufrufen, daß die Menschen im Mittelpunkt der nachhaltigen Entwicklung bleiben. Wie diese Bewertung angegangen wird, könnte das Ausmaß der Strategien zur Schadensreduktion beeinflussen. Es bleibt darauf hinzuweisen, daß fast in der ganzen Fachliteratur, die in diesem Abschnitt diskutiert wird, 1. die statistischen Leben in Entwicklungsländern und 2. andere Schäden in Entwicklungsländern nicht mit dem Wert aus den entwickelten Länder bewertet wurden. Weil nationale Umstände, einschließlich der Opportunitätskosten, verschieden sind, bewerten Ökonomen gelegentlich manche Arten von Auswirkungen von Land zu Land unterschiedlich.

Nutzen einer Begrenzung von Treibhausgasemissionen und des Ausbaus von Senken sind (a) die Vermeidung von Schäden durch Klimaänderungen und (b) der sekundäre Nutzen, der mit den entsprechenden Politiken verbunden ist. Sekundäre Nutzen umfassen u.a. die Reduktion anderer Schadstoffe, die zusammen mit Treibhausgasen anfallen, und die Erhaltung der biologischen Vielfalt. Nettoschäden durch Klimaänderungen umfassen sowohl sich in Markttransaktionen widerspiegelnde als auch nicht widerspiegelnde Auswirkungen, soweit sie bis jetzt quantifiziert werden können, und in manchen Fällen Anpassungskosten. Schäden werden netto ausgedrückt, um die Tatsache zu berücksichtigen, daß es auch manche vorteilhafte Auswirkungen der globalen Erwärmung gibt, die jedoch von den Schadenskosten dominiert werden. Auswirkungen, die sich nicht in Markttransaktionen widerspiegeln, zum Beispiel auf die menschliche Gesundheit, das menschliche Sterberisiko und Schäden an Ökosystemen, bilden eine wichtige Komponente der verfügbaren Schätzungen über die sozialen Kosten von Klimaänderungen. Die Fachliteratur zur monetären Bewertung solcher sich nicht in Markttransaktionen widerspiegelnde Auswirkungen gibt eine Reihe von divergierenden Ansichten und Ansätzen wieder. Die Schätzungen über sich nicht in Markttransaktionen widerspiegelnden Schäden sind jedoch höchst spekulativ und nicht umfassend.

Die Schätzungen über sich nicht in Markttransaktionen widerspiegelnde Schäden sind eine Quelle größerer Unsicherheit bei der Bewertung der Implikationen von globalen Klimaänderungen für die menschliche Wohlfahrt. Während einige eine monetäre Bewertung solcher Auswirkungen als für das Treffen begründeter Entscheidungen wesentlich erachten, weisen andere die monetäre Bewertung gewisser Auswirkungen, wie zum Beispiel des menschlichen Sterberisikos, aufgrund ethischer Überlegungen zurück. Zudem besteht die Gefahr, daß ganze einzigartige Kulturen ausgelöscht werden könnten. Dies ist nicht etwas, das in Geldwerten betrachtet werden kann, sondern es wird eine Frage des Verlustes menschlicher Vielfalt, für deren wirtschaftliche Bewertung wir keine Indikatoren haben.

Die beurteilte Literatur enthält nur wenige Schätzungen der monetarisierten Schäden in Szenarien mit einer Verdoppelung der äquivalenten CO_2-Konzentration. Diese Schätzungen werden auf ein globales Maß aggregiert und illustrieren die potentiellen Auswirkungen von Klimaänderungen für ausgewählte Szenarien. Die Aggregierung einzelner monetarisierter Schäden zur Bestimmung der Gesamtauswirkungen auf die soziale Wohlfahrt schließt schwierige Entscheidungen über Gerechtigkeit zwischen den Ländern ein. Globale Schätzungen beruhen auf einer Aggregierung monetärer Schäden aus verschiedenen Ländern (Schäden, die selbst implizite Aggregierungen über Individuen sind); diese Aggregierung spiegelt Unterschiede zwischen den Ländern in bezug auf Wohlstand und Einkommen wider, und dies beeinflußt die monetäre Bewertung von Schäden grundlegend. Werden Einkommensunterschiede als gegeben angenommen, dann bedeutet dies, daß eine gleichwertige Auswirkung in zwei verschiedenen Ländern (wie zum Beispiel eine gleiche Zunahme der menschlichen Sterblichkeit) bei der Berechnung globaler Schäden sehr verschieden gewichtet würde.

Um die Wahl zwischen verschiedenen Wegen zur Förderung der menschlichen Wohlfahrt auf einer konsistenten Grundlage zu ermöglichen, versuchen Ökonomen schon seit vielen Jahren unter Anwendung verschiedener Techniken ein breites Spektrum an Auswirkungen auf Mensch und Umwelt in Form von monetären Äquivalenten auszudrücken. Die Technik, die am häufigsten angewandt wird, ist ein Ansatz, der auf der beobachteten Bereitschaft basiert, für verschiedene, sich nicht in Markttransaktionen widerspiegelnde Nutzen zu zahlen.[8]

[7] Der Wert eines statistischen Lebens wird definiert als der Wert, den Menschen einer Änderung im Sterberisiko in einer Bevölkerung zuschreiben.

[8] Das Konzept der Zahlungsbereitschaft ist indikativ und basiert auf den ausgedrückten Wünschen, verfügbaren Ressourcen und Informationen eines Menschen zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die Werte können sich über die Zeit verändern. In der Fachliteratur sind auch andere Konzepte (wie z.B. die Bereitschaft, eine Entschädigung für einen Schaden zu akzeptieren) vorgeschlagen worden, die aber noch nicht allgemein angewandt werden. Auch dürfte sich die Auslegung und Anwendung der Zahlungsbereitschaft und anderer Konzepte im Zusammenhang mit dem Klimaproblem noch weiterentwickeln.

Dieser Ansatz wurde in der beurteilten Fachliteratur mehrheitlich verwendet.

Das menschliche Leben ist ein Element außerhalb des Marktes, und alle Gesellschaften wollen es wahrscheinlich in gleicher Weise bewahren. Ein Ansatz, der eine gleiche Bewertung von Auswirkungen auf das menschliche Leben beinhaltet, wo immer sie auftreten, könnte andere globale aggregierte Schätzungen als die nachfolgenden ergeben. Zum Beispiel könnte die Angleichung des Wertes eines statistischen Lebens auf einen globalen Durchschnitt den gesamten globalen Schaden unverändert lassen, würde aber den Anteil an diesen Schäden, der durch die Entwicklungsländer getragen werden müßte, merklich erhöhen. Eine Angleichung dieses Wertes auf einem für entwickelte Länder typischen Niveau würde die monetarisierten Schäden um ein Mehrfaches erhöhen und den Anteil der Entwicklungsländer am gesamten geschätzten Schaden weiter erhöhen.

Andere Aggregationsmethoden können angewandt werden, um Anpassungen im Hinblick auf Unterschiede im Wohlstand oder in den Einkommen der Länder bei der Berechnung von monetären Schäden vorzunehmen. Weil die Schätzungen über monetäre Schäden bei Ländern mit niedrigem Einkommen tendenziell einen höheren Prozentsatz des nationalen BIP ausmachen als bei Ländern mit hohen Einkommen, wird erwartet, daß Aggregationsschemata, welche Anpassungen im Hinblick auf Wohlfahrts- oder Einkommensauswirkungen vornehmen, höhere Schätzungen der globalen Schäden ergeben als jene, die im Bericht vorgestellt werden.

Die beurteilte Fachliteratur, die den Gesamtschaden bei 2-3°C Erwärmung quantifiziert, liefert ein großes Spektrum punktueller Schadensschätzungen für eine angenommene Änderung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen. Die Gesamtschätzungen tendieren zu ein paar Prozent des Welt-BIP, mit allgemein beträchtlich höheren Schadensschätzungen für Entwicklungsländer als deren Anteil am BIP. Die Gesamtschätzungen unterliegen einer beträchtlichen Unsicherheit, aber der Unsicherheitsbereich kann nicht aus der Fachliteratur entnommen werden. Die Streuung der Schätzungen kann angesichts der sehr unterschiedlichen in den Studien verwendeten Annahmen und Methodologien nicht als Vertrauensintervall interpretiert werden. Wie bereits oben angemerkt, verdeckt die Aggregierung vermutlich noch größere Unsicherheiten über die Schadenskomponenten.

Regionale oder sektorale Ansätze zur Schätzung der Folgen von Klimaänderungen umfassen ein viel breiteres Spektrum an Schätzungen der wirtschaftlichen Nettoauswirkungen. Für manche Gebiete werden die Schäden bedeutend höher eingeschätzt; sie könnten die wirtschaftliche Entwicklung nachteilig beeinflussen. Für andere wird geschätzt, daß Klimaänderungen die wirtschaftliche Produktion erhöhen und Gelegenheiten zur wirtschaftlichen Entwicklung bieten werden. Die wenigen veröffentlichten Schadensschätzungen für Länder, die im allgemeinen über eine diversifizierte industrielle Wirtschaft und ausgebildete und flexible Arbeitnehmer verfügen, bewegen sich in der Größenordnung von einem bis einigen Prozent des BIP. Die wenigen veröffentlichten Schadensschätzungen für Länder, die im allgemeinen über eine spezialisierte, auf natürlichen Rohstoffen basierende Wirtschaft (z.B. mit großem Gewicht auf Landwirtschaft oder Forstwirtschaft) und eine kaum entwickelte und ans Land gebundene Arbeitnehmerschaft verfügen, sind um ein Mehrfaches höher. Kleine Inseln und tiefliegende Küstengebiete sind besonders anfällig. Schäden aus möglichen Katastrophen großen Umfangs, wie z.B. größere Änderungen in den Meeresströmungen, finden in diesen Schätzungen keinen Niederschlag. Es besteht wenig Übereinstimmung zwischen den Studien über die genaue Größe jeder Schadenskategorie oder die relative Rangordnung der Schadenskategorien.[9] Es wird für mehrere Jahrzehnte nicht erwartet, daß Klimaänderungen dieser Größenordnung eintreten; in den dazwischen liegenden Jahren dürften die Schäden kleiner sein. Über einen längeren Zeitraum könnten die Schäden aber größer sein.[10]

IPCC schließt sich keinem bestimmten Bereich von Werten für den durch CO_2-Emissionen verursachten Grenzschaden an, aber publizierte Schätzungen bewegen sich zwischen 5 und 125 Dollar (in Werten von US-$ 1990) pro gegenwärtig emittierter Tonne Kohlenstoff. Dieser Bereich von Schätzungen repräsentiert nicht den ganzen Unsicherheitsbereich. Die Schätzungen beruhen auch auf Modellen, die zu einfach bleiben und die gegenwärtig ablaufenden Klimaprozesse begrenzt wiedergeben, und sie beruhen auf früheren wissenschaftlichen IPCC-Berichten. Die große Streuung der Schadensschätzungen reflektiert Variationen in den Modellszenarien, Diskontraten und anderen Annahmen. Es muß betont werden, daß die Schätzungen der sozialen Kosten wegen des beschränkten Wissens über Auswirkungen, unsicherer zukünftiger technologischer und sozioökonomischer Entwicklungen und der Möglichkeit von katastrophalen Ereignissen oder Überraschungen einen großen Unsicherheitsbereich haben.

8. ALLGEMEINE BEURTEILUNG VON REAKTIONSSTRATEGIEN

Ein großes Spektrum von Technologien und Verfahren zur Abschwächung der Emissionen von CO_2, CH_4, N_2O und anderen Treibhausgasen ist verfügbar. Es stehen auch viele Anpassungsmaßnahmen zur Verfügung, die als Reaktion auf die Auswirkungen von Klimaänderungen dienen können. Alle diese Technologien, Verfahren und Maßnahmen haben sowohl finanzielle Umweltkosten als auch Nutzen. Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über das Spektrum von Optionen, das gegenwärtig zur Verfügung steht oder in der Fachliteratur diskutiert wird. Die optimale Mischung der Reaktionsoptionen wird, je nachdem wie sich die lokalen Gegebenheiten und Kosten verän-

[9] Wegen der zeitlichen Verzögerung zwischen Erkenntnissen der Naturwissenschaften, ihrer Verwendung zur Bestimmung potentieller physikalischer und biologischer Auswirkungen und ihrer nachfolgenden Integration in ökonomischen Analysen von Klimaänderungen basieren Schätzungen der Schäden durch Klimaänderungen hauptsächlich auf wissenschaftlichen Ergebnissen von IPCC-Berichten von 1990 und 1992.

[10] Siehe den Berichtsteil der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse über Klimaänderungen und den Teil über wissenschaftliche-technische Analysen der Auswirkungen von, zur Anpassung an und Abschwächung von Klimaänderungen des Zweiten Sachstandsberichts von IPCC.

dern, von Land zu Land und im Lauf der Zeit unterschiedlich ausfallen.

Eine Prüfung der Abschwächungsoptionen für CO_2 legt folgendes nahe:

- In vielen Sektoren existiert ein großes Potential für kostengünstiege **Energieeinsparung und Verbesserungen der Effizienz** in der Energieversorgung und bei der Energienutzung. Diese Optionen bieten wirtschaftlichen und Umweltnutzen zusätzlich zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Verschiedene dieser Optionen können dank kleiner Einheitengröße, modularer Bauweise und niedriger Lebensdauerkosten rasch verbreitet werden.
  Die **Abschwächungsoptionen für CO_2 bei der Energienutzung** umfassen u.a. alternative Methoden und Verbesserungen der Effizienz, unter anderem in den Sektoren Bauwesen, Haushalte, Kleinverbraucher, Landwirtschaft und Industrie. Nicht alle kosteneffizienten Strategien basieren auf neuer Technologie; einige beruhen auf einer verbesserten Informationsvermittlung und öffentlichen Bildung, verbesserten Managementstrategien, Preispolitiken und institutionellen Reformen.
- Schätzungen des technischen Potentials für die **Umstellung auf weniger kohlenstoffintensive Energieträger** unterscheiden sich regional und je nach Art der Maßnahme, der wirtschaftlichen Verfügbarkeit von Reserven fossiler und alternativer Energieträger und müssen potentielle Methanemissionen durch Erdgasleckagen während der Produktion und Verteilung berücksichtigen.
- **Technologien für erneuerbare Energien** (z.B. Sonnenenergie, Wasserkraft, Wind, traditionelle und moderne Biomasse, Umwandlung von Wärmeenergie aus Meeren) weisen unterschiedliche Niveaus an technischer Entwicklung, wirtschaftlicher Reife und kommerzieller Nutzbarkeit auf. Das Potential dieser Energiequellen ist nicht voll ausgeschöpft. Kostenschätzungen für diese Technologien reagieren empfindlich auf standortspezifische Merkmale, Ressourcenvariabilität und die Form der gelieferten Endenergie. Diese Kostenschätzungen variieren beträchtlich.
- Die **Kernenergie**[11] ist eine Technologie, die seit einigen Jahrzehnten in vielen Ländern eingesetzt wird. Eine Anzahl Faktoren hat allerdings die Verbreitung der Kernenergie verlangsamt, u.a. (a) eine aufgrund von Nuklearunfällen verunsicherte öffentliche Wahrnehmung und (b) noch nicht ganz gelöste Probleme bezüglich Reaktorsicherheit, Weiterverbreitung von spaltbarem Material, Stillegung von Anlagen und langfristiger Beseitigung von atomaren Abfällen, wie auch in einigen Fällen ein niedrigerer Strombedarf als erwartet. Regelungs- und Standortschwierigkeiten haben die Vorlaufzeiten für den Bau erhöht, was in einigen Ländern zu höheren Kapitalkosten für diese Option geführt hat. Falls diese Probleme, einschließlich u.a. der oben erwähnten sozialen, politischen und Umweltaspekte, gelöst werden können, hat die Kernenergie das Potential, ihren gegenwärtigen Anteil an der weltweiten Energieproduktion zu erhöhen.
- Die Möglichkeiten zur **Entfernung und Entsorgung von CO_2** dürften letztlich aus technischen und Umweltgründen begrenzt sein, weil nicht alle Formen der Entsorgung zuverlässig verhindern, daß CO_2 wieder in die Atmosphäre gelangt.
- Optionen für die **Forstwirtschaft** bieten unter gewissen Umständen ein großes Potential, mäßige Kosten, ein geringes Risiko und anderen Nutzen. Zudem könnte die potentielle moderne Nutzung von Biomasse als Quelle für Brennstoffe und Strom attraktiv werden. Anhalten oder Verlangsamung der Abholzung und zunehmende Wiederaufforstung durch erhöhte Produktivität bei der Forstkultur, nachhaltige Bewirtschaftungsprogramme, welche die landwirtschaftliche Produktivität erhöhen, die Ausdehnung von Waldschutzgebieten und die Förderung des Ökotourismus befinden sich unter den kostengünstigen Optionen zur Verlangsamung der Zunahme von CO_2 in der Atmosphäre. Forstwirtschaftliche Programme geben Anlass zu wesentlichen Überlegungen zur Gerechtigkeit.[12]

Es gibt auch ein breites Spektrum an verfügbaren Technologien und Praktiken zur Reduktion der **Methan**emissionen aus Quellen wie Erdgassysteme, Kohlenbergwerke, Abfalldeponien und landwirtschaftliche Betriebe. Das Problem der Reduktion von Emissionen im Zusammenhang mit der Lebensmittelversorgung könnte allerdings Wechselbeziehungen mit der Höhe der Lebensmittelproduktion einschließen. Diese Wechselbeziehungen müssen sorgfältig beurteilt werden, da sie in einigen Ländern, besonders in Entwicklungsländern, die Deckung von Grundbedürfnissen beeinträchtigen können.

Die meisten **Distickstoffoxid**emissionen stammen aus diffusen Quellen in der Land- und Forstwirtschaft. Es ist schwierig, diese Emissionen rasch zu vermindern. Industrielle Emissionen von **Distickstoffoxid und Halogenverbindungen** konzentrieren sich tendenziell in einigen wenigen Schlüsselsektoren und sind eher leichter zu regeln. Maßnahmen zur Einschränkung solcher Emissionen dürften für viele Länder attraktiv sein.

Die langsame Umsetzung vieler der oben aufgeführten, technologisch attraktiven und kostengünstigen Optionen hat zahlreiche mögliche Erklärungen, wobei sowohl wirkliche wie wahrgenommene Kosten wichtige Faktoren darstellen. Unter anderem beeinflussen die Faktoren Verfügbarkeit von Kapital, Informationslücken, institutionelle Hemmnisse und Marktunvollkommenheiten die Verbreitungsgeschwindigkeit dieser Technologien. Eine Identifizierung der Gründe, die für ein Land spezifisch sind, ist eine Vorbedingung für die Ausarbeitung solider und wirkungsvoller Politiken, die zu deren weiteren Verbreitung ermutigen.

Bildung und Ausbildung sowie Informations- und Beratungsmaßnahmen sind wichtige Aspekte verschiedener Reaktionsoptionen.

Viele der oben beschriebenen emissionsvermindernden Technologien und Verfahren bieten der Gesellschaft auch

[11] Mehr Informationen über die technischen Aspekte der Kernenergie sind im Berichtsteil über wissenschaftliche-technische Analysen der Auswirkungen von, zur Anpassung an und Abschwächung von Klimaänderungen des Zweiten Sachstandsberichts von IPCC enthalten.

[12] Diese werden in Abschnitt 4 weiter oben und in Kapitel 3 des Berichtsteils über wirtschaftliche und soziale Dimensionen von Klimaänderungen des Zweiten Sachstandsberichts von IPCC behandelt.

anderen Nutzen. Dieser zusätzliche Nutzen schließt eine verbesserte Luftqualität, einen besseren Schutz von Oberflächen- und Grundwasser, größere Produktivität bei Tieren, ein vermindertes Explosions- und Brandrisiko und eine verbesserte Nutzung von Energieressourcen ein.

Es gibt auch viele Optionen zur Anpassung an die Auswirkungen von Klimaänderungen und damit zur Reduktion der Schäden bei nationalen Wirtschaften und natürlichen Ökosystemen. Optionen für Anpassungen gibt es in vielen Sektoren, von Landwirtschaft und Energie bis zu Gesundheit, Bewirtschaftung von Küstengebieten, küstennahen Fischzuchtanstalten und Erholung. Einige von ihnen bieten eine verbesserte Fähigkeit, mit den gegenwärtigen Auswirkungen der Klimavariabilität zurechtzukommen. Es ist allerdings wichtig, bei der zukünftigen Forschung Wechselbeziehungen zwischen der Einführung von Abschwächungs- und Anpassungsmaßnahmen in Betracht zu ziehen. Eine Zusammenfassung der sektoralen Anpassungsoptionen wird im Berichtsteil über wissenschaftliche-technische Analysen der Auswirkungen von, zur Anpassung an und Abschwächung von Klimaänderungen des Zweiten Sachstandsberichts von IPCC vorgelegt.

Die optimale Reaktionsstrategie für jedes einzelne Land wird von den besonderen Umständen und Bedingungen abhängen, denen sich dieses Land gegenübersieht. Trotzdem legen viele neuere Studien und empirische Beobachtungen nahe, daß einige der kosteneffizientesten Optionen am erfolgreichsten auf einer gemeinsamen oder kooperativen Basis zwischen den Nationen durchgeführt werden können.

9. KOSTEN VON REAKTIONSOPTIONEN

Es muß betont werden, daß der Text in diesem Abschnitt eine Beurteilung der Fachliteratur ist und keine politischen Empfehlungen darstellt. Die verfügbare Literatur stammt in erster Linie aus entwickelten Ländern.

Kostenbegriffe

Aus der Sicht des vorliegenden Abschnitts über die Beurteilung von Abschwächungs- und Anpassungskosten sind es die Nettokosten (Gesamtkosten minus sekundäre Nutzen und Kosten), die eine Rolle spielen. Diese Nettokosten schließen die sozialen Kosten von Klimaänderungen aus, die in Abschnitt 7 diskutiert werden. Die beurteilte Literatur liefert ein sehr breites Spektrum an Schätzungen der Kosten für Reaktionsoptionen. Das breite Spektrum spiegelt vor allem wesentliche Unterschiede in den Annahmen über die Effizienz von Energie- und anderen Märkten und über die Fähigkeit von staatlichen Institutionen, wahrgenommene Marktversagen oder -unvollkommenheiten anzugehen.

Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen können zusätzliche wirtschaftliche Auswirkungen (z.B. durch technologische externe Effekte im Zusammenhang mit der Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprogrammen) und/oder Umweltauswirkungen (wie z.B. verminderte Emissionen von saurem Regen und Smog-Vorläufersubstanzen) haben. Studien legen nahe, daß der sekundäre Nutzen für die Umwelt beträchtlich sein dürfte, sich aber wahrscheinlich von Land zu Land unterscheidet.

Spezifische Ergebnisse

Schätzungen der Kosten einer Reduktion von Treibhausgasemissionen hängen entscheidend von den Annahmen über die Höhe von Energieeffizienzsteigerungen im Referenzszenario (d.h. ohne Klimapolitik) und von einem breiten Spektrum von Faktoren, wie z.B. Konsummuster, Verfügbarkeit von Ressourcen und Technologien, gewünschter Höhe und zeitlichem Verlauf der Reduktion und der Wahl der politischen Instrumente ab. Politische Entscheidungsträger sollten sich nicht zu sehr auf die spezifischen Zahlenergebnisse einer einzelnen Analyse verlassen. Zum Beispiel zeigen Analysen der Abschwächungskosten die Kosten der Abschwächung im Verhältnis zu einem bestimmten Referenzpfad, aber weder der Referenzpfad noch die Interventionsszenarien sollten als wahrscheinliche zukünftige Bedingungen verstanden werden. Im Mittelpunkt sollten die allgemeinen Einsichten über die zugrundeliegenden entscheidenden Faktoren für die Kosten stehen.

Die Kosten einer Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen auf einem Niveau und innerhalb eines Zeitraumes, die eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindern (das letztliche Ziel des Rahmenübereinkommens), werden entscheidend von der Wahl eines Emissionszeitpfades abhängen. Die Kosten eines Minderungsprogramms werden beeinflußt durch die Geschwindigkeit des Kapitalersatzes, die Diskontrate und die Wirkung von Forschung und Entwicklung.

Wird es unterlassen, so früh wie möglich Politiken zu verabschieden, um wirkungsvolle Ersatzinvestitionen am Ende des wirtschaftlichen Lebens einer Anlage und Einrichtung (d.h. am Punkt der Erneuerung von Kapitalgütern) zu fördern, werden der Gesellschaft wirtschaftliche Kosten erwachsen. Die stufenweise Umsetzung von Emissionsreduktionen, die im Laufe der normalen Erneuerung von Kapitalgütern durchgeführt werden können, ist in der Regel billiger als die Erzwingung vorzeitiger Stillegungen.

Die Wahl von Reduktionspfaden erfordert ein Abwägen der wirtschaftlichen Risiken einer schnellen Reduktion heute (so daß eine vorzeitige Stillegung von Kapitalgütern sich später als unnötig erweist) gegen die entsprechenden Risiken einer Verzögerung (so daß in diesem Fall eine noch schnellere Reduktion nötig sein wird, was eine verfrühte Stillegung von Kapitalgütern in der Zukunft erfordert).

Es sind geeignete langfristige Signale erforderlich, damit Produzenten und Konsumenten sich kosteneffizient an die Einschränkung von Treibhausgasemissionen anpassen können und um Forschung und Entwicklung zu fördern. Nutzen im Zusammenhang mit der Durchführung von "no-regrets"-Politiken werden die Kosten eines ganzen Portefeuilles an

Abschwächungsmaßnahmen zumindest zum Teil ausgleichen. Dies wird auch den verfügbaren Zeitraum verlängern, in dem Klimarisiken erforscht und neue Technologien auf den Markt gebracht werden können.

Trotz wesentlicher Differenzen besteht Übereinstimmung darüber, daß eine Energieeffizienzsteigerung von vielleicht 10-30% über dem Referenztrend in den nächsten zwei bis drei Jahrzehnten zu negativen bis keinen Nettokosten realisiert werden kann (negative Nettokosten bedeuten einen wirtschaftlichen Nutzen). Bei längeren Zeithorizonten, die eine vollständigere Erneuerung des Kapitalgüterbestandes erlauben, und die sowohl Forschung und Entwicklung wie auch politischen Maßnahmen zur Umgestaltung des Marktes eine Chance geben, sich auf mannigfaltige Ersatzzyklen auszuwirken, ist dieses Potential viel höher. Die Größe solcher "no-regrets"-Potentiale hängt von der Existenz großer Unvollkommenheiten bei Märkten oder Institutionen ab, die verhindern, daß sich kostengünstige Maßnahmen zur Emissionsreduktion durchsetzen. Die entscheidende Frage ist somit, wie weit solche Unvollkommenheiten und Hemmnisse durch politische Initiativen, wie z.B. Effizienzstandards, Anreize, Abschaffung von Subventionen, Informationsprogramme und Finanzierung von Technologietransfer, kostengünstig beseitigt werden können.

In einer Reihe von Ländern sind Fortschritte in der kostengünstigen Reduktion von Marktunvollkommenheiten und institutionellen Hemmnissen durch politische Instrumente, wie freiwillige Vereinbarungen, Anreize für Energieeffizienz, Effizienzstandards für Produkte und Beschaffungsprogramme, die in Zusammenarbeit mit Herstellern und durch Reformen des Regelwerkes für öffentliche Versorgungsbetriebe die Energieeffizienz erhöhen, gemacht worden. Wo empirische Beurteilungen gemacht wurden, zeigten viele, daß das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer Steigerung der Energieeffizienz günstig war, was zeigt, daß "no-regrets"-Potentiale zu negativen Nettokosten praktisch ausgeschöpft werden können. Mehr Informationen über ähnliche und verbesserte Programme aus einem grösseren Länderspektrum sind erforderlich.

Infrastrukturentscheidungen sind mitentscheidend bei der Bestimmung der Kosten langfristiger Emissionen und deren Verminderung, weil sie die Anzahl und Art von zukünftigen Optionen steigern oder einschränken können. Infrastrukturentscheidungen legen Entwicklungsmuster im Verkehr, bei städtischen Siedlungen und der Landnutzung fest und beeinflussen die Entwicklung von Energiesystemen und Abholzungsmustern. Dieses Problem ist von besonderer Bedeutung für Entwicklungsländer und viele Volkswirtschaften im Übergang, wo in nächster Zeit wichtige Infrastrukturentscheidungen gefällt werden.

Wird eine Kohlenstoff- oder Kohlenstoff-Energiesteuer als politisches Instrument zur Emissionsreduktion eingesetzt, könnten diese Steuern erhebliche Einnahmen abwerfen; wie diese Einnahmen verteilt werden, könnte die Abschwächungskosten drastisch beeinflussen. Wenn die Einnahmen verteilt werden, indem verzerrende Steuern im bestehenden System gesenkt werden, helfen sie bei der Reduktion der übermäßigen Belastung durch das bestehende Steuersystem und ergeben potentiell einen zusätzlichen wirtschaftlichen Nutzen (doppelte Dividende). Zum Beispiel ergeben diejenigen europäischen Studien, die optimistischer gegenüber dem Potential für ein "Steuerrecycling" sind, niedrigere und in einigen Fällen leicht negative Kosten. Umgekehrt könnte ein ineffizientes "Recycling" der Steuereinnahmen die Kosten erhöhen. Werden zum Beispiel die Steuereinnahmen zur Finanzierung von Regierungsprogrammen verwendet, die eine niedrigere Verzinsung abwerfen als wegen der Steuer unterbleibende Investitionen im privaten Sektor, dann werden sich die Gesamtkosten erhöhen.

Zwischen den Ländern bestehen aufgrund ihres wirtschaftlichen Entwicklungsstandes, Infrastrukturentscheidungen und der natürlichen Ressourcengrundlage große Unterschiede bei den Kosten einer Reduktion von Treibhausgasemissionen. Dies weist darauf hin, daß eine internationale Zusammenarbeit die globalen Kosten von Emissionsreduktionen erheblich senken könnte. Die Forschung zeigt, daß im Prinzip erhebliche Einsparungen möglich wären, wenn Emissionen dort reduziert würden, wo es am billigsten ist. In der Praxis erfordert dies internationale Mechanismen, die entsprechende Kapitalflüsse und den Technologietransfer zwischen den Ländern sicherstellen. Umgekehrt könnte ein Versagen der internationalen Zusammenarbeit einseitige Versuche eines Landes oder einer Gruppe von Ländern gefährden, die Treibhausgasemissionen zu begrenzen. Schätzungen über sogenannte Leckage-Effekte variieren allerdings so sehr, daß sie politischen Entscheidungsträgern wenig Hilfe bieten.

Bis jetzt sind mehr Analysen der Emissionsreduktionspotentiale und -kosten für entwickelte Länder durchgeführt worden als für andere Teile der Welt. Zudem eignen sich viele existierende Modelle nicht für die Untersuchung von Volkswirtschaften im Übergang oder für die Volkswirtschaften von Entwicklungsländern. Weitere Arbeiten sind erforderlich, um Modelle zur Anwendung außerhalb der entwickelten Länder zu entwickeln und anzuwenden (z.B., um Marktunvollkommenheiten, institutionelle Hemmnisse und traditionelle und informelle Wirtschaftssektoren klarer wiederzugeben). Zudem beschäftigt sich die Diskussion weiter unten und der Hauptteil des zugrundeliegenden Berichtes mit den Kosten von Reaktionsoptionen auf nationaler oder regionaler Ebene im Hinblick auf die Auswirkung auf das BIP. Weitere Analysen zu den Auswirkungen von Reaktionsoptionen auf Beschäftigung, Inflation, Wettbewerbsfähigkeit des Handels und anderer öffentlicher Fragen sind erforderlich.

Es wurde eine große Anzahl Studien überprüft, die sowohl Top-Down- wie auch Bottom-Up-Ansätze anwenden (siehe Kasten 1 für Definitionen). Kostenschätzungen für die Begrenzung von CO_2-Emissionen aus fossilen Energieträgern (ausgedrückt als Kohlenstoff) variieren beträchtlich und hängen von der Wahl der Methodologien, zugrundeliegenden Annahmen, Emissionsszenarien, politischen Instrumenten, Berichtsjahr usw. ab. Spezifische Resultate einzelner Studien finden sich im Berichtsteil über wirtschaftliche und soziale Dimensionen von Klimaänderungen des Zweiten Sachstandsberichts von IPCC.

KASTEN 1: TOP-DOWN UND BOTTOM-UP MODELLE *

Top-Down-Modelle sind aggregierte Modelle der gesamten Makroökonomie, die sich auf eine Analyse historischer Trends und Beziehungen stützen, um Wechselwirkungen großen Ausmasses zwischen den Wirtschaftssektoren, insbesondere Wechselwirkungen zwischen dem Energiesektor und dem Rest der Wirtschaft, vorauszusagen. Top-Down-Modelle sind im Unterschied zu Bottom-Up-Modellen gekennzeichnet durch die Berücksichtigung von relativ wenig Einzelheiten über den Energieverbrauch und den technologischen Wandel.

Im Gegensatz dazu schließen Bottom-Up-Modelle detaillierte Studien über Kosten eines weiten Spektrums von verfügbaren und voraussichtlich verfügbaren Technologien ein und beschreiben den Energieverbrauch sehr detailliert. Im Vergleich zu Top-Down-Modellen integrieren sie jedoch relativ wenig Einzelheiten über das Konsumverhalten außerhalb des Energiebereichs und Wechselwirkungen mit anderen Wirtschaftssektoren.

Diese einfache Charakterisierung der Top-Down- und Bottom-Up-Modelle wird zunehmend irreführend, da neuere Versionen der beiden Ansätze dazu tendiert haben, mehr Einzelheiten über die Aspekte zu bereitstellen, die früher nicht so gut entwickelt waren. Als Folge dieser Konvergenz bei den Modellstrukturen tendieren auch die Modellergebnisse dazu zu konvergieren, und die verbleibenden Unterschiede widerspiegeln Unterschiede in den Annahmen darüber, wie schnell und effektiv marktwirtschaftliche Institutionen kostengünstige neue Technologien annehmen oder wie schnell sie durch politische Interventionen dazu gebracht werden können, sie anzunehmen.

Viele der bestehenden Modelle eignen sich kaum dazu, Volkswirtschaften im Übergang oder Entwicklungsländer zu untersuchen. Es besteht ein Bedarf an Arbeiten, welche die Verfahren, Daten und Modelle entwickeln, und die Notwendigkeit, lokale institutionelle Fähigkeiten zur Durchführung von Analysen aufzubauen.

OECD-Länder: Obwohl es schwierig ist zu verallgemeinern, zeigen Top-Down-Analysen, daß die Kosten substantieller Reduktionen unter das Niveau von 1990 bis zu mehreren Prozent des BIP betragen könnten. Im besonderen Fall der Stabilisierung der Emissionen auf dem Niveau von 1990 schätzen die meisten Studien, daß über die nächsten Jahrzehnte jährliche Kosten im Bereich von -0,5% des BIP (entspricht einem Gesamtgewinn von etwa 60 Milliarden Dollar für die OECD-Länder auf dem heutigen BIP-Niveau) bis 2% des BIP (entspricht einem Verlust von etwa 240 Milliarden Dollar) erreicht werden könnten. Die Studien zeigen allerdings auch, daß eine entsprechende zeitliche Abstimmung von Minderungsmaßnahmen und die Verfügbarkeit kostengünstiger Alternativen die Höhe der Gesamtrechnung beträchtlich vermindern könnten.

Bottom-Up-Studien sind optimistischer über das Potential an Emissionsreduktionen zu geringen oder negativen Kosten sowie die Fähigkeit zur Ausschöpfung dieses Potentials. Solche Studien zeigen, daß die Kosten einer Reduktion der Emissionen um 20% innerhalb von zwei bis drei Jahrzehnten in entwickelten Ländern vernachlässigbar bis negativ sind. Andere Bottom-Up-Studien zeigen, daß ein Potential für langfristige absolute Reduktionen von über 50% besteht, ohne daß die Gesamtenergiesystemkosten sich erhöhen, und sich sogar verringern könnten.

Die Ergebnisse der Top-Down- und Bottom-Up-Analysen differieren wegen Faktoren, wie höhere Schätzungen des "no-regrets"-Potentials, technologischer Fortschritt und frühere Sättigung bei Energiedienstleistungen pro Einheit des BIP. In den günstigsten Einschätzungen können Einsparungen bei den Gesamtkosten von Energiedienstleistungen von 10-20% erreicht werden.

Volkswirtschaften im Übergang: Das Potential an kostengünstigen Reduktionen bei der Energienutzung ist möglicherweise beträchtlich, aber das ausschöpfbare Potential wird davon abhängen, welcher wirtschaftliche und technologische Entwicklungspfad gewählt wird, sowie davon, wieviel Kapital zur Verfolgung verschiedener Pfade verfügbar ist. Ein entscheidendes Problem sind die zukünftigen strukturellen Änderungen in diesen Ländern, welche die Höhe der Referenzemissionen und die Emissionsreduktionskosten drastisch verändern dürften.

Entwicklungsländer: Analysen deuten darauf hin, daß für Entwicklungsländer beträchtliche Möglichkeiten zur kostengünstigen Reduktion der Kohlendioxidemissionen aus fossilen Energieträgern bestehen. Entwicklungspfade, welche die Energieeffizienz erhöhen, alternative Energietechnologien fördern, die Abholzung vermindern und die landwirtschaftliche Produktivität sowie die Produktion von Energie aus Biomasse erhöhen, können wirtschaftlich vorteilhaft sein. Das Verfolgen dieses Pfades dürfte eine beträchtliche internationale Zusammenarbeit sowie Finanz- und Technologietransfer erfordern. Diese dürften allerdings nicht genügen, um die sich rasch erhöhenden Emissionen im Referenzfall aufgrund der Zunahme des wirtschaftlichen Wachstums und der Gesamtwohlfahrt auszugleichen. Die Stabilisierung der Kohlendioxidemissionen ist wahrscheinlich kostspielig.

Es ist auch zu beachten, daß bei Analysen der Kosten für Volkswirtschaften im Übergang und Entwicklungsländer typischerweise die allgemeinen Gleichgewichtseffekte von Maßnahmen, die von entwickelten Ländern einseitig ergriffen werden, vernachlässigt werden. Diese Auswirkungen können positiv oder nachteilig sein, und ihre Höhe ist nur schwer quantifizierbar.

Es sollte auch beachtet werden, daß Schätzungen über Kosten oder Nutzen in der Größenordnung von wenigen Prozent des BIP nur kleine Unterschiede in der Wachstumsrate des BIP darstellen mögen, jedoch absolut gesehen beträchtlich sein können.

* (Anm. d. Übers.) "Top-down" bedeutet "von oben nach unten", "bottom-up" "von unten nach oben".

Die Erhaltung und der Ausbau von Kohlenstoffsenken bieten eine große und oft kosteneffiziente Komponente in einer Strategie zur Treibhausgasabschwächung. Studien zeigen, daß bis zu 15-30% der globalen energiebedingten Emissionen des Jahres 1990 durch Kohlenstoffbindung in Wäldern über einen Zeitraum von 50-100 Jahren ausgeglichen werden könnten. Die Kosten der Kohlenstoffbindung, die gegenüber Optionen zur Regelung von Quellen wettbewerbsfähig sind, können sich von Weltregion zu Weltregion unterscheiden.

Die Regelung anderer Treibhausgasemissionen, insbesondere Methan und Distickstoffoxid, dürfte in einigen Ländern wesentliche kostengünstige Möglichkeiten bieten. Etwa 10% der anthropogenen Methanemissionen können bei Anwendung verfügbarer Abschwächungsoptionen bei Methanquellen, wie Erdgassystemen, Abfallwirtschaft und Landwirtschaft, zu negativen oder geringen Kosten reduziert werden.

10. INTEGRIERTE BEURTEILUNG

Integrierte Beurteilungsmodelle verbinden Wissen aus einem weiten Spektrum von Disziplinen, um Erkenntnisse bereitzustellen, die in der traditionellen disziplinären Forschung nicht festgestellt würden. Sie werden angewandt zur Erforschung möglicher Zustände menschlicher und natürlicher Systeme, zur Analyse von Schlüsselfragen im Zusammenhang mit der Politikformulierung und zur Setzung von Forschungsprioritäten. Integration unterstützt die Koordinierung von Annahmen aus verschiedenen Disziplinen und erlaubt die Analyse von Feedbacks und Wechselwirkungen, die in einzelnen Disziplinen nicht auftauchen. Die Ergebnisse solcher Analysen sind jedoch nicht besser als die Informationen, die aus den zugrundeliegenden wirtschaftlichen, atmosphärischen und biologischen Wissenschaften beigezogen werden. Integrierte Beurteilungsmodelle sind sowohl durch die zugrundeliegende Wissensbasis, auf die sie sich beziehen, wie auch die relativ begrenzte Erfahrungsbasis begrenzt.

Die meisten gebräuchlichen integrierten Beurteilungsmodelle spiegeln die spezifische soziale und wirtschaftliche Dynamik der Entwicklungsländer und Volkswirtschaften im Übergang nur unzureichend wider; zum Beispiel berücksichtigt keines der existierenden Modelle die meisten Marktunvollkommenheiten, institutionellen Hemmnisse oder das Wirken des informellen Sektors in diesen Ländern. Dies kann zu Verzerrungen bei globalen Beurteilungen führen, wenn Abschwächungsoptionen und Auswirkungen auf Entwicklungsländer oder Volkswirtschaften im Übergang so eingeschätzt werden, als ob deren Volkswirtschaften gleich wie die in den entwickelten Ländern funktionieren würden.

Obwohl sie relativ neu sind, haben sich integrierte Beurteilungsmodelle für Klimaänderungen rasch weiterentwickelt. Integrierte Beurteilungsmodelle fallen tendenziell in zwei Kategorien: *Politikbewertungs-* und *-optimierungs*modelle. Politikbewertungsmodelle sind reich an konkreten Details und sind verwendet worden, um das Abholzungspotential als Folge der Wechselwirkungen zwischen Demographie, landwirtschaftlicher Produktivität und wirtschaftlichem Wachstum sowie die Beziehung zwischen Klimaänderungen und der Ausdehnung potentieller Malariagebiete zu analysieren. Politikoptimierungsmodelle optimieren Schlüsselvariabeln (z.B. Emissionsraten, Kohlenstoffsteuern), um ausformulierte politische Ziele zu erreichen (z.B. Kostenminimierung oder Wohlfahrtsoptimierung).

Wesentliche Unsicherheiten in neueren integrierten Beurteilungen sind u.a. die Sensitivität des Klimasystems auf Änderungen bei Treibhausgaskonzentrationen, die Spezifikation und Bewertung von Auswirkungen, wo keine Märkte bestehen, Änderungen bei der nationalen und regionalen Demographie, die Wahl der Diskontrate sowie Annahmen bezüglich Kosten, Verfügbarkeit und Verbreitung von Technologien.

11. ÖKONOMISCHE BEURTEILUNG DER POLITISCHEN INSTRUMENTE ZUR BEKÄMPFUNG VON KLIMAÄNDERUNGEN

Regierungen können verschiedene Kriterienkataloge zur Beurteilung der internationalen wie auch der nationalen Politik zu Klimaänderungen haben. Zu diesen Kriterien gehören Effizienz/Kostengünstigkeit, Wirksamkeit bei der Erreichung ausdrücklich festgelegter Umweltziele, Verteilungsgerechtigkeit (inklusive derjenigen zwischen den Generationen), Flexibilität gegenüber neuem Wissen, Verständlichkeit für die allgemeine Öffentlichkeit sowie Übereinstimmung mit nationalen Prioritäten, Politiken, Institutionen und Traditionen. Die Wahl von Instrumenten kann auch teilweise den Wunsch von Regierungen widerspiegeln, andere Ziele zu erreichen, wie z.B. nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung, Erreichung sozialer Entwicklungsziele, steuerliche Ziele oder die Beeinflussung von Verschmutzungsniveaus, die indirekt mit Treibhausgasemissionen in Zusammenhang stehen. Ein weiteres Anliegen von Regierungen dürfte die Auswirkung von Politiken auf die Wettbewerbsfähigkeit sein.

Die Weltwirtschaft und auch einige nationale Volkswirtschaften leiden an einer Reihe von Preisverzerrungen, welche Treibhausgasemissionen erhöhen, wie z.B. landwirtschaftliche Subventionen, Subventionen für Energieträger und Verzerrungen bei der Festsetzung der Preise im Verkehrsbereich. Eine Reihe von Studien zu dieser Frage zeigt, daß globale Emissionsreduktionen von 4-18% zusammen mit einem Wachstum der Realeinkommen durch eine Abschaffung der Subventionen für Energieträger möglich sind. Im allgemeinen könnte die Verminderung solcher Verzerrungen Emissionen senken und die wirtschaftliche Effizienz erhöhen. Aus sozialen und Verteilungsgründen werden allerdings oft Subventionen eingeführt und Verzerrungen im Preisgefüge beibehalten, und es könnte schwierig sein, sie abzuschaffen.

Es gibt politische Instrumente auf zwei verschiedenen Ebenen: diejenigen, die durch eine Ländergruppe, und diejenigen, die von einzelnen Nationen einseitig oder in Befolgung eines multilateralen Abkommens angewendet werden könnten.

Eine Ländergruppe[13] könnte aus politischen Maßnahmen und Instrumenten einschließlich der Förderung freiwilliger Maßnahmen und weiterer Forschung, handelbarer Quoten, gemeinsamer Umsetzung (besonders gemeinsam während der Pilotphase umgesetzte Aktivitäten[14]), harmonisierter nationaler Kohlenstoffsteuern, internationaler Kohlenstoffsteuern, nichthandelbarer Quoten und verschiedener internationaler Standards auswählen. Wenn die Gruppe nicht alle grösseren Treibhausgasemittenten einschließt, dürfte die Tendenz bestehen, daß die Nutzung fossiler Energieträger in Ländern, die nicht an dieser Gruppe beteiligt sind, zunimmt. Dies dürfte die internationale Wettbewerbsfähigkeit einiger Industrien in den beteiligten Ländern sowie die Umweltwirksamkeit der Anstrengungen dieser Länder vermindern.

Sowohl auf internationaler wie auf nationaler Ebene zeigt die ökonomische Literatur, daß Instrumente, welche wirtschaftliche Anreize bieten, wie z.B. Steuern und handelbare Quoten/Lizenzen, kostengünstiger sein dürften als andere Ansätze. Es dürfte schwierig sein, einheitliche Standards für alle an einem internationalen Abkommen beteiligte Gruppen von Ländern zu erreichen. Es besteht jedoch Übereinstimmung in bezug auf die Anwendung einiger einheitlicher Standards durch eine Gruppe von Ländern.

Auf internationaler Ebene könnten im Laufe zukünftiger Verhandlungen alle potentiell wirksamen, marktorientierten Instrumente geprüft werden. Ein System mit handelbaren Quoten hat den Nachteil, daß es die Grenzkosten von Emissionen unsicher macht, während eine Kohlenstoffsteuer (und verwandte Instrumente) den Nachteil hat, daß sie die Wirkung auf der Ebene, auf der die Emissionen gesteuert werden, unbestimmt lässt. Das Gewicht, das der Reduktion dieser verschiedenen Arten von Unsicherheit beigelegt wird, wäre ein entscheidender Faktor bei der weiteren Beurteilung dieser alternativen Instrumente. Angesichts des Mangels an entsprechendem wissenschaftlichem Wissen bliebe ein hoher Grad an Unsicherheit über den Erfolg einer Begrenzung von Emissionen auf bestimmte Niveaus bestehen. Die Einführung eines Systems mit handelbaren Quoten oder mit internationalen Steuern hätte Auswirkungen auf die internationale Wohlstandsverteilung. Die Folgen für die Verteilung wären Gegenstand von Verhandlungen. Um die Durchführbarkeit sicherzustellen, besteht ein Bedarf an zusätzlichen Studien über die mögliche Ausgestaltung handelbarer Quoten und harmonisierter Steuern und über den institutionellen Rahmen, in dem sie ihre Wirkung entfalten könnten.

Einzelne Länder, die Abschwächungspolitiken umsetzen möchten, können aus einem großen Katalog von möglichen Politiken und Instrumenten auswählen, einschließlich Kohlenstoffsteuern, handelbare Lizenzen, Pfandsysteme (und verwandte Instrumente), Subventionen, sowie Technologiestandards, Leistungsstandards, Produkteverbote, direkte staatliche Investitionen und freiwillige Vereinbarungen. Die öffentliche Bildung zur nachhaltigen Nutzung von Ressourcen könnte eine wichtige Rolle bei der Modifizierung von Konsummustern und anderem menschlichen Verhalten spielen. Die Wahl von Maßnahmen auf nationaler Ebene kann andere Ziele widerspiegeln als Kostengünstigkeit, wie z.B. die Erreichung fiskalischer Ziele. Einnahmen aus Kohlenstoffsteuern oder aus der Versteigerung handelbarer Lizenzen könnten verwendet werden, um bestehende verzerrende Steuern zu ersetzen. Die Wahl von Instrumenten kann auch andere Umweltziele widerspiegeln, wie z.B. die Reduktion von Schadstoffemissionen, die nicht zum Treibhauseffekt beitragen, oder die Ausdehnung der Waldfläche oder andere Belange, wie z.B. die spezifischen Auswirkungen auf bestimmte Regionen oder Gemeinschaften.

Entwurf der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger über wirtschaftliche und soziale Dimensionen von Klimaänderungen

Diese Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger über wirtschaftliche und soziale Dimensionen von Klimaänderungen (IPCC-Arbeitsgruppe III) wurde von Regierungsvertretern anläßlich der dritten Session der Arbeitsgruppe III in Genf vom 24. bis 28. Juli 1995 und deren Fortsetzung in Montreal vom 11. bis 13. Oktober 1995 weiterentwickelt und genehmigt. Die zwischenstaatlichen Diskussionen basierten auf einem vom Büro der Arbeitsgruppe III** erstellten Entwurf, welcher die Schlüsselergebnisse aus den Sachstandsberichten der Hauptautoren in den elf Kapiteln des Gesamtberichtes zusammenfaßte. Die Sessionen wurden in ihren Beratungen von verschiedenen Hauptautoren unterstützt.

---

13 Eine solche Gruppe könnte nur einige wenige, ziemlich viele oder sogar alle Länder umfassen.

14 Siehe Beschluss 5/CP.1 der 1. Tagung der Konferenz der Vertragsparteien des Rahmenübereinkommens über Klimaänderungen.

** Büro der Arbeitsgruppe III: Ko-Vorsitzende: James P. Bruce und Hoesung Lee; Vize-Vorsitzende: Lorents Lorentsen und Richard Odingo; Leiter der Einheit Technische Unterstützung (Technical Support Unit): Erik F. Haites