



Science and Policy

Andrea Stocker, Andreas Türk
Universität Graz, Dezember 2002

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	4
2	NATURWISSENSCHAFTLICHE ASPEKTE DES KLIMAWANDELS.....	5
2.1	DAS KLIMASYSTEM	7
2.2	DER TREIBHAUSEFFEKT UND DAS KONZEPT DER „RADIATIVE FORCING“	8
2.3	NATÜRLICHE UND ANTHROPOGENE KLIMASCHWANKUNGEN UND IHRE DETEKTION.....	13
2.3	EMISSIONSSZENARIEN UND KLIMAMODELLPROJEKTIONEN	14
2.3.1	<i>Emissionsszenarien</i>	14
2.3.2	<i>Klimamodellprojektionen</i>	16
3	AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS	18
3.1	AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DIE ALPEN	20
3.2	AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DEN MEERESSPIEGEL UND AUF KÜSTENREGIONEN ...	21
3.3	AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF ÖKOSYSTEME.....	22
3.4	AUSWIRKUNG DES KLIMAWANDELS AUF DIE LANDWIRTSCHAFT	23
4	INTEGRATED ASSESSMENT MODELLE.....	24
4.1	ICLIPS	25
4.2	IA AUF REGIONALER EBENE: ERFAHRUNGEN AUS DEM REGIS PROJEKT	28
5	ÖKONOMISCHE RAHMENBEDINGUNGEN DER KLIMAPOLITIK	29
5.1	MINDERUNGS- UND ANPASSUNGSMABNAHMEN ZUM KLIMASCHUTZ	29
5.2	DIE ÖKONOMIE DER ANPASSUNG: DIE STRUKTURIERUNG DES ANPASSUNGSPROZESSES.....	32
5.2.1	<i>Private Anpassung</i>	32
5.2.2	<i>Öffentliche Anpassung</i>	33
5.3	MITIGATION: TECHNOLOGIEN UND MABNAHMEN	34
5.3.1	<i>„Low Carbon Energy Technologies“</i>	35
5.3.2	<i>Szenarien für eine „Low Carbon Zukunft“ in Großbritannien</i>	36
5.3.3	<i>Mäßigung der Erderwärmung mittels Bioenergie und Biomasse-Produkten</i>	38
5.3.4	<i>Die Ökonomie von Minderungsmaßnahmen im Bereich Landnutzung</i>	40
5.4	INSTRUMENTE DER KLIMAPOLITIK.....	41
5.4.1	<i>Emission Trading in der Europäischen Union</i>	43
6	POLITISCHE ASPEKTE DES KLIMAWANDELS	46
6.1	UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC)	46
6.2	KYOTO-PROTOKOLL.....	47
6.2.1	<i>Reduktionsverpflichtung</i>	47
6.2.2	<i>Kyoto Mechanismen</i>	48
6.2.3	<i>Die Bedeutung von LULUCF (Land use, Land use Change and Forestry) für das Kyoto Protokoll</i>	49

6.3	STRATEGIEN UND MAßNAHMEN ZUR VERRINGERUNG DES KLIMA-WANDELS IN EUROPA UND DER OECD	51
7	RESÜMEE	56
8	LITERATUR	57
9	GLOSSAR	59

Abbildungsverzeichnis

ABB. 1.	VARIATION DER OBERFLÄCHENTEMPERATUR DER ERDE ÜBER.....	6
ABB. 2.	SCHEMATISCHER ÜBERBLICK ÜBER DIE KOMponentEN DES GLOBALEN KLIMASYSTEMS, IHRER PROZESSE UND INTERAKTIONEN	8
ABB. 3.	GRAFISCHE DARSTELLUNG DER STRAHLUNGSBILANZ.....	9
ABB. 4.	TEMPERATURÄNDERUNG IN ABHÄNGIGKEIT DER „RADIATIVE FORCING“	11
ABB. 5.	ÜBERSICHT ÜBER EXTERNE FAKTOREN, DIE DAS KLIMA BEEINFLUSSEN.....	12
ABB. 6.	ENTWICKLUNG DER JÄHRLICHEN GLOBALEN DURCHSCHNITTSTEMPERATUR.	14
ABB. 7.	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER SRES SZENARIEN	15
ABB. 8.	ÄNDERUNG DER DURCHSCHNITTLICHEN JÄHRLICHEN NIEDERSCHLAGSMENGE SIMULIERT MIT DEM MODELL HADCM3 UND DEM EMISSIONSZENARIO „SRES A1 F1“.....	17
ABB. 9.	ÜBERSICHT ÜBER DAS ICLIPS KLIMAMODELL	27
ABB. 10.	INTEGRIERTES MODELL DES KLIMAWANDELS	30
ABB. 11.	PREIS UND EFFIZIENZ VON PHOTOVOLTAIK.....	35
ABB. 12.	AUSMAß, VERTEILUNG UND VERWENDUNG ERNEUERBARER ENERGIE IN UK.	37
ABB. 13.	EU-TREIBHAUSGASEMISSIONEN GESAMT IN BEZUG AUF DAS ZIEL VON KYOTO.....	52
ABB. 14.	ENTFERNUNG DER EU-STAA TEN VOM KYOTO-ZIEL NACH DER EU- LASTENTEILUNGSVEREINBARUNG IM JAHR 2000.	53

Tabellenverzeichnis

TAB. 1.	WELTWEITE ENERGIENACHFRAGE UND CO ₂ EMISSIONEN 1990-2020.....	34
TAB. 2.	MENGE AN ERLAUBTEN TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER INDUSTRIELÄNDER 2008/12 NACH DEM KYOTO-PROTOKOLL (IM VERGLEICH ZUM REFERENZJAHR 1990).....	48

1 Einleitung

Die Diskussionen um Ursachen und Konsequenzen des globalen Klimawandels zeigen bereits hohe politische Priorität. Die divergierenden Interessenslagen und Risikoeinschätzungen verschiedener Länder bestimmen die internationalen Bestrebungen, die Treibhausgas-Emissionen zu reduzieren. Für Wissenschaft und Politik stellt sich daher die vorrangige Aufgabe, geeignete Strategien zur CO₂-Reduktion zu entwickeln. Die Suche konzentriert sich dabei auf jene Strategien, die ökologische, soziale und ökonomische Anforderungen bestmöglich in Einklang bringen.

Der vorliegende Report bietet einen umfassenden Überblick über naturwissenschaftliche, wirtschaftliche und politische Aspekte des globalen Klimawandels. Aufbauend auf dem „IPCC-Third Assessment Report“, (IPCC, 2001), auf einer umfangreichen Literaturrecherche sowie den wichtigsten Erkenntnissen der von Climate Strategies, einem internationalen Netzwerk zur Klimaforschung veranstalteten „Climate Change Conference“, die von 15. bis 19. April 2002 am Imperial College of Science, Technology and Medicine in London abgehalten wurde und die sich in sehr kompakter Form mit dem aktuellen Stand der Klimaforschung und Klimapolitik in einer interdisziplinären Perspektive beschäftigte, werden interessante Fakten und Einblicke in das breite Themenfeld des Klimawandels präsentiert.

Beginnend mit den naturwissenschaftlichen Aspekten des Klimawandels werden in Kapitel 2 der Treibhauseffekt und seine Ursachen dargelegt und die Problematik im Hinblick auf die Klimamodellierung erläutert.

Kapitel 3 analysiert die Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene ökologische und sozio-ökonomische Systeme („impacts“) und deren Anpassungsfähigkeit („adaption“).

Um den globalen Klimawandel von der Ursache bis zur Wirkung analysieren zu können, ist die Anwendung von „Integrated Assessment Modellen“ notwendig. Ihre Aufgabe wird in Kapitel 4 näher erklärt.

Kapitel 5 beschäftigt sich mit den ökonomischen Rahmenbedingungen der Klimapolitik und macht deutlich, dass ein ausgewogenes Instrumentenbündel zur Bekämpfung des Klimawandels sowohl Minderungs- als auch Anpassungsmaßnahmen enthalten muss.

Die bisherigen internationalen Anstrengungen für eine globale Klimapolitik, dargestellt in Kapitel 6, beenden schließlich die Ausführungen dieses Berichtes.

2 Naturwissenschaftliche Aspekte des Klimawandels

Dieses Kapitel soll sowohl einen Überblick über den aktuellen Stand der Klimaforschung geben, als auch die Unsicherheiten, die mit den verschiedenen Modellen zur Erklärung der Erderwärmung verbunden sind, aufzeigen.

Aus zahlreichen Wetter- und Klimadaten zeichnet sich immer deutlicher das Bild einer sich erwärmenden Erdatmosphäre ab. Man schätzt, dass die Erwärmung während des 20. Jahrhunderts etwa $0,6^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) beträgt (IPCC, 2001). Auch viele Beobachtungen in der Natur, wie z.B. das Abschmelzen der Gletscher oder das Ansteigen des Meeresspiegels sind zusätzliche Hinweise auf eine Erwärmung der Erde.

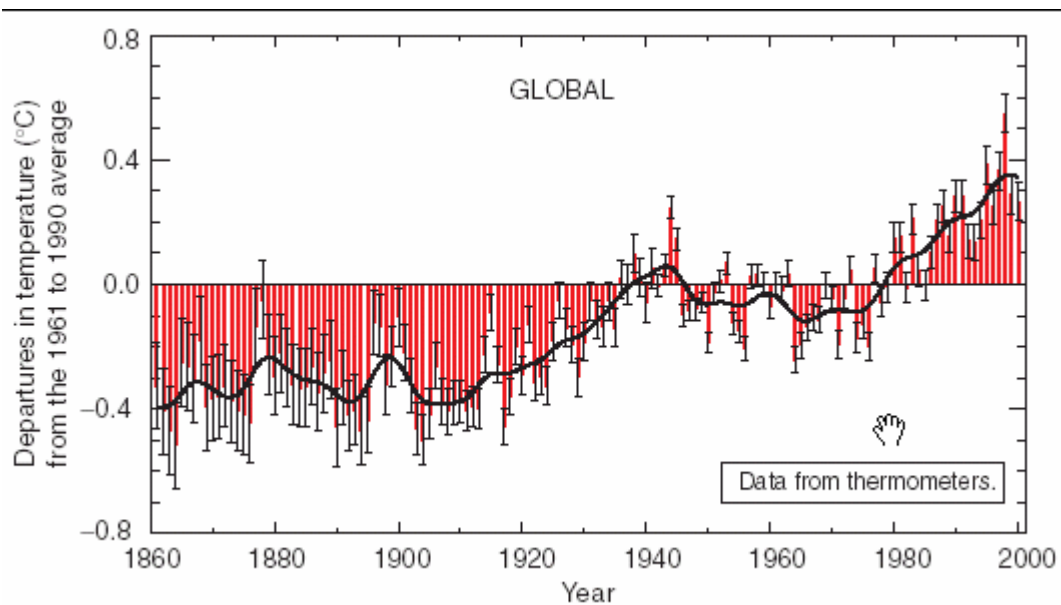
Unter den Klimaforschern herrscht heute weitestgehend Übereinstimmung, dass die Erwärmung der letzten 100 Jahre sowohl auf natürliche Faktoren als auch auf den vor allem in den letzten Jahrzehnten steigenden Einfluss des Menschen zurückzuführen ist.

Abbildung 1 zeigt die Variation der Oberflächentemperatur der Erde. In Teil (a) der Abbildung wird die Oberflächentemperatur der Erde Jahr für Jahr (rote Balken) und annäherungsweise Dekade für Dekade dargestellt (schwarze Linie: eine gefilterte Jahreskurve, die Fluktuationen unterhalb der Größenordnung von annähernd dekadischen Zeiträumen unterdrückt). Es bestehen Unsicherheiten in den jährlichen Daten (die dünnen schwarzen Balken stellen den 95%-Konfidenzbereich dar), verursacht durch Datenlücken, zufällige Instrumentenfehler, Unsicherheiten bei der Korrektur von Daten der ozeanischen Oberflächentemperatur und der Temperatur über den Landflächen.

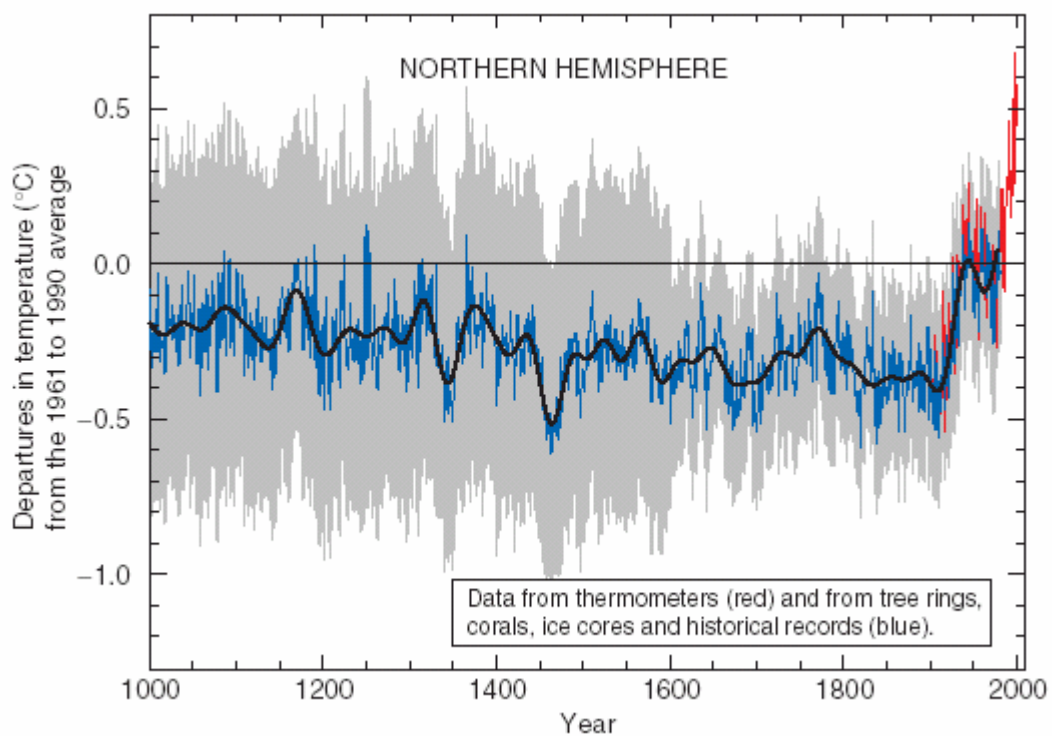
In (b) wurde zusätzlich die Variation der Jahreswerte (blaue Kurve) und des 50-Jahres-Durchschnitts (schwarze Kurve) der durchschnittlichen Oberflächentemperaturen der nördlichen Hemisphäre für die letzten 1000 Jahre aus Proxy-Daten rekonstruiert, die gegen Thermometerdaten kalibriert wurden. Der 95%-Konfidenzbereich der Jahreswerte wird durch den grauen Bereich dargestellt. Diese Unsicherheiten wachsen mit zunehmendem Abstand von der Gegenwart und sind infolge der Verwendung relativ karger Proxy-Daten immer sehr viel größer als bei den Instrumentenaufzeichnungen. Nichtsdestoweniger sind die Rate und die Dauer der Erwärmung des 20. Jahrhunderts sehr viel größer als in irgendeinem der vorangehenden neun Jahrhunderte. (vgl. IPCC, 2001)

Abb. 1. Variation der Oberflächentemperatur der Erde über

(a) die letzten 140 Jahre



und (b) die letzten 1000 Jahre,



2.1 Das Klimasystem

Um zu verstehen, wie es zu einer natürlichen oder anthropogenen Klimaänderung kommen kann, muss zunächst das Klimasystem mit seinen Subsystemen näher erläutert werden.

Das Klimasystem besteht aus fünf Komponenten, der Atmosphäre, der Hydrosphäre, der Kryosphäre, der Biosphäre und der Lithosphäre.

Die **Atmosphäre** ist die Lufthülle der Erde. Ihre wesentlichen Bestandteile sind Stickstoff (rund 78%) und Sauerstoff (rund 21%). Sie hat eine vertikale Ausdehnung von 300 km und besteht aus mehreren übereinanderliegenden Schichten, der Troposphäre, der Stratosphäre, der Mesosphäre, der Thermosphäre sowie der Exosphäre. Für das klimatische Geschehen sind die Troposphäre (6-18 km hoch, je nach geographischer Breite) und die Stratosphäre (bis etwa 50 km hoch) bedeutsam. Die Temperatur in der Troposphäre nimmt nach oben hin kontinuierlich ab, während sie in der Stratosphäre mit der Höhe ansteigt. In der Troposphäre findet im wesentlichen die Wolken- und Niederschlagsbildung statt.

In der **Hydrosphäre** (Ozeane, Binnenseen, Flüsse, Grundwasser) findet die Verdunstung des Wasserdampfs für die Atmosphäre statt, der zu Wolken kondensiert, in Form von Niederschlag (Regen, Schnee) wieder auf die Erde gelangt und somit den Wasserkreislauf schließt. Wasser ist in der Lage, Wärme länger zu speichern als der Boden. Deshalb stellen vor allem Ozeane große Energiereservoir dar.

Die **Kryosphäre** beinhaltet die Eis- und Schneeflächen der Erde und speichert somit riesige Wassermengen, vor allem in den großen Eisschilden der Arktis und Antarktis, die den Wasserhaushalt der Erde maßgeblich beeinflussen.

Die **Lithosphäre** (Gesteins- und Bodenoberfläche) ist am Energieumsatz der Erde maßgeblich beteiligt.

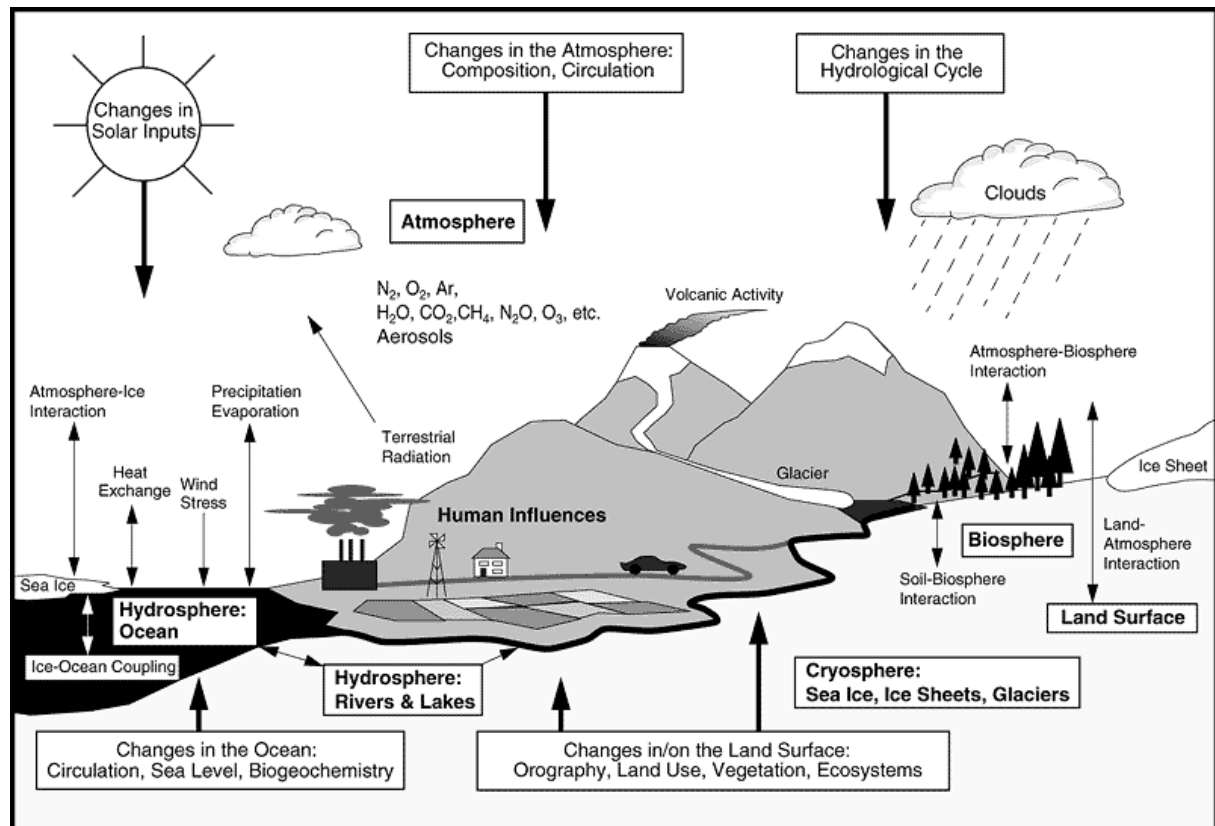
Die **Biosphäre** stellt die Lebenswelt der Pflanzen und Tiere dar und wirkt sich durch ihre Vegetationsdecke auf den Verdunstungshaushalt aus (vgl. Umwelt Deutschland¹).

Das Klimasystem wird durch eine Vielzahl komplexer Wechselwirkungen zwischen diesen Subsystemen bestimmt, wodurch auch seine Modellierung erschwert wird.

Eine grafische Veranschaulichung der Komponenten unseres Klimasystems stellt Abbildung 2 dar.

¹ http://www.umwelt-deutschland.de/y/ds_05_02_y_j_00.html

Abb. 2. Schematischer Überblick über die Komponenten des globalen Klimasystems, ihrer Prozesse und Interaktionen, Quelle: IPCC 2001.



2.2 Der Treibhauseffekt und das Konzept der „Radiative Forcing“

Im folgenden wird die Strahlungsbilanz der Erdatmosphäre erläutert und ein einfaches Modell des Treibhauseffektes präsentiert².

Zu den wesentlichen Faktoren, welche die Strahlungsbilanz der Erdatmosphäre bestimmen, gehören neben der Sonnenaktivität, der Albedo der Erdatmosphäre, den Wolken, Aerosolen und Ozon, auch die sogenannten Treibhausgase.

Treibhausgase sind Moleküle, die in der Lage sind, die von der Erde reflektierte Infrarot-Strahlung zu absorbieren. Die wichtigsten natürlichen Treibhausgase sind Kohlendioxid (CO₂), Wasserdampf (H₂O), Ozon (O₃), Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O – auch

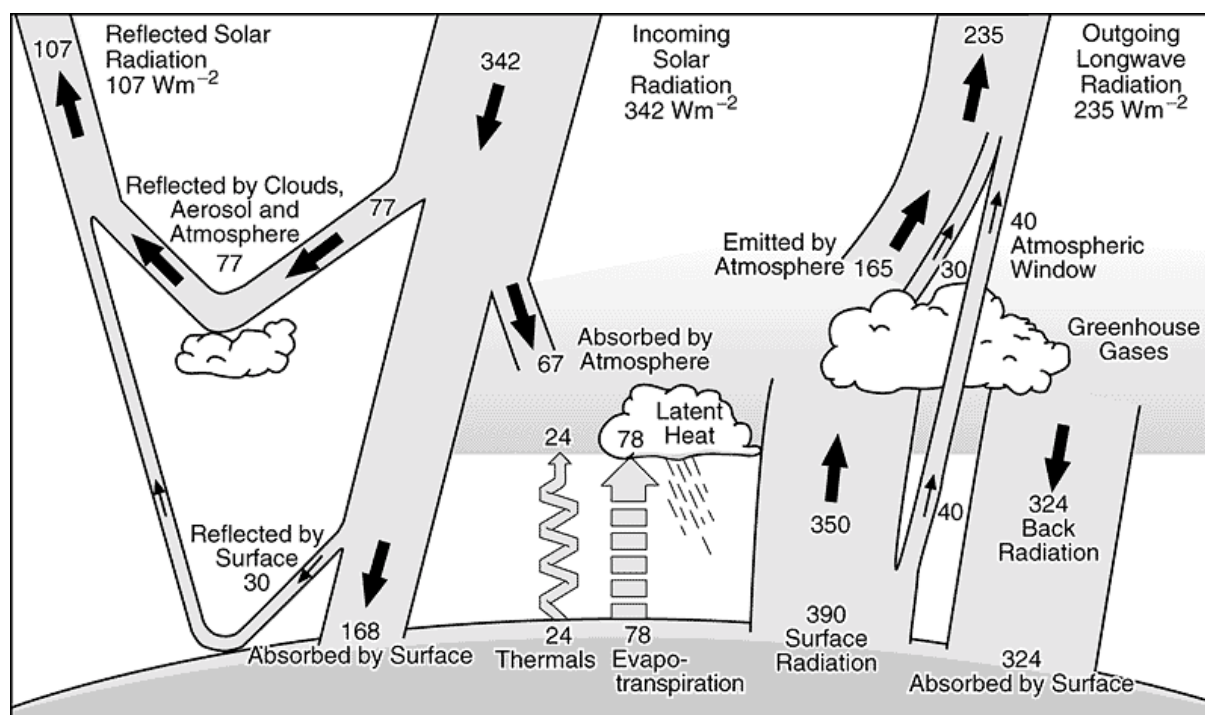
² Joanna Haigh vom Imperial College, Abteilung „Space and Atmospheric Physics“ gab im Rahmen des Climate Change Kurses einen Überblick über die wesentlichsten Faktoren, die die Strahlungsbilanz der Erdatmosphäre bestimmen. Sie ist auch Mitautorin des IPCC Third Assessment Reports 2001. (j.haigh@ic.ac.uk)

Lachgas genannt). Sie wirken sich auf die Energiebilanz der Erde aus, indem sie, vereinfacht dargestellt, von der Sonne einfallende UV-Strahlung nicht behindern, während sie die von der Erde reflektierte langwellige Infrarot-Strahlung in der Erdatmosphäre zurückhalten. Durch diesen natürlichen Effekt wird die Erde um 33 °C wärmer (die durchschnittliche Temperatur an der Erdoberfläche beträgt +15° C, ohne den natürlichen Treibhauseffekt läge sie bei -18° C), und damit bewohnbar.

Als Konsequenz menschlicher Aktivitäten steigt die Konzentration all dieser natürlichen Treibhausgase – abgesehen von Wasserdampf - an. Hinzu kommen noch künstliche Gase, wie zum Beispiel FCKWs und Schwefelhexafluorid (SF₆), die durch industrielle Prozesse entstehen. Dadurch kommt es zum anthropogenen Treibhauseffekt und somit zu einer verstärkten Erwärmung.

Abbildung 3 gibt einen Überblick über die Strahlungsbilanz des Systems Erde-Atmosphäre. Jede Änderung dieser globalen Strahlungsbilanz führt auch zu einer Veränderung des Klimas.

Abb. 3. Grafische Darstellung der Strahlungsbilanz, Quelle: IPCC 2001.



Die Hauptursache für den anthropogenen Treibhauseffekt liegt in der Freisetzung von Kohlendioxid (CO₂), das vor allem durch die Verbrennung fossiler Energieträger entsteht.

Zur Charakterisierung der Auswirkungen verschiedener klimabeeinflussender Faktoren werden vorwiegend folgende Maßzahlen herangezogen: Treibhauspotential, Radiative Forcing und Global Warming Potential.

Unter **Treibhauspotential** versteht man das Ausmaß, zu dem verschiedene Treibhausgase bei einer Erhöhung ihrer Konzentration zusätzliche Strahlungsenergie absorbieren können, was von ihren Absorptions-, Emissions- und Streuungseigenschaften abhängt.

Beispielsweise absorbiert ein Molekül Methan 30 mal soviel Energie wie ein Molekül Kohlendioxid. Für die Klimawirksamkeit sind jedoch nicht nur unterschiedliche Molekülstrukturen von Bedeutung, sondern auch ihre Wechselwirkungen untereinander. Hierzu wurde das Konzept des „**Radiative Forcing**“ entwickelt.

Radiative Forcing (RF) bezeichnet die Änderung des globalen Mittels der Strahlungsbilanz an der Stratopause und ist somit ein Maß für die Störung des Gleichgewichts zwischen einstrahlender Solarenergie und an den Weltraum abgegebener langwelliger Strahlung. Ein positives „Radiative Forcing“ führt zu einer Erwärmung, ein negatives zu einer Abkühlung. Als Maßeinheit werden Wm^{-2} verwendet.

Die „Radiative Forcing“-Werte, die sich aufgrund des Anstieges der Konzentrationen an gut-durchmischten Treibhausgasen im Zeitraum von 1750 bis 2000 ergeben, werden in Summe auf 2.43 Wm^{-2} geschätzt und teilen sich wie folgt auf die verschiedenen Treibhausgase auf (vgl. IPCC, 2001):

1.46 Wm^{-2} von CO_2 ,

0.48 Wm^{-2} von CH_4 ,

0.34 Wm^{-2} von voll- und teilhalogenierten Kohlenwasserstoffen, und

0.15 Wm^{-2} von N_2O .

Die durch RF bedingte Temperaturänderung ΔT ergibt sich nun aus:

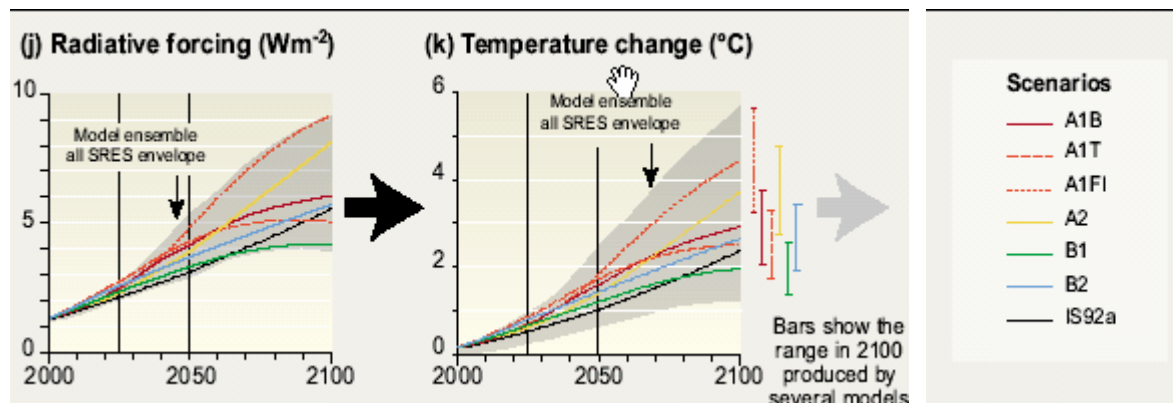
$$\Delta T = \lambda \text{ RF}$$

$$\lambda \sim 0.6\text{K} (\text{Wm}^{-2})^{-1}$$

Die Wahl des Parameters λ ist mit großer Unsicherheit behaftet ($0.3 < \lambda < 1.0$).

Abbildung 4 zeigt verschiedene Szenarien einer Temperaturänderung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Annahmen zum Strahlungsantrieb („radiative forcing“) basierend auf dem IS92-Szenario und der SRES-Szenarienfamilie.

Abb. 4. Temperaturänderung in Abhängigkeit der „Radiative forcing“, Quelle: IPCC, 2001.



Das Konzept des **Global Warming Potential (GWP)** baut auf jenem des Radiative Forcing auf und umfasst die Summe aller RF-Beiträge eines Gases bis zu einem gewählten Zeithorizont, die durch die einmalige Freisetzung einer Maßeinheit am Beginn des Zeitraumes verursacht werden. Somit ist es möglich, die Klimawirksamkeit von Treibhausgasen für unterschiedliche Zeithorizonte in die Zukunft zu extrapolieren. Meist wird das Global Warming Potential bezogen auf 100 Jahre angegeben.

Bezogen auf 100 Jahre beträgt das GWP für CO₂ 1, für CH₄ 23, für N₂O 296, für SF₆ 22.200, für teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe bis zu 14.000 und für vollhalogenierte Kohlenwasserstoffe bis zu 11.900. Als genereller Unsicherheitsbereich wird von IPCC (2001) ein Wert von +/- 35% für jedes Potential angenommen.

Neben den Treibhausgasen haben auch **Aerosole** einen Einfluss auf das Klima. Aerosole sind kleine Partikel oder Tropfen, die in der Atmosphäre schweben³. Ihr Radius beträgt zwischen 0.01 und 0.1 Mikrometer. Natürliche Aerosolquellen stellen Meeressalz, vulkanischer Staub, mineralischer Staub und die Verbrennung von Biomasse dar. Anthropogene Aerosolquellen entstehen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe.

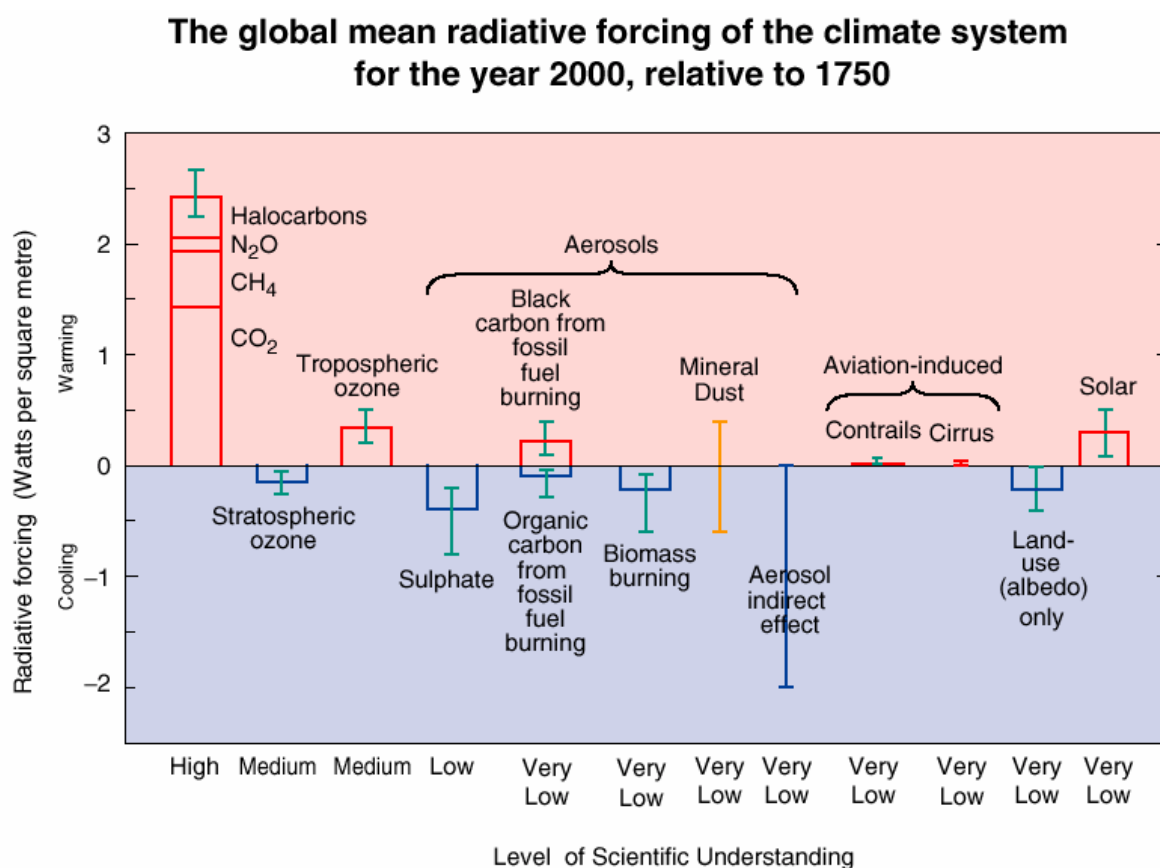
Aerosole absorbieren und reflektieren solare Strahlung und beeinflussen somit das Strahlungsgleichgewicht direkt. Sie sind aber auch in der Lage, die Eigenschaften der Wolken zu verändern (ihr Reflexionsvermögen oder ihre Lebenszeit) oder chemische Reaktionen zwischen Atmosphärenkomponenten beschleunigen und greifen daher auch indirekt in den Strahlungshaushalt der Erde ein.

³ Eleonore J. Highwood vom meteorologischen Institut der Universität Reading erläuterte in ihrem Vortrag anlässlich der Climate Change Conference die Rolle der Aerosole im Kontext des globalen Klimawandels. (e.j.highwood@reading.ac.uk)

Es wird heute davon ausgegangen, dass Aerosole in Summe einen kühlenden Effekt auf die Erdoberfläche haben. Die Unsicherheit in der Quantifizierung der Aerosoleffekte ist aber wesentlich größer als jene der Treibhausgase (IPCC, 2001).

Abbildung 5 zeigt den globalen mittleren Strahlungsantrieb („radiative forcing“) des Klimasystems für das Jahr 2000, relativ zum Jahr 1750. Menschliche Aktivitäten beeinflussen jeden Faktor mit Ausnahme der Sonnenaktivität. Die vertikale Linie an jedem Balken gibt eine Abschätzung der Unsicherheit wieder.

Abb. 5. Übersicht über externe Faktoren, die das Klima beeinflussen, Quelle: IPCC 2001.



Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass derzeit noch große Unsicherheit über die Größen jener Parameter herrscht, die das Klima bestimmen, vor allem auf Grund des noch unzureichenden Verständnisses über die Klimaeffekte der Wolken und des Wasserdampfes. Auch die Größe einer Reihe von Radiative-Forcing-Komponenten ist ungewiss, beispielweise die von Ozon, das in der Atmosphäre nicht homogen verteilt ist und sowohl im kurz- als auch im langwelligen Spektralbereich absorbiert.

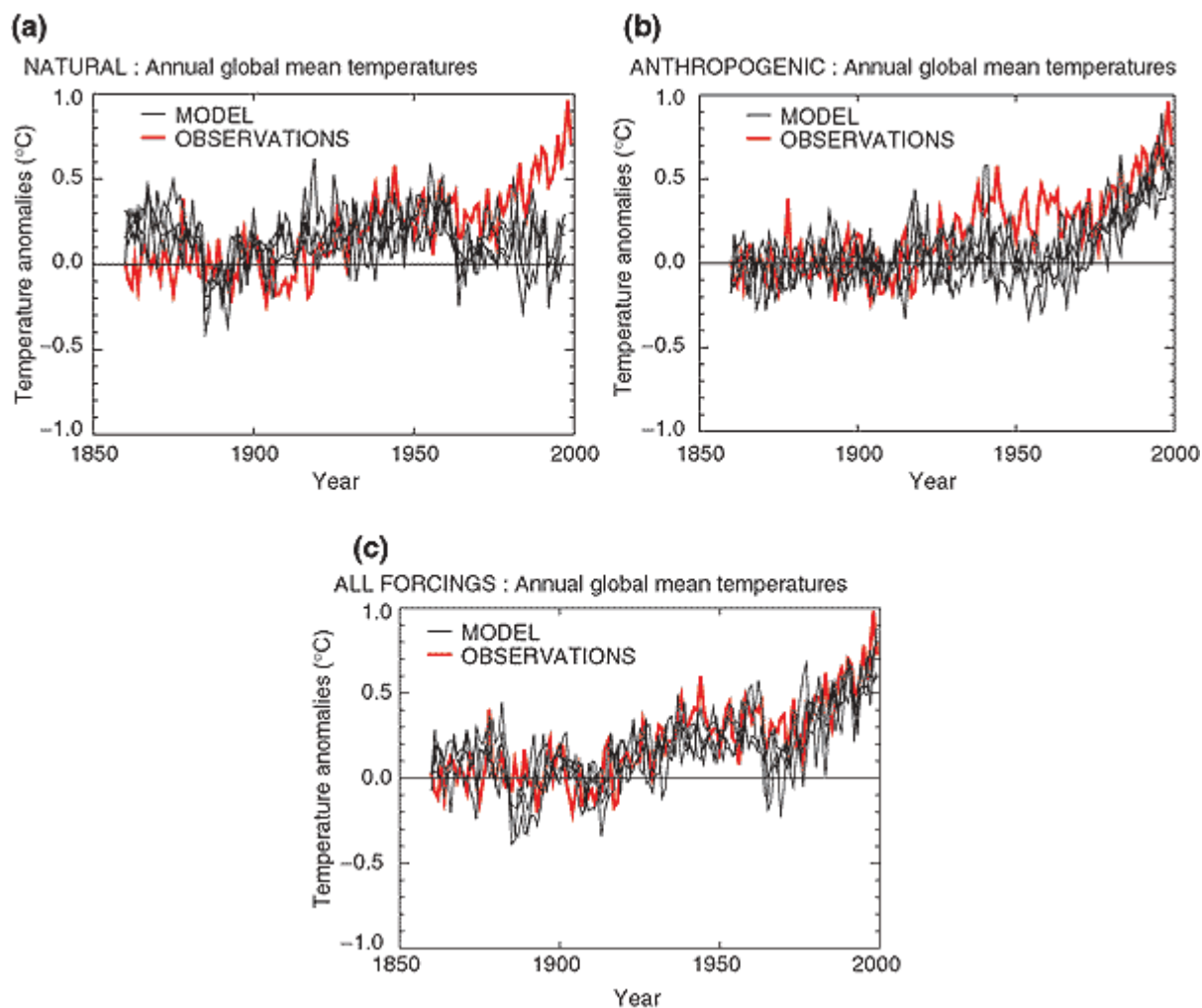
2.3 Natürliche und anthropogene Klimaschwankungen und ihre Detektion

Das Klima war im Laufe der Erdgeschichte sehr großen Schwankungen unterworfen. Die letzten 10.000 Jahre („Holozän“) waren jedoch klimatisch relativ stabil und ermöglichten so die kulturelle und intellektuelle Entwicklung des Menschen. Diese Stabilität könnte durch die jetzige rasche Erderwärmung gefährdet sein.

Es wird davon ausgegangen, dass die im 20. Jahrhundert beobachtete Erderwärmung eine Kombination von natürlichen und anthropogenen Faktoren ist. Während die Erwärmung in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts noch mit natürlichen Faktoren erklärt werden kann (Sonnenaktivität, Vulkanismus), ist die Erwärmung der 2. Hälfte des Jahrhunderts nicht alleine durch natürliche Faktoren zu begründen. Gleichzeitig weiß man, dass die Treibhausgasemissionen auf Grund ihrer Moleküleigenschaften (sie absorbieren von der Erde reflektierte Infrarot-Strahlung) zu einer Erwärmung führen.

Kombiniert man nun die natürlichen und anthropogenen Faktoren in einem Modell, kommt es zu einer sehr guten Übereinstimmung mit der beobachteten Erwärmung (siehe Abbildung 6). Daher liegt es nahe, dass der Mensch das Klima mit hoher Wahrscheinlichkeit mitbeeinflusst.

Abb. 6. Entwicklung der jährlichen globalen Durchschnittstemperatur, Quelle: IPCC, 2001.



2.3 Emissionsszenarien und Klimamodellprojektionen

2.3.1 Emissionsszenarien

Als Basis für Schätzungen des IPCC über zukünftige Temperaturentwicklungen dienen verschiedene Treibhausgas-Emissionsszenarien.

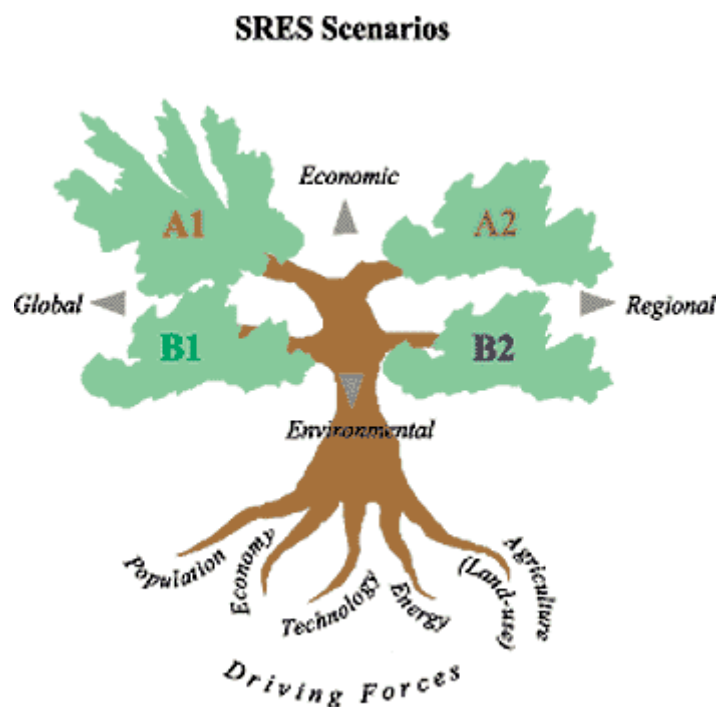
Der IPCC präsentierte die aktuellen Emissionsszenarien in seinem „IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES)“ im Jahr 2000, die die bisher benutzten IS92 Szenarien ablösen. Mit Hilfe dieser Szenarien wurde die Entwicklung zukünftiger Treibhausgas-Emissionen und Aerosol-Vorläufer im Zeitraum 1990 bis 2100 für den „IPCC- Third Assessment Report“ modelliert.

Zukünftige Treibhausgasentwicklungen sind das Produkt von sehr komplexen dynamischen Systemen, die durch die Entwicklung bestimmter „driving forces“ (Bevölkerungs- und

Wirtschaftswachstum, Landnutzung, technologischer Fortschritt, Verfügbarkeit von Energie und Energieträgermix, sowie Landwirtschaft) bestimmt sind. Aussagen über das Ausmaß zukünftiger Treibhausgasemissionen sind daher mit großen Unsicherheiten behaftet. Mit Hilfe von Szenarien können mögliche Entwicklungspfade abgebildet werden. Szenarien sind jedoch keine genauen Vorhersagen, sondern stellen alternative Bilder dar, die über mögliche Zukunftsentwicklungen Aufschluss geben können. Szenarien weisen gegenüber Prognosen somit den Vorteil auf, dass sie nicht die unsichere Entwicklung der Zukunft vorhersagen wollen. Bei der Beschreibung verschiedener Szenarien, die auf unterschiedlichen Annahmen beruhen, werden ausdrücklich keine Angaben über die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Varianten gemacht. Sie sind somit ein angemessenes Werkzeug, um die Auswirkungen von „driving forces“ auf zukünftige Emissionen zu analysieren⁵.

Abbildung 7 illustriert die vom IPCC entwickelten Szenarienfamilien.

Abb. 7. Schematische Darstellung der SRES Szenarien, Quelle: IPCC 2000.



Um den Unsicherheiten in Bezug auf den Klimawandel Rechnung zu tragen, wurden über 30 verschiedene Emissions-Szenarien entwickelt, die man in mehrere „Szenarienfamilien“ einteilen kann:

A1: „Economic Globalisation“, geprägt durch starkes Wirtschaftswachstum und leichten Bevölkerungsrückgang ab 2050. Wichtige zugrunde liegende Leitgedanken sind:

⁵ Laurie Michaelis vom Oxford Centre of the Environment Ethics & Society erläuterte anlässlich der Climate Change Conference die Entwicklung der neuen IPCC Szenarien.

Konvergenz zwischen Regionen, gesteigerte kulturelle und soziale Interaktionen, geringer werdende regionale Unterschiede des Pro-Kopf-Einkommens. Die A1 Szenarienfamilie verzweigt sich in drei Gruppen, die alternative Richtungen der technologischen Veränderungen im Energiesystem beschreiben: fossil-intensiv (A1FI), nicht-fossile Energiequellen (A1T) und ein ausgewogenes Verhältnis aller Quellen (A1B).

A2: „Regional Self-reliance“: Zugrunde liegende Leitideen sind die Entwicklung aus eigener Kraft und die Bewahrung lokaler Identitäten. Die Bevölkerung wächst kontinuierlich, die wirtschaftliche Entwicklung ist in erster Linie regional ausgerichtet, und das Pro-Kopf-Einkommen und der technologische Wandel wachsen langsamer.

B1: „Sustainable Globalisation“: Um die Mitte des Jahrhunderts wird der höchste Wert der Bevölkerung erreicht, danach nimmt sie wieder ab. Gekennzeichnet durch schnellen Wandels der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung Dienstleistungs- und Informationsökonomie, begleitet von abnehmender Materialintensität und der Einführung sauberer und ressourcenschonender Technologien. Im Mittelpunkt stehen globale Lösungen für wirtschaftliche, soziale und ökologische Nachhaltigkeit.

B2: „Sustainable Governance“: Beschreibt eine Welt, in der der Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für wirtschaftliche, soziale und ökologische Nachhaltigkeit liegt. Die Weltbevölkerung wächst kontinuierlich mit einer Rate, die niedriger ist als jene in A2, es gibt mittlere Niveaus wirtschaftlicher Entwicklung, und die technologische Entwicklung ist weniger schnell und zugleich vielgestaltiger als in B1 und A1.

Die SRES-Szenarien berücksichtigen keine zusätzlichen Klimainitiativen, es wurden also keine Szenarien einbezogen, die explizit von einer Implementierung der Klimakonvention (UNFCCC) oder der Emissionsziele des Kyoto-Protokolls ausgehen.

2.3.2 Klimamodellprojektionen

Für zukünftige Klimaprojektionen werden sogenannte „Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Models“ („AOGCMs) herangezogen. Sie verknüpfen atmosphärische mit ozeanischen Zirkulationsmodellen⁴.

Führend in der Entwicklung dieser Modelle ist das Hadley Center for Climate Prediction and Research⁵. Die am Hadley Center entwickelten Klimamodelle dienen dem IPCC als Grundlage seiner Berichte.

⁴ Geoff Jenkins vom Hadley Center for Climate Prediction and Research präsentierte im Rahmen der Climate Change Conference Modelle zukünftiger Klimaentwicklungen (gjenkins@meto.gov.uk)

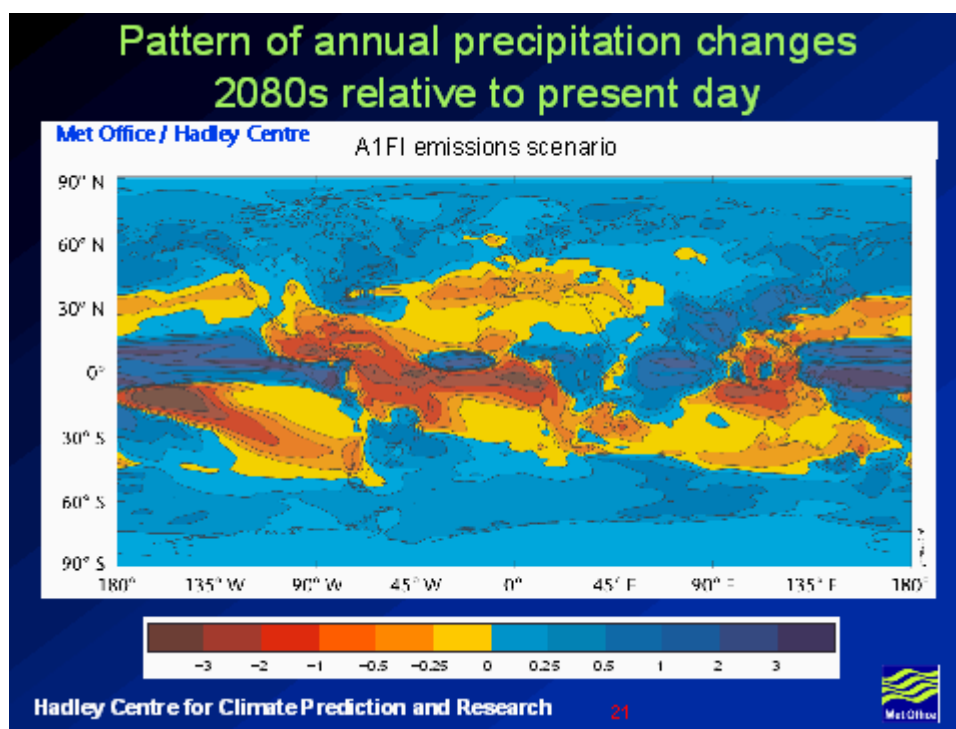
⁵ <http://www.met-office.gov.uk/research/hadleycentre/>

Extrapoliert man AOGCM-Klimamodelle auf Basis verschiedener SRES- Emissionsszenarien bis zum Ende des 21. Jahrhunderts, ist eine Erwärmung zwischen 1,4 und 5,8 Grad gegenüber 1990 zu erwarten (vgl. IPCC, 2001).

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass es, abhängig vom gewählten CO₂-Emissionsszenario nicht nur zu einer mehr oder weniger starken Erwärmung der Erdoberfläche, sondern auch zu einer Veränderung der globalen Niederschlagsmuster kommt. Der Genauigkeit der Vorhersagen von Klimamodellen sind derzeit jedoch durch unsicheres Wissen über das Klimasystem und beschränkte Rechnerleistung noch Grenzen gesetzt.

Abbildung 8 zeigt die Änderung der durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsmenge der 2080iger Jahre im Vergleich zu heute, simuliert mit dem Modell HadCM3 und dem Emissionsszenario „SRES A1 FI“.

Abb. 8. Änderung der durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsmenge simuliert mit dem Modell HadCM3 und dem Emissionsszenario „SRES A1 FI“



Abgeleitet von globalen Klimamodellen wurde am Hadley-Center auch ein regionales Computer-Klimamodell (PRECIS) entwickelt, das auf alle Regionen der Welt anwendbar ist und sowohl Entwicklungsländer bei Gefährdungsanalysen und Adaptionstudien als auch nationale Institutionen bei der Entwicklung nationaler Klimaszenarien unterstützen soll.

3 Auswirkungen des Klimawandels

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Auswirkungen des Klimawandels auf natürliche und sozioökonomische Systeme („impacts“) und analysiert ihre Anpassungsfähigkeit („adaption“).

Es mehren sich die Anzeichen, dass sich die Erderwärmung bereits jetzt in vielen Teilen der Welt auf physikalische und biologische Systeme auswirkt. Diese Beobachtungen können mit Beispielen über das Abschmelzen der Gletscher, das Auftauen des Permafrostbodens, die Verlängerung der Wachstumsperioden in mittleren und höheren Breitengraden und dem früheren Blütebeginn der Bäume belegt werden. Faktoren wie die Änderung der Landnutzung und die Umweltverschmutzung wirken ebenso auf diese Systeme ein, sodass es in manchen Fällen schwierig ist, beobachteten Veränderungen eindeutige Ursachen zuzuordnen. Dennoch ergibt sich aus dem Gesamtbild der Beobachtungen eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass Temperaturänderungen bereits jetzt Auswirkungen haben.

Wichtige Begriffe, mit denen die vom Klimawandel betroffenen Systeme charakterisiert werden können, sind: „Sensitivity“ (Empfindlichkeit) , „Vulnerability“ (Anfälligkeit) und „Adaptive Capacity“ (Anpassungsfähigkeit)⁶.

„**Sensitivity**“ (Empfindlichkeit) bezeichnet den Grad, in dem ein System durch Klima-bezogene Stimuli betroffen ist - seien sie negativ oder positiv. Klima-bezogene Stimuli umfassen hier alle Elemente des Klimawandels, einschließlich durchschnittlicher Klimamerkmale, klimatischer Schwankungen sowie Häufigkeit und Größenordnung von Extremen. Die Auswirkungen können direkt (z.B. eine Veränderung der Ernteerträge aufgrund von Veränderungen der mittleren Temperatur, Temperaturschwankungen, Temperaturspannen) oder indirekt (z.B. entstehende Schäden durch häufigere Küstenüberschwemmungen aufgrund des steigenden Meeresspiegels) sein.

„**Adaptive Capacity**“ (Anpassungsfähigkeit) bezeichnet die Fähigkeit eines Systems, sich an den Klimawandel (inkl. klimatischer Schwankungen und Extreme) anzupassen, mit den Folgen zurechtzukommen, potenzielle Schäden zu mäßigen oder Vorteile aus den neuen Bedingungen zu ziehen.

Unter „**Vulnerability**“ (Anfälligkeit) versteht man eine aggregierte Maßzahl des menschlichen Wohlstandes, welche die Auswirkungen von Störungen auf ökologische, soziale, ökonomische und politische Systeme integriert (vgl. IPCC, 2001).

⁶ Tom Downing vom Stockholm Environment Institute referierte auf der Climate Change Conference in London über die Störanfälligkeit (Vulnerability) von natürlichen und menschlichen Systemen, über Anpassungsmöglichkeiten und über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft.

Auf der Grundlage der vorgestellten Begriffe werden nun Anfälligkeitsprofile verschiedener Regionen erstellt, die dann miteinander verglichen werden können. Gerade in stör anfälligen Regionen sollte man sich schon frühzeitig Gedanken um Anpassungsmöglichkeiten machen.

Natürliche Systeme können aufgrund ihrer begrenzten Anpassungsfähigkeit besonders anfällig auf Klimaänderungen sein, und einige dieser Systeme können erheblich oder irreversibel geschädigt werden. Zu den betroffenen natürlichen Systemen mit hohem Risiko gehören Korallenriffe und Atolle, Mangrovenwälder, nördliche und tropische Wälder, polare und alpine Ökosysteme, Feuchtgebiete in Grassteppen und Reste von ursprünglichem Grasland.

Zu **anthropogenen Systemen**, die von einem Klimawandel besonders betroffen sein werden, gehören die Wasserversorgung, die Land- und Forstwirtschaft, Küstenzonen und marine Systeme (Fischerei), menschliche Ansiedlungen, Energie und Industrie, Versicherungen und andere Finanzdienstleistungen, sowie die menschliche Gesundheit.

Vorhergesagte negative Auswirkungen auf diese Systeme umfassen laut IPCC (2001):

- ein steigendes Überschwemmungsrisiko menschlicher Ansiedlungen in weiten Teilen der Welt durch zunehmende Wetterextreme;
- einen allgemeinen Rückgang möglicher Ernteerträge in den meisten tropischen und subtropischen Regionen für die meisten vorhergesagten Temperaturzunahmen;
- eine allgemeine Verringerung – mit Abweichungen – potenzieller Ernteerträge in den Regionen mittlerer Breite bei einer Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur um mehr als wenige Grad Celsius;
- eine Abnahme der Wasserverfügbarkeit für Menschen in wasserarmen Regionen, speziell in subtropischen Gebieten; sowie
- eine steigende Anzahl von Menschen, die von Vektoren übertragenen Krankheiten (z.B. Malaria) und von Wasser übertragenen Krankheiten (z.B. Cholera) ausgesetzt sein wird. Hinzu kommt eine höhere Sterblichkeitsrate durch Hitzestress.

Mögliche positive Auswirkungen auf anthropogene Systeme sind:

- eine Steigerung der potenziellen Ernteerträge in einigen Gegenden mittlerer Breite bei einem Temperaturanstieg um weniger als einige Grad Celsius;
- weniger Energiebedarf zum Heizen aufgrund steigender Wintertemperaturen; und
- eine mögliche Steigerung der weltweiten Holzernte aus kontrolliert bewirtschafteten Wäldern.

Die Fähigkeit anthropogener Systeme, sich an den Klimawandel anzupassen, hängt entscheidend von Faktoren wie Reichtum, Technik, Bildung, Informationsstand, Infrastruktur, Zugang zu Ressourcen und Managementfähigkeiten eines Landes ab. Staaten, die im Besitz weniger Ressourcen sind, weisen die geringste Anpassungsfähigkeit auf und

sind am stör anfälligsten. Industriestaaten verfügen im Vergleich zu Entwicklungsländern über größeres Potential, Anpassungsfähigkeiten zu verstärken und neue Anpassungsfähigkeiten zu schaffen.

Die vorhergesagten ökonomischen Auswirkungen eines Klimawandels wären derart, dass das Wohlstandsgleichgewicht sich zu Gunsten der Industrienationen weiter verschieben würde. Die vergleichsweise größeren Schäden, die für Entwicklungsländer geschätzt werden, spiegeln in Teilen deren geringere Anpassungsfähigkeit im Vergleich zu entwickelten Ländern wieder.

Viele Gesellschaften und Regionen, die gegenüber Klimaveränderungen stör anfällig sind, stehen auch unter dem Druck anderer Einflüsse wie Bevölkerungswachstum, Rückgang der Ressourcen und Armut. Eine Politik, die den Druck auf die Ressourcen verringert, das Management von Umweltrisiken verbessert und das Wohl der ärmsten Mitglieder einer Gesellschaft erhöht, begünstigt die Erreichung einer nachhaltigen, auf Gleichheit basierenden Entwicklung, verbessert die Anpassungsfähigkeit und verringert die Anfälligkeit gegenüber Klima und anderen Faktoren (IPCC, 2001).

Im Folgenden einige spezielle Systeme näher betrachtet.

3.1 Auswirkungen des Klimawandels auf die Alpen

Die Alpen gehören zu den besonders stör anfälligen Systemen unseres Planeten. Eine mögliche Klimaerwärmung in den Alpen wird große Auswirkungen auf den dortigen Wasserhaushalt und das Abflussverhalten haben: In den Höhen, in denen der Niederschlag derzeit als Schnee fällt und dadurch erst nach Wochen oder Monaten zum Abfluss kommt, könnte der Niederschlag nun verstärkt als Regen niedergehen und sofort abfließen. Treten heute die Niederwässer im Winter auf, so verschieben sie sich in Zukunft in den Spätsommer und Herbst. Die Schneeschmelze setzt früher ein und ist aufgrund der geringeren Schneeakkumulation nicht mehr so ausgeprägt. Sowohl die potentielle als auch die tatsächliche Verdunstung steigen aufgrund der höheren Temperaturen. Dies führt in den Flachlandregionen zu einer deutlichen Reduzierung der Bodenfeuchte und der Grundwasserneubildung. (vgl. Nachtnebel et. al., 2000). Verstärkt wird dieser Effekt auch durch das Abschmelzen der Gletscher, die als Wasserspeicher dienen. Während Schönwetterperioden in der warmen Jahreszeit geben Gletscher derzeit noch mehr Wasser ab und gleichen so die Wasserführung alpiner Flüsse im Sommer aus. Durch die Freilegung von Gesteinsmassen aufgrund des Gletscherrückzuges und gleichzeitigen Auftauens des Permafrostbodens, könnte es in Kombination mit einem stärkeren Wasserabfluss vermehrt zu Murenabgängen, Steinlawinen und Überschwemmungen kommen.

Auch die alpine Pflanzenwelt wird von einer Klimaerwärmung stark betroffen sein, unter anderem ist eine veränderte Zusammensetzung der Pflanzenarten sowie ein Aussterben bestimmter Arten sehr wahrscheinlich. Ebenso könnte die Erwärmung manche Pflanzenarten dazu veranlassen, in höhere Gebiete zu wandern.

Um die Auswirkung der Klimaerwärmung auf den Wintertourismus zu untersuchen, analysierten Kromp-Kolb und Formayer (2001) die Klimadaten des Bundeslandes Salzburg. Hierbei zeigte sich, dass in den um rund 1° C wärmeren 1990er Jahren (verglichen mit der Standardperiode 1961-1990) ein Rückgang der Tage mit einer Schneedecke größer als 20 cm um rund eine Woche auftrat. Dies auch nur in Gebieten bis rund 1000 m Seehöhe. Untersucht man hingegen die 10 wärmsten Jahre aus der Periode 1948 bis 1999, die rund 1,5° C wärmer waren als die Standardperiode, geht die Anzahl der Tage um rund drei Wochen zurück und der Rückgang ist selbst auf der Schmittenhöhe in 1964 m Seehöhe noch bemerkbar.

In einer Studie von Breiling et al. (1998), die zusätzlich die wirtschaftlichen Auswirkungen der Änderungen analysiert, ergibt sich bei einer Erwärmung um 2° C eine Verschiebung der Schneeverhältnisse um 100 bis 200 m nach oben. Diese Verschiebung läßt schwere Instabilitäten im Wirtschaftsgefüge mancher Wintertourismusgebiete erwarten. Eine Temperaturerhöhung um 2° C beurteilen Breiling et al. als wirtschaftlich verkraftbar, ein weiterer Anstieg um 1° C würde jedoch den Ausfall der wichtigsten Skigebiete bedeuten.

3.2 Auswirkungen des Klimawandels auf den Meeresspiegel und auf Küstenregionen

Im 20. Jahrhundert wurde weltweit ein Meeresspiegelanstieg zwischen 10 und 20 cm beobachtet. Bei einer Temperaturerhöhung zw. 1.4° C und 5.8° C bis 2100 könnte es zu einem Meeresspiegelanstieg von 0.09 bis 0.88 Meter kommen (vgl. IPCC, 2001).

Faktoren, die zu einem Anstieg des Meeresspiegels führen sind die thermische Expansion der Ozeane (der Wärmegehalt der Meere hat sich seit dem Beginn der Messungen in den fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts deutlich erhöht) und das Abschmelzen von Gletschern und Eisschilden⁷.

Die größten Eisflächen der Welt sind Grönland und das Westantarktische Eisschild. Ein völliges Abschmelzen des Westantarktischen Eisschildes, das zu einem Meeresspiegelanstieg von bis zu 6 m führen könnte, ist für dieses Jahrhundert unwahrscheinlich. Das in den letzten Jahren mehrmals beobachtete Abbrechen von Eisschelfen führt zu keinem Meeresspiegelanstieg, da diese bereits im Wasser liegen.

Durch das Abschmelzen des Grönlandeises könnte sich die thermohaline Zirkulation des Golfstromes verlangsamen, da der Salzgehalt des Nordatlantiks durch Zufuhr von Süßwasser verringert wird. Eine Reduktion des Wärmetransportes des Golfstromes hätte starke Folgen für das zukünftige europäische Klima.

⁷ Jonathan Gregory vom Meteorologischen Institut des Hadley Centers erklärte in seinem Referat bei der Climate Change Conference die Faktoren, die zu einem Anstieg des Meeresspiegels führen (jmgregory@meto.gov.uk).

Berücksichtigt werden muss auch, dass das globale Abschmelzen von Eisflächen zu einer Erhöhung des Albedos der Erde und in weiterer Folge zu einer verstärkten Erderwärmung führt.

Die bisher ungenauen Messungen des Meeresspiegels lassen sich darauf zurückführen, dass nur wenige Messpunkte weit zurückreichende und durchgehende Messreihen bereitstellen konnten. Durch den neuen Satelliten Envisat werden jedoch künftig sehr präzise Messungen ermöglicht.

Neben dem Meeresspiegelanstieg, der vermehrte Überschwemmungen und Erosionen des Küstenbereiches nach sich zieht, sind auch von einer erhöhten Meerestemperatur Auswirkungen, vor allem auf die Biodiversität der Küstenregionen, den Fischfang und den Tourismus zu erwarten⁸. Zusätzlich werden die Ökosysteme der Küstenregionen noch von anderen Störfaktoren wie Übernutzung, Urbanisation, Land- und Wasserverschmutzung belastet.

Die weitreichende Bedeutung von Küstenregionen für den Menschen, verdeutlichen folgende Zahlen:

- 1995 lebten 39 Prozent der Weltbevölkerung innerhalb von 100 Kilometern Entfernung zur Küste, die Küstenregionen machen aber nur 18% der Landfläche aus.
- Dreizehn der zwanzig größten Städte der Welt liegen an der Küste.

Vom Klimawandel besonders betroffene „Hot Spots“ sind kleine Inseln und tiefliegende Landflächen, wie z.B. Bangladesch. Aber auch in Europa gibt es Gefahrenzonen, wie den Großraum London oder die Küste von East-Anglia.

3.3 Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosysteme

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosysteme sind sehr komplex und äußern sich in einer Beeinflussung der Physiologie, der Phänologie und der Verteilung der verschiedenen Arten⁹. Einigen Arten droht durch die Erwärmung das Aussterben, andere werden sich an die neuen Gegebenheiten anpassen können. Erste phänologische Effekte sind bereits jetzt sichtbar, wie z.B. der frühere Beginn des Frühlings, der verzögerte Eintritt des Herbstes, und die verspätete Wanderung mancher Vogelarten.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Ökosysteme lassen jedoch viele Unsicherheiten offen, die sich unter anderem auf folgende Punkte beziehen:

- Sensitivität bzw. die Störanfälligkeit der Ökosysteme;

⁸ Larissa Naylor vom Tyndall-Center stellte in ihrem Vortrag bei der Climate Change Conference mögliche Auswirkungen der Klimaerwärmung auf Küstenregionen dar.

⁹ Pam Berry vom Environmental Change Institute in Oxford referierte bei der Climate Change Conference über die Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosysteme.

- Anpassungsfähigkeit der Ökosysteme auf die Erwärmung (wann kommt es zu Nichtlinearitäten, zu Kollapsen ganzer Systeme?);
- Fähigkeit der Ökosysteme, ökologische Funktionen zu erfüllen (wie z.B. die Wasserregulation);
- Verhalten der Ökosysteme bei mehreren Stressfaktoren gleichzeitig;
- ebenso stellt sich die Frage, inwieweit man der Entwicklung freien Lauf lässt, oder versucht, vertraute Systeme zu erhalten.

3.4 Auswirkung des Klimawandels auf die Landwirtschaft

Experimente zeigen, dass Ernteerträge bei Klimaveränderungen sehr unterschiedlich ausfallen. Die Erträge hängen neben der Art und Zuchtform, den Bodeneigenschaften, dem direkten Einfluss von CO₂ auf die Pflanzen auch vom Klima ab.

Auch wenn erhöhte CO₂-Konzentrationen das Wachstum der Feldfrüchte stimulieren können, kann dieser Nutzen die Folgen von vermehrten Hitzewellen und Dürre nicht immer wettmachen. Daher sind Agrar- und viehwirtschaftliche Anpassungsoptionen (wie beispielsweise veränderte Ausbringungszeitpunkte, Düngereinsatz, Bewässerungssysteme, Zuchtformen und Auswahl von Nutztierarten) notwendig.

Werden agronomische Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt, so zeigen Modelle zur Beurteilung der Ernten, dass es bei einer kleinen Erwärmung überwiegend zu positiven Auswirkungen kommt, bei einer größeren Temperatursteigerung von mehreren Graden jedoch zu negativen Folgen. In tropischen Regionen schmälert bereits ein geringfügiger Temperaturanstieg die Erträge auf Grund der bereits überschrittenen Temperaturtoleranz.

In störanfälligen Gesellschaften wird der Klimawandel zu niedrigeren Einkommen sowie zu einem höheren Risiko von Hungersnöten und einer Gefährdung der Nahrungsmittelsicherheit führen. Zusätzlich könnte der Klimawandel in diesen Ländern Wasserknappheit, die Verbreitung von Krankheiten und die Überflutung von Küstenregionen mit sich bringen (vgl. IPCC, 2001).

4 Integrated Assessment Modelle

Um den globalen Klimawandel von der Ursache (wie z. B. Treibhausgase) bis zur Wirkung (wie geänderte Energieanfordernisse für die Raumwärme aufgrund von Temperaturänderungen) analysieren zu können, ist die Anwendung sogenannter „Integrated Assessment“ Modellen notwendig.

„Integrated Assessment Models“ (IAM) stellen ein Werkzeug zur Verfügung, das die Komplexität gesellschaftlicher und ökologischer Prozesse sowie ihre zeitlichen und räumlichen Interaktionen formal abbildet (vgl. Cassel-Gintz 2000). Für eine adäquate Analyse des gesamten Klimasystems ist neben einer detaillierten Strukturierung und Beschreibung der Systemkomponenten vor allem auch das Verständnis für die im System ablaufenden Prozesse, Interaktionen und Rückkopplungsmechanismen entscheidend (vgl. Rotmans 1998). Mit Hilfe des „Integrated Assessment“ (IA) soll bestehendes Wissen verschiedener Wissenschaftsbereiche integriert werden, um Entscheidungsträgern Informationsgrundlagen und Lösungsstrategien bereitzustellen, wodurch neue Einsichten in die Schlüsselfragen zukünftiger Politikgestaltung gewonnen werden können (Weyant et al. 1996).

Die für ein IA notwendige Integration von Anthroposphäre und Ökosphäre erfordert von Anfang an eine inter- oder transdisziplinäre Herangehensweise, die eine enge Kooperation zwischen dem interdisziplinären integrativen Teil und den Forschungen der einzelnen Fachdisziplinen notwendig macht.

Integrated Assessment Modelle sind aus verschiedenen Gründen hilfreich. Sie beurteilen spezielle Maßnahmen der Klimapolitik, koordinieren multiple Themen in einem systematischen Modell, und stellen eine analytische Methode dar, um klimapolitische Maßnahmen mit anderen, nicht klimabezogenen Maßnahmen zu vergleichen. Die Beurteilung umfasst das Wechselspiel zwischen ökonomischen, sozialen und ökologischen Belangen. IAM bieten daher für Entscheidungsträger eine wichtige Entscheidungsgrundlage. Auch der Rolle der Stakeholder kommt in IA Modellen große Bedeutung zu, da mit Hilfe des IA die Belange von verschiedenen Stakeholdern, die auf unterschiedliche Aspekte des Klimawandels fokussiert sind, kombiniert werden können.

Grundsätzlich sind mit analytischen und den partizipativen Methoden zwei Arten von IA Methoden zu unterscheiden: Während die analytischen Methoden stark in den Naturwissenschaften verankert sind und Modell-, Szenario- und Risiko-Analysen umfassen, haben die partizipativen, interaktiven Methoden ihre Wurzeln in den Sozialwissenschaften und beinhalten partizipative Verfahren unter Mitwirkung von Betroffenen sowie Expertengremien, Delphibefragungen und Politikbewertungen (vgl. Cassel-Gintz 2000).

In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl von IAM für den Klimawandel entwickelt, die ihr Schwergewicht auf unterschiedliche Zielsetzungen legen:

- Modelle, die sich mit der Komplexität natürlicher Systeme befassen;

- Modelle, die sich auf die ökonomische Komplexität konzentrieren (z. B. Kosten von Anpassung und Minderung im Vergleich zu den Kosten der Schäden durch Klimawandel);
- Modelle, die sowohl die Komplexität natürlicher Systeme als auch ökonomischer Tatbestände berücksichtigen;
- neue Ansätze, wie ICLIPS und der Tolerable Windows Approach.

Als Vorteile von IAM können folgende Punkte angeführt werden:

- Auffinden von Wechselwirkungen und Rückkopplungen;
- flexibles und schnelles Simulationswerkzeug;
- Rahmen zur Strukturierung von Wissen;
- Kommunikationswerkzeug komplexer Zusammenhänge.

Defizite solcher Modelle bestehen in:

- der hohen Integrationsebene (Prozesse auf der Mikroebene werden vernachlässigt),
- unzureichender Behandlung von Unsicherheiten,
- Abwesenheit eines stochastischen Faktors,
- dem Ausschluss von selteneren Extrembedingungen,
- limitierter Kalibrierungs- und Validierungsmöglichkeit.

Ein Großteil der bisher bestehenden IAM ist auf den globalen Klimawandel fokussiert, in letzter Zeit werden aber auch zunehmend regionale Ansätze diskutiert. Als Beispiel für ein globales IAM dient in diesem Bericht ICLIPS, als regionales IA Modell wird das Projekt RegIS präsentiert.

4.1 ICLIPS

Im Jahre 1999 wurde vom Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung im Rahmen des Projektes ICLIPS (Integrated Assessment of Climate Protection Strategies) ein integriertes Modell entwickelt, das die gesamte für das Klimaproblem relevante Kette von Ursachen und Wirkungen abbildet und Entscheidungsträger bei der Umsetzung der UN-Rahmenkonvention zum Klimaschutz unterstützen soll. Auf Grundlage des „Tolerable Windows Approach“ (TWA) werden Rahmenbedingungen definiert, die einerseits einen nicht tolerierbaren Klimawandel, andererseits nicht akzeptierbare Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels ausschließen, und somit den zulässigen Handlungsspielraum mittels Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen Klima und Gesellschaft ermitteln (vgl. Bruckner et al. 2001).

Das ICLIPS Modell integriert folgende Komponenten:

- ein Klimamodell, das alle relevanten Treibhausgase berücksichtigt;

- Climate-Impact-Response-Funktionen, die klimabedingte Veränderungen der landwirtschaftlichen Erträge, der natürlichen Vegetation und der Wasserverfügbarkeit modellieren;
- sowie ein Modell der langfristigen ökonomischen Entwicklung, das Effekte technologischen Lernens berücksichtigt.

Abbildung 9 verdeutlicht die Beziehungen zwischen den Modellkomponenten.

Das Ziel des Modells liegt in der Bestimmung von Emissionskorridoren, die den zukünftigen Handlungsspielraum wiedergeben, der mit vordefinierten Klimaschutz-Leitplanken verträglich ist. Diese Leitplanken dienen dazu, alle Klimafolgen sowie Auswirkungen von Maßnahmen zur Emissionsreduktion auszuschließen, die von der Gesellschaft bzw. politischen Entscheidungsträgern als nicht tolerierbar angesehen werden. Der Emissionskorridor ist dadurch definiert, dass jede Kurve, die eine zulässige Entwicklung der Emissionen darstellt, innerhalb dieses Korridors liegen muss (vgl. Toth et al., 1997).

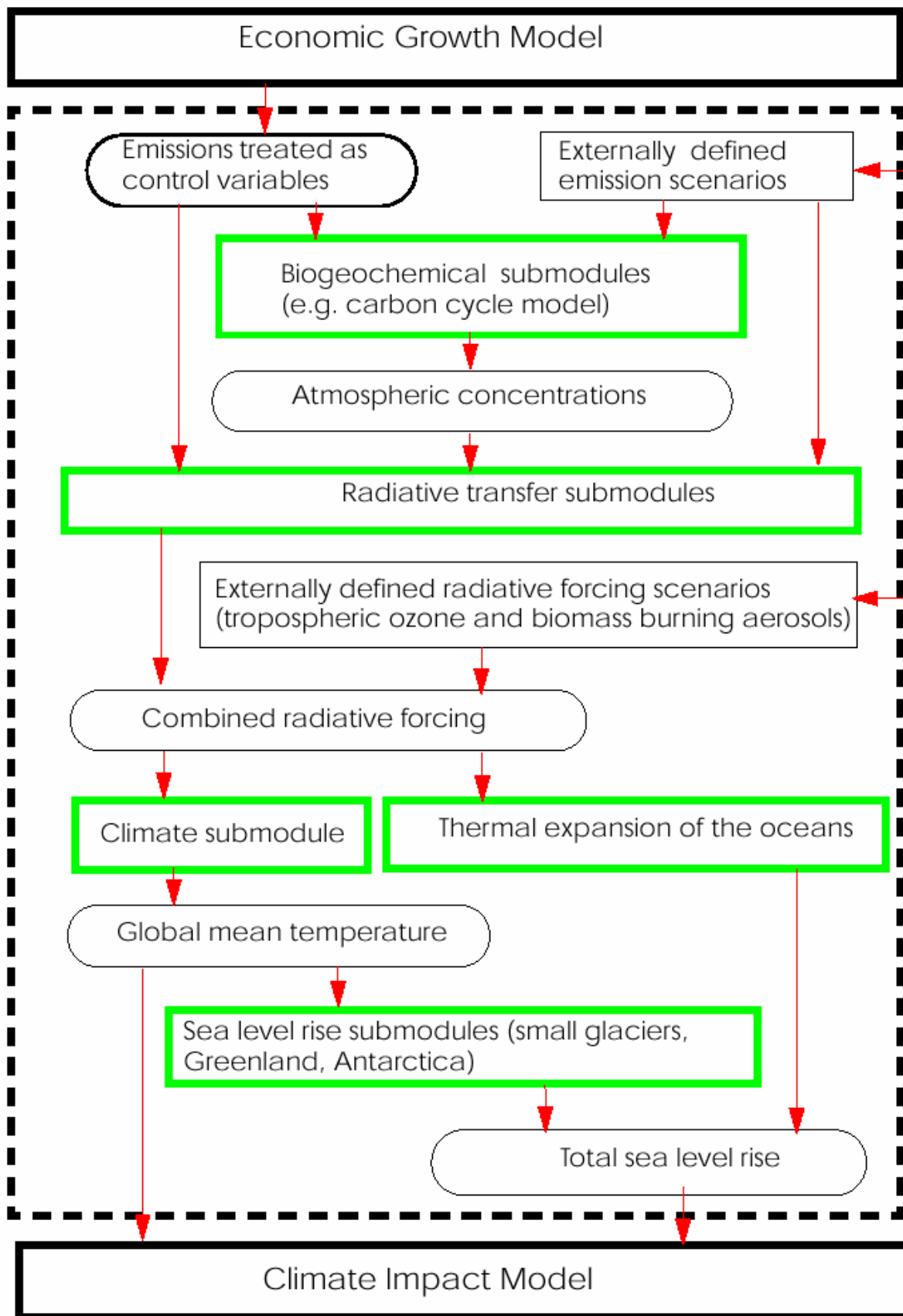
Ein globaler Emissionskorridor legt jedoch noch nicht die Verteilung von Reduktionspflichten auf die einzelnen Staaten fest. Diese Verteilung muss vielmehr politisch vereinbart werden. Nach der Berechnung der globalen Emissionsprofile, welche die Realisierung der vorher definierten Klimaentwicklung garantieren, werden daraus nationale Reduktionspflichten ermittelt, die den jeweiligen ökonomischen und gesellschaftlichen Gegebenheiten Rechnung tragen (vgl. WBGU 1997).

Ein Beispiel für eine derartige inverse Analyse ist die Korridorberechnung mit dem vom Wissenschaftlichen Beirat für Globale Umweltfragen (WBGU) vorgeschlagenen Klimafenster, das folgende Leitplanken definiert (WBGU 1995):

- Die globale Mitteltemperatur darf gegenüber dem vorindustriellen Niveau um höchstens 2°C ansteigen.
- Die Temperaturänderungsrate wird auf 0.2°C pro Dekade begrenzt.
- Keine Weltregion soll zu irgendeinem Zeitpunkt einen Einkommensverlust von mehr als 2% gegenüber dem Referenzszenario erleiden.
- Bei der Anfangsverteilung von Emissionsrechten erfolgt ein sukzessiver Übergang von der status-quo-Verteilung zu einer gleichen Pro-Kopf-Verteilung im Jahre 2050. Darüber hinaus wird der Import von Emissionsrechten auf 50% der aktuellen Emissionshöhe begrenzt.

Mit Hilfe dieser Leitplanken kann das ICLIPS-Modell einen Emissionskorridor berechnen, der Entscheidungsträger die Möglichkeit zur Überprüfung bietet, ob ihre gewählte Klimaschutzstrategie mit diesem Emissionskorridor konform ist, bzw. ob es zumindest einen Politikpfad gibt, der mit den gewählten Leitplanken verträglich ist.

Abb. 9. Übersicht über das ICLIPS Klimamodell. Quelle: PIK 2000.



4.2 IA auf regionaler Ebene: Erfahrungen aus dem RegIS Projekt

Das RegIS Projekt¹⁰ ist Teil des „UK Climate Impacts Programme“ (UKCIP) und stellt den ersten Versuch dar, ein integriertes Bild einer möglichen zukünftigen Entwicklung von zwei in bezug auf Klima, Ökosystem und auch politische Rahmenbedingungen stark divergierenden Regionen Großbritanniens (East Anglia und Nordwesten von England) zu zeichnen, wobei sowohl der Klimawandel als auch sozioökonomische Trends berücksichtigt werden.

Mit Hilfe von verschiedenen sozio-ökonomischen und Klimawandel-Szenarien werden mögliche zukünftige Entwicklungspfade evaluiert. Die Analyse konzentriert sich auf vier Aspekte, die Überflutung der Küsten und des Festlandes, die Landwirtschaft, die Wasserressourcen und die Biodiversität.

Das Ziel des Projekts liegt in der Bereitstellung einer Forschungsmethode, die alle relevanten Stakeholder integriert, auf die regionalen Klimaveränderungen und Anpassungsoptionen eingeht und Interaktionen zwischen den betroffenen Sektoren abbildet.

Trotz vieler Unsicherheiten über das genaue Ausmaß der Auswirkungen kann aber von einem großen Einfluss des Klimawandels auf die Entwicklung der untersuchten Regionen ausgegangen werden. Der Gesellschaft kommt eine wichtige Rolle in bezug auf das Management der Auswirkungen des Klimawandels zu. Mit der Wahl ihrer Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen kann sie die Entwicklung der untersuchten Regionen stark beeinflussen (vgl. DEFRA 2002).

10 Ian Holman vom Institute of Water and Environment Cranfield, Universite Silsoe Bedford präsentierte auf der Climate Change Conference mit dem RegIS Projekt ein regionales IA Modell.

5 Ökonomische Rahmenbedingungen der Klimapolitik

Die Klimapolitik ist mit der Herausforderung konfrontiert, eine möglichst hohe Reduktion an Treibhausgasemissionen kosteneffizient und sozial verträglich zu erreichen. Dazu ist es notwendig, geeignete Strategien zu entwickeln, die zu einer Stabilisierung der Treibhausgase in der Atmosphäre führen und die Kosten der Emissionsreduzierung gerecht zwischen Industrie- und Entwicklungsländern verteilen. Ökonomischen Instrumenten kommt in diesem Zusammenhang eine entscheidende Rolle zu.

Bezüglich der Verknüpfung von Klimawirkungen und Klimapolitik¹¹ ist es notwendig, die Komplexität und Langfristigkeit des Klimawandels zu beachten. Treibhausgase sind „stock pollutants“, bei denen nicht nur die jährlichen Emissionen, sondern vor allem die Einflüsse derzeitiger und vergangener Schadstoffkonzentrationen von besonderer Bedeutung sind. Aufgrund der langen Residenzzeit und der Trägheit des klimatischen Systems erfordert das „Climate Change Management“ Zeithorizonte von über 100 Jahren. Der globale Charakter des Umweltproblems macht außerdem eine globale Politik und globales Agreement (vgl. United Nations Framework Convention on Climate Change) notwendig.

Diese Umstände implizieren, dass die Klimapolitik als sequentieller Entscheidungs-, Lern- und Revisionsprozess verstanden werden muss, der sich eines Maßnahmenbündels bedient, das sowohl Anpassungs- als auch Minderungsstrategien umfasst. Notwendig ist daher die Anwendung einer „Doppelstrategie“: Einerseits müssen die treibhausfördernden Klimagase reduziert werden, andererseits muss man sich an den voraussehbaren Klimawandel anpassen. „Anpassung und Minderung“ lauten daher die Schlüsselworte, die nicht unabhängig voneinander betrachtet werden dürfen.

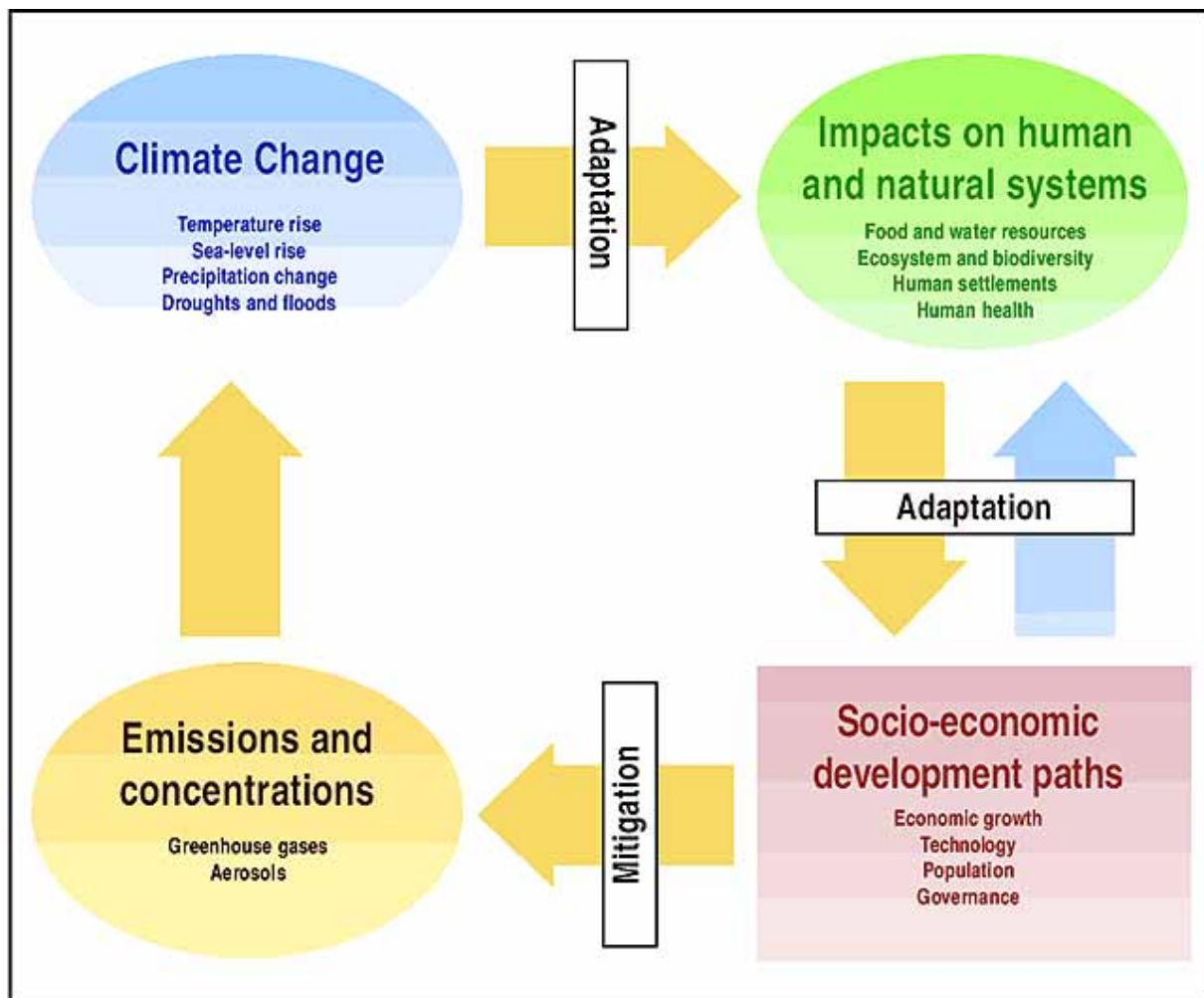
5.1 Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen zum Klimaschutz

Um geeignete Klimamaßnahmen entwickeln zu können, müssen zunächst Einblicke in die komplexen Beziehungen des Klimasystems und des Klimawandels gewonnen werden, die anhand eines Stock-Flow-Modells (Integrated Assessment Modells) verdeutlicht werden können (vgl. Abb. 10)¹².

¹¹ Ferenc Toth vom International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) gab einen Überblick über die ökonomischen Rahmenbedingungen zur Verknüpfung von Klimawirkungen und Klimapolitik

¹² Terry Barker (University of Cambridge and Cambridge Econometrics) gab in seinem Vortrag anlässlich der Climate Change Conference zunächst Einblicke in die Komplexität, um danach die Kosten von Minderungsmaßnahmen zu erläutern.

Abb. 10. Integriertes Modell des Klimawandels, Quelle: IPCC 2001.



Das Gesamtsystem umfasst verschiedene stocks (Bestände): atmosphärische Konzentration, Klimasystem, sozio-ökonomisches System und natürliches System. Zwischen diesen stocks kommt es zu Austauschprozessen (flows) in Form von Emissionen und nicht-klimarelevanten Auswirkungen. Eine zusätzliche Emissionsbelastung begünstigt den Treibhauseffekt und hat über Luftverschmutzung und sauren Regen negative Auswirkungen auf Mensch und Natur. Außerdem bergen höhere Lufttemperaturen und steigende Meeresspiegel höhere Risiken für Überflutung und Dürren in sich. Die genannten Effekte verändern sich zudem durch zahlreiche feedbacks (z.B. zunehmende Wüstenbildung) und Interaktionen (z.B. Absorption) zwischen natürlichem System, Atmosphäre und Klimasystem.

Die Veränderungen des natürlichen Systems wirken sich auch auf die sozio-ökonomische Entwicklung aus. Die negativen Auswirkungen des Klimawandels können jedoch durch geeignete Anpassungsmaßnahmen reduziert werden. Während die Anpassung erst am Ende in das System eingreift, beeinflussen Minderungsmaßnahmen (Mitigation) das gesamte System in stärkerer Weise, da sie Emissionen verringern. Dadurch werden auch der Treibhauseffekt und die lokale Luftverschmutzung reduziert, was wiederum einen Rückgang der Belastungsfaktoren des Klimawandels impliziert und schließlich einen sinkenden Bedarf an Anpassungsmaßnahmen nach sich zieht.

Zur Bekämpfung der negativen Auswirkungen des Klimawandels sind sowohl Minderungs- als auch Anpassungsmaßnahmen notwendig. Die Wahl zwischen beiden Varianten ist vergleichbar mit Entscheidungen zwischen anderen gesellschaftlichen Zielen.

„Mitigation“ stellt sich eher als globales Thema dar, während sich „Adaptation“ auf die lokale und regionale Ebene bezieht. Anpassungsmaßnahmen sind vor allem in tiefgelegenen Entwicklungsländern notwendig, Minderungsmaßnahmen dominieren in Industrieländern.

Um die ökonomischen Auswirkungen des Klimawandel abschätzen zu können, müssen alle anfallenden Kosten- und Nutzenkomponenten bestmöglich berücksichtigt werden.

Als Kosten des Klimawandels bezeichnet man Schäden durch höhere Lufttemperaturen, Meeresspiegelanstieg sowie häufiger auftretende extreme Klimaereignisse und ihre Auswirkungen auf natürliche und anthropogene Systeme. Die Kosten umfassen auch höhere Risiken und Unsicherheiten, Verlust von Leben und Ökosystemen sowie Artensterben.

Da der Klimawandel bereits besteht und weiterhin bestehen wird, sind Anpassungsmaßnahmen unumgänglich, die ebenfalls mit Kosten verbunden sind, aber auch große Nutzen mit sich bringen. Die Kosten der Anpassung lassen sich durch Antizipation und Planung reduzieren.

Die Nettokosten des Klimawandels werden errechnet, indem vom Gesamtnutzen der Anpassung die Anpassungskosten subtrahiert und die durch Anpassung nicht vermeidbaren Klimaschäden addiert werden.

Minderungsmaßnahmen weisen ebenfalls volkswirtschaftliche Nutzen und Kosten auf. Neben dem direkten Nutzen der „Mitigation“ von vermiedenen Kosten des Klimawandels entstehen auch positive Nebeneffekte durch die Reduktion nicht-klimawirksamer Luftverschmutzung.

Als Kosten der Minderungsmaßnahmen sind die Kosten zu sehen, die der Gesellschaft in Form von Einbußen an Output und Konsumverzicht in Folge des Emissionsreduktionsaufwands entstehen. Diese Kosten hängen entscheidend von der Struktur des Energieangebots und der Energienachfrage, sowie der Verfügbarkeit von kohlenstoffarmen Alternativen (z.B. Windkraft) ab. Modellprojektionen zeigen, dass das langfristige Wirtschaftswachstum nicht stark durch Minderungshandlungen beeinträchtigt wird und die „Mitigation“-Kosten relativ niedrig sind. Die Gründe dafür liegen im geringen Anteil der fossilen Energie am gesamten globalen BIP (3 bis 5 %) und in den langfristig guten technologischen Entwicklungsmöglichkeiten, die eine Substitution von fossilen Energieleistungen durch umweltfreundliche Energiedienstleistungen einfach gestalten.

Große Kostenunterschiede können allerdings zwischen einzelnen Sektoren und Ländern auftreten. Diese Kosten können durch die Wahl von geeigneten Instrumenten jedoch stark reduziert werden.

Wie ein ausgewogenes Paket mit Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen zum Schutz vor Klimawandel aussehen soll, lässt sich mit der Hilfe von analytischen Systemen beantworten.

Als analytische Konzepte können beispielsweise die Kosten-Nutzen-Analyse oder der Tolerable Windows Approach dienen.

Sollen optimale Entwicklungspfade in bezug auf ein gewähltes Kriterium bestimmt werden, so kann als analytisches Konzept **die Kosten-Nutzen-Analyse** (KNA) herangezogen werden, um einen einzigen optimalen Entwicklungspfad zu finden (vgl. Bruckner et al. 2001).

Die Kosten-Nutzen Analyse ist eine Methode zur Bewertung der Rentabilität staatlicher Investitionsentscheidungen, mit deren Hilfe die gesamtwirtschaftlichen Kosten und Nutzen von Investitionsprojekten erfasst, monetär bewertet und aggregiert werden. Grundlegendes Ziel der KNA ist die Maximierung des menschlichen Wohlstands.

Die Kosten-Nutzen-Analyse baut methodisch auf der betriebswirtschaftlichen Investitionsrechnung auf, die auftretende Kosten und Nutzen zu Marktpreisen bewertet und berücksichtigt zusätzlich externe Kosten und Nutzen.

Eine andere Entscheidungshilfe stellt der **Tolerable Windows Approach**¹³ dar. Auf Basis definierter Rahmenbedingungen, die einerseits einen nicht tolerierbaren Klimawandel, andererseits nicht akzeptierbare Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels ausschließen, soll der zulässige Handlungsspielraum mittels Ursache-Wirkung-Beziehung zwischen Klima und Gesellschaft ermittelt werden (vgl. Bruckner et al 2001).

5.2 Die Ökonomie der Anpassung: Die Strukturierung des Anpassungsprozesses

Bezüglich der Anpassung unterscheidet man zwischen privater (Haushalte, Firmen) und öffentlicher (Gemeinden, Regierungen) Anpassung. Jetzige und zukünftige öffentliche politische Maßnahmen beeinflussen die Rahmenbedingungen unter welchen die privaten Akteure handeln. Sie bestimmen daher die Art und das Ausmaß der privaten Anpassung. Im Vordergrund stehen die ökonomische Effizienz, die ökologische Effektivität und die soziale Gerechtigkeit.

Private Akteure setzen sich für vorteilhafte politische Maßnahmen ein: Klimawandel eignet sich gut, um sich als „Opfer“ zu deklarieren und sich dadurch eine besondere Behandlung zu sichern, wodurch sich jedoch die potentielle Gefahr von Störungen ergibt, die wiederum in einer Fehlanpassung resultieren können.

5.2.1 Private Anpassung

Ökonomische Überlegungen gehen in der Regel davon aus, dass Anpassungs-Anstrengungen bis zu jenem Niveau durchgeführt werden sollen, zu dem die Grenzvorteile der Maßnahme

¹³ Der Tolerable Windows Approach wurde bereits im Kapitel „Integrated Assessment Models“ besprochen.

den entstehenden Grenzkosten gleich ist. Nur in diesem Fall wird der Nettoerlös (Gesamterlös abzüglich Gesamtkosten) maximiert. Die konsequente Anwendung dieses Prinzips bedeutet für die zur Auswahl stehenden alternativen Maßnahmen, dass jenes Projekt realisiert wird, das mit dem größten Nettoerlös verbunden ist.

Das angewendete Selektionskriterium, um die optimalen Maßnahmen zu finden, ist der „Net Present Value“ (NPV). Der NPV gibt an, ob die Summe der diskontierten Erlöse die Summe der diskontierten Kosten übersteigt. Um die geeignetste Maßnahme aus mehreren Alternativen auszuwählen, müssen die abgezinste Kosten und Erlöse für die einzelnen Alternativen gegenübergestellt und in eine vorläufige Reihung gebracht werden. Ein Projekt ist sinnvollerweise dann durchzuführen, wenn der $NPV > 0$ ist.

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{R_t - C_t}{(1+r)^t}$$

R ... Revenue (Erlöse)

C ... Costs (Kosten)

r ... risikoadjustierte Abzinsungsrate

5.2.2 Öffentliche Anpassung

Das Investitionsentscheidungskriterium der öffentlichen Anpassung ist ähnlich dem der privaten. Jedoch werden alle Kosten und Nutzen von sozialen Wohlfahrtsfunktionen abgeleitet, wobei sowohl das Konzept der „Willingness to pay“, als auch die „compensating variation and equivalent variation“ Anwendung finden.

$$\sum_{t=1}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} > 0 \quad B \dots \text{Benefits (Nutzen)}$$

Jedoch muss bei einer Vielzahl von Projekten eine Reihung erfolgen, die mit Hilfe der Benefit-Cost-Ratio erstellt werden kann.

Die Benefit-Cost-Ratio ist das Verhältnis von diskontiertem Nutzen zu den diskontierten Kosten.

$$\frac{\sum \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

Sie stellt einen wichtigen Indikator bei der Bewertung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Vergleich zu andern öffentlichen Entwicklungsprojekten dar. Die Entscheidungsregel besagt, dass das Projekt dann weiter berücksichtigt werden kann, wenn die Benefit-Cost-Ratio eins übersteigt.

Die öffentliche Anpassung beruht auf dem Bewertungskonzept der Kosten-Nutzen-Analyse, das wiederum seine Wurzeln in der Wohlfahrtsökonomie hat.

5.3 Mitigation: Technologien und Maßnahmen

Die anthropogenen Ursachen der Klimaveränderung sind zum größten Teil auf die energetische Nutzung und Verbrennung fossiler Primärenergieträger zurückzuführen. Ein Blick auf die Entwicklung der weltweiten Energienachfrage und der CO₂-Emissionen (siehe Tab.1) verdeutlicht die Notwendigkeit eines verstärkten Einsatzes von geeigneten Minderungstechnologien und –maßnahmen.

Tab. 1. Weltweite Energienachfrage und CO₂ Emissionen 1990-2020,

Quelle: EAI 2002.

Region	Energy Consumption (Quadrillion Btu)				Carbon Dioxide Emissions (Million Metric Tons Carbon Equivalent)			
	1990	1999	2010	2020	1990	1999	2010	2020
Industrialized Countries	182.7	209.7	246.6	277.8	2,849	3,129	3,692	4,169
EE/FSU	76.3	50.4	61.8	73.4	1,337	810	978	1,139
Developing Countries	87.2	121.8	184.1	260.3	1,641	2,158	3,241	4,542
Asia	51.0	70.9	113.9	162.2	1,053	1,361	2,139	3,017
Middle East	13.1	19.3	26.3	34.8	231	330	439	566
Africa	9.3	11.8	15.7	20.3	179	218	287	365
Central and South America	13.7	19.8	28.3	43.1	178	249	377	595
Total World	346.2	381.9	492.6	611.5	5,827	6,097	7,910	9,850

Sources: **1990 and 1999:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 1999*, DOE/EIA-0219(99) (Washington, DC, February 2001). **Projections:** EIA, World Energy Projection System (2002).

Die Herausforderung besteht darin, den Energieverbrauch und damit auch den Emissionsverbrauch nachhaltig zu verringern. Dies soll mit Hilfe von technischen Lösungen einerseits und politischen Ansätzen und Instrumenten andererseits (Ge- und Verbote, marktorientierte Instrumente,...) erreicht werden.

Grundsätzlich wird kosteneffizienten Lösungen zur Erreichung von Treibhausgas-Reduktionen der Vorzug gegeben. Die Entwicklung von Strategien darf sich jedoch nicht ausschließlich an den kurzfristigen Kosten orientieren, sondern muss auch andere Kriterien (wie Schutz der Gesundheit, Energieeinsparung, Verringerung klassischer Luftschadstoffe, Lärmreduktion, und Wettbewerbsvorteile) berücksichtigen. Der verstärkte Einsatz energieeffizienter Technologien und erneuerbarer Energien kann neben einer Reduktion an Treibhausgasen unter anderem auch Technologieimpulse zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit, sowie die Verminderung der Importabhängigkeit erreichen (vgl. BMLFUW 2002).

5.3.1 „Low Carbon Energy Technologies“

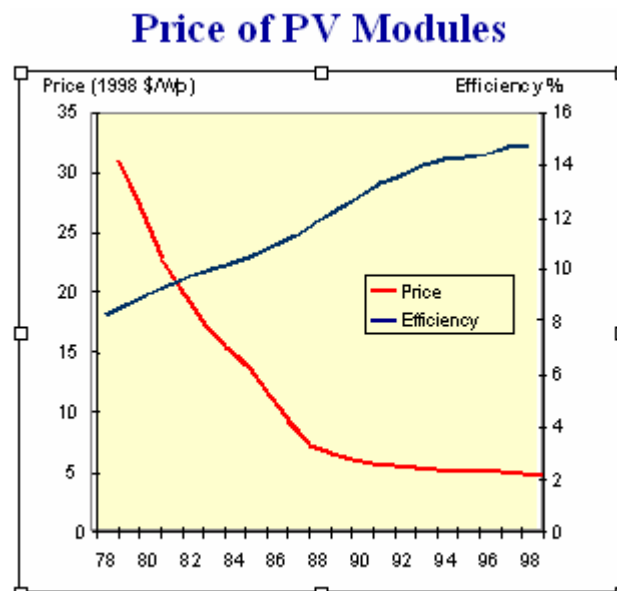
Ziel von „Low Carbon“ Energietechnologien ist es, Technologien mit möglichst geringen CO₂-Emissionen zu entwickeln¹⁴. Zum Vergleich verschiedener Technologien wird eine Indexzahl genommen, die sowohl das Verhältnis von Kohlenstoff zu Wasserstoffatomen als auch den Energieinhalt pro Masseinheit miteinander kombiniert. Kohle wird der Index 100 zugewiesen, der Index von Holz beträgt 320, von Öl 70, von Erdgas 50 und von erneuerbaren Energieträgern 0.

Der Übergang von Energieträgern mit hohen CO₂-Emissionen zu kohlenstoffextensiven wird als „Decarbonisation“ bezeichnet. Studien (z.B. „Options for a low carbon future“, Anderson, Meach, et. al, 2002) zeigen, dass der Übergang zu kohlenstoffextensiven Energieformen sowohl technisch möglich ist, als auch der Wirtschaft durch die damit verbundenen Investitionen neue Impulse bringen könnte.

Ein solcher Übergang wäre neben einem verstärkten Einsatz von Erdgas als Energiequelle und der Verbesserung der Energieeffizienz bestehender Systeme durch einen höheren Anteil an erneuerbaren Energiequellen (Photovoltaik, Windkraft, Biomasse, Geothermie und Gezeitenkraftwerke) und Wasserstoff als Energieträger und Speichermedium machbar.

Was die Kosten neuer Energietechnologien betrifft, hat sich gezeigt, dass es längerfristig zu einer starken Verringerung der Kosten kommen kann, was am Beispiel der Photovoltaik verdeutlicht werden soll.

Abb. 11. Preis und Effizienz von Photovoltaik, Quelle: IT Power Ltd.



¹⁴ Dennis Anderson vom Imperial College Center for Energy Policy and Technology gab anlässlich der Climate Change Conference einen Überblick über Technologien mit geringen Kohlenstoffemissionen.

Erneuerbare Energiequellen sind reichlich vorhanden, nur stehen sie nicht immer dort zur Verfügung, wo sie verbraucht werden sollen und auch nicht immer zu den gewünschten Zeiten. Diese örtlichen und zeitlichen Lücken zwischen Angebot und Nachfrage könnten in Zukunft verstärkt mit dem Energieträger Wasserstoff überbrückt werden.

Die optimale Methode, um die in Wasserstoff gespeicherte Energie wieder nutzbar zu machen; ist die Brennstoffzelle. Sie setzt die chemische Energie in einem elektrochemischen Prozess mit einem sehr hohem Wirkungsgrad in elektrische Energie und Wärme um:

Nach dem Prinzip der Elektrolyse wird in der Brennstoffzelle aus Sauerstoff und Wasserstoff elektrischen Strom und Wasser erzeugt. In den letzten Jahren wurden große Fortschritte erzielt, vor allem bei der Verkleinerung der Anlagen. Im Kraftwerkseinsatz und als Antrieb für Elektro-Fahrzeuge wurden Brennstoffzellen bereits erfolgreich erprobt.

Wasserstoff ist kohlenstofffrei und bildet daher das Endziel der für die Zukunft erwünschten „Decarbonisierung“ des Energiesystems.

5.3.2 Szenarien für eine „Low Carbon Zukunft“ in Großbritannien

Dr. Matthew Leach referierte über die Anstrengungen Großbritanniens zur Forcierung von Technologien mit geringen Kohlenstoffemissionen¹⁵.

Das Kyoto-Protokoll sieht für Großbritannien bis 2008/2012 eine Reduktion an Treibhausgas Emissionen von 12,5 % unter das Niveau von 1990 vor. Von 1990 bis 2000 sind die Treibhausgase aufgrund von Energieeffizienzsteigerungen und stärkerer Dienstleistungsorientierung sowie durch Übergang von Kohle auf Gas um 14 % gesunken.

Großbritannien hat sich außerdem zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2010 10% der Energie aus erneuerbaren Energiequellen zu beziehen. Der Übergang zu erneuerbaren Energieträgern wird staatlich unterstützt (260 Millionen Pfund über 3 Jahre). Um diesem Ziel näher zu kommen; wurden ein Klimaabgabe eingeführt und ein „Carbon Trust“ eingerichtet, der als Technologiedrehscheibe die Industrie beim Übergang zu erneuerbaren Energieträgern unterstützen soll.

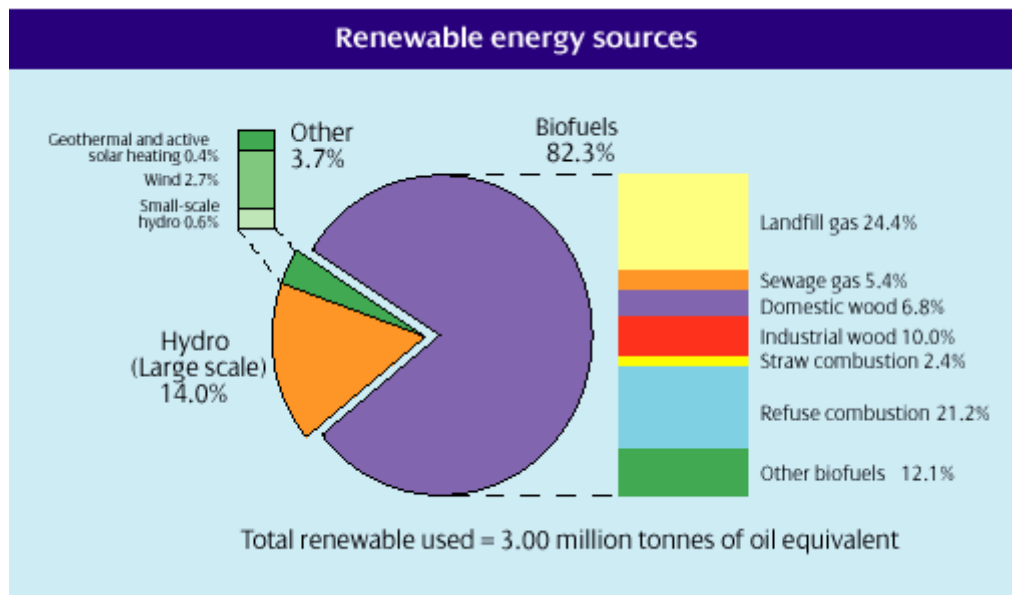
Als Herausforderung und Konflikte für die nächsten Jahren gelten folgende Fakten:

- Sicherheitsbedenken über zusätzliche Treibhausgasanstiege:
- Zu niedrige Energiepreise hemmen die Energieeffizienz:
- Kernkraftwerke werden geschlossen werden:

¹⁵ Matthew Leach vom Imperial College Centre for Energy Policy and Technology verdeutlichte in seinem Referat bei der Climate Change Conference Großbritanniens Anstrengungen zur Forcierung von Technologien mit geringen Kohlenstoffemissionen.

Die folgende Abbildung 12 gibt einen Überblick über das Ausmaß, die Verteilung und die Verwendung von erneuerbaren Energieträgern in Großbritannien. Der Hauptanteil an erneuerbaren Energiequellen entfällt auf Biobrennstoffe (ca. 82,3 %), Wasserkraft hat einen Anteil von ca. 15% , Windkraft von 2,7 %.

Abb. 12. Ausmaß, Verteilung und Verwendung erneuerbarer Energie in UK,
Quelle: DTI 2001, 18.



Leach stellte in seinem Vortrag einige Studien über die Zukunft von Low Carbon Technologien in Großbritannien vor, die anhand von Emissionsszenarien die Anstrengungen zur Erreichung bestimmter Emissionsziele abschätzen:

- Royal Commission on Environmental Pollution (RCEP) (2000): „Energy: the Changing Climate“.
- Interdepartmental Analysts Group (IAG) (2002): „Long-term reductions in greenhouse gas emissions in the UK“.
- PIU Energy Review (2002).

Die RCEP publizierte einen wichtigen Bericht über die langfristigen Herausforderungen der Energie- und Umweltpolitik Großbritanniens, indem sie 87 Empfehlungen abgab, auf die die Regierung zu gegebener Zeit antworten muss. Die Hauptempfehlung sieht bis 2050 eine 60%ige CO₂-Reduktion auf Basis von 1997 vor.

Die IAG wurde eingerichtet, um die Regierung bei ihrer Erwiderung auf den RCEP Bericht zu unterstützen, indem sie die verfügbaren Optionen, die in der Lage sind, diese Reduktion zu erreichen, sowie die damit verbundenen Kosten beleuchtet.

Auf der Arbeit von IAG baut der „Review of long-term energy policy“ von PIU auf, der als Programm in Richtung „low carbon future“ u.a. folgende Schwerpunkte vorsieht:

- Mehr Gewicht auf Energieeffizienz des Endverbrauchs;

- stärkerer Ausbau erneuerbarer Energieträger nach 2010, da so substanzielle Kosteneinsparungen möglich sind;
- Option auf Nuklearenergie soll offengehalten werden;
- langfristige Forcierung der Energieeffizienz von Fahrzeugen und der Entwicklung von Nullemissions-Verbrennungsoptionen.

5.3.3 Mäßigung der Erderwärmung mittels Bioenergie und Biomasse-Produkten

Der folgende Abschnitt gibt einen kurzen Überblick darüber, welche Möglichkeiten Bioenergie und Biomasse bei der Bekämpfung der Erderwärmung bieten.

Zur Verfolgung von Strategien, die Biomasse und Bioenergie forcieren, schlägt Schlamadinger¹⁶ die Anwendung eines Biosphären-Managements vor, das die folgenden drei Elemente umfasst:

- „Conservation Management“: Vermeidung von Emissionen aus der terrestrischen Biosphäre.
- „Substitution Management“: Substitution der fossilen Brennstoffe durch erneuerbare Biobrennstoffe.
- „Sequestration Management“: Anreicherung zusätzlichen Kohlenstoffes in der Biosphäre und in Produkten.

Zwischen der Energieproduktion aus fossilen Brennstoffen und aus Biomasse gibt es einen entscheidenden Unterschied: Die Verbrennung fossiler Brennstoffe setzt CO₂ aus Kohlenstoffreservoirs frei, die Millionen Jahre verschlossen waren. Im Gegensatz dazu setzt die Verbrennung von Biomasse jene CO₂-Menge frei, die während des Pflanzenwachstums absorbiert wurde. Wenn der Zyklus von Pflanzenwachstum und Ernte aufrechterhalten wird, kommt es demgemäß zu keiner Netto-Freisetzung von Kohlendioxid

Die Substitution fossiler Brennstoffe durch Biobrennstoffe stellt daher eine sehr effiziente Maßnahme zur Verringerung der anthropogenen CO₂-Emissionen („Substitution Management“) dar.

Biomasse kann direkt als Heizmaterial genutzt werden oder in Gas, Elektrizität oder flüssige Brennstoffe umgewandelt werden.

Wichtige Biotechnologien sind:

- Wärme und Energiegewinnung durch Verbrennung und Vergasung von festen Biobrennstoffen in Öfen, Wasserdampfsystemen, Gasturbinen und Sterling Maschinen.
- Produktion flüssiger Brennstoffe.

¹⁶ Bernhard Schlamadinger von Joanneum Research in Graz (Referat auf der Climate Change Conference).

- Biodiesel aus ölhaltigen Pflanzen und Küchenrückständen.
- Ethanol aus Stärke, zuckerhaltigen Getreidepflanzen und Lignocellulose.
- Bioöl aus Flash-Pyrolyse von Lignocellulose.

Begrenzt wird die Gewinnung von Bioenergie durch das verfügbare Land und die Menge an Kohlenstoff, die pro Einheit Land bzw. in Produkten gespeichert werden kann.

Im Folgenden soll auf die Anreicherung von Kohlenstoff in der Biosphäre und in Holzprodukten eingegangen werden („Sequestration Management“).

Unter dem Begriff „Senken“ („sinks“) werden Prozesse, Aktivitäten oder Mechanismen subsumiert, die den Anteil an Treibhausgasen in der Atmosphäre vermindern (UNFCCC, 1992).

Die Vegetation bzw. die Wälder tauschen große Mengen an Treibhausgasen mit der Atmosphäre aus. Pflanzen nehmen im Zuge der Photosynthese CO_2 aus der Atmosphäre auf, setzen dabei Sauerstoff und einen Teil des Kohlendioxids frei, halten jedoch ein Reservoir an Kohlenstoff, gebunden in organischen Material, zurück.

Wenn nun Kohlenstoffbestände durch Aufforstung bzw. Wiederaufforstung oder durch veränderte Bewirtschaftung von Ackerland und Wäldern erhöht werden, wird zusätzliches CO_2 aus der Atmosphäre entfernt. Es entsteht eine Kohlenstoffsénke.

Neu angepflanzter Wald stellt jedoch nur in der Wachstumsphase eine Senke dar. Eine obere Grenze kann auch dadurch erreicht werden, dass Verluste durch Respiration, Waldbrände, Stürme und Krankheiten die Kohlenstoffanreicherung durch Photosynthese kompensieren. Auch die Ernte kann die Kohlenstoffanreicherung vermindern: wird eine Waldfläche geerntet und nicht wieder bepflanzt, geht das geschaffene Kohlenstoffreservoir verloren. Der Nutzen, der durch die Substitution fossiler Brennstoffe erzielt wurde, ist jedoch irreversibel.

Wenn aus Holz Holzprodukte hergestellt werden, wird ebenso eine Kohlenstoffsénke geschaffen. Indem nun energieintensive Materialien durch Holzprodukte substituiert werden, können ebenfalls Treibhausgasemissionen reduziert werden.

Das Potential an Bioenergie wird für 2050 auf etwa 200 EJ geschätzt, was zu einer Reduktion/Vermeidung von Emissionen zwischen 1.4 und 4.2 GTC pro Jahr, bzw. zwischen 5% und 25% der für das Jahr 2050 projizierten Emissionen aus fossilen Brennstoffen (IPCC, 2000b) führen könnte.

Bioenergie und Biomasse-Produkte spielen eine große Rolle zur Erreichung des Kyoto-Protokolls, das Verpflichtungen für die Beschränkung des Treibhausgasausstoßes in den Industriestaaten für die Zeit nach dem Jahr 2000 vorsieht (siehe Kapitel 6.2). Maßnahmen zum verstärkten Einsatz von Bioenergie und Biomasse können im Rahmen von Joint Implementation und CDM Projekten (Kapitel 6.2.2) zur Anwendung kommen.

5.3.4 Die Ökonomie von Minderungsmaßnahmen im Bereich Landnutzung

Als Beispiel für einen Sektor, in dem Minderungsmaßnahmen besonders erfolgsversprechend sind, wird der Bereich „Land Use, Land Use Change and Forestry“ (LULUCF) angeführt.

Minderungsmaßnahmen im Bereich der Landnutzung¹⁷ versprechen aufgrund folgender Tatsachen besondere Erfolge:

- Große Mengen an Kohlenstoff sind in der Vegetation und im Boden über lange Zeitperioden gebunden.
- Erhöhte Kohlenstoffbestände in Wäldern beispielsweise erhöhen die Flexibilität unter Unsicherheit.
- Land- und Forstwirtschaft repräsentieren bekannte Technologien und verfügen über einen funktionierenden Rechtsrahmen und politische Institutionen.
- Die Industrien basieren auf erneuerbaren Ressourcen.

Die Ökonomie bietet im Bereich „Land Use, Land Use Change and Forestry“ (LULUCF) Hilfe bei der Lösung des Allokationsproblems von knappen Ressourcen und stellt Methoden und Werkzeuge für eine interdisziplinäre Analyse zur Verfügung. Konkret werden folgende Aufgaben übernommen:

- Partial- oder Projektanalyse (Rentabilitätsanalyse, Kosteneffizienz, Kosten-Nutzen-Analyse).
- Gleichgewichtsanalyse (Sektorenanalyse, Input-Output-Modelle, Allgemeine Gleichgewichtsmodelle).
- Entscheidende Rolle beim Design und der Entwicklung politischer Maßnahmen (CDM, handelbare Zertifikate, Steuern, etc.).

Die genannten ökonomischen Anwendungsmöglichkeiten können mit praktischen Beispielen aus der Forstwirtschaft belegt werden, die jedoch nicht in diesem Bericht näher erläutert werden.

Ein entscheidendes Thema in der Ökonomie der Landnutzung stellt die zeitliche Diskontierung dar. Bei der zeitlichen Diskontierung werden zukünftige Kosten und Erträge von Projekten auf einen Zeitpunkt abgezinst, wodurch es möglich wird, alternative, zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallende Projekte zu vergleichen. Die Höhe der Diskontrate gibt an, wie stark die Gegenwart gegenüber der Zukunft bevorzugt wird. Die Zulässigkeit der Diskontierung lässt sich aufgrund von Diffusionsvorgängen und zukünftigen technologischen

¹⁷ Hans Fredrik Hoen, vom Department of Forest Sciences, Agricultural University of Norway (AUN) verdeutlichte, warum gerade im Bereich der Landnutzung Minderungsmaßnahmen von Interesse sind und welche Rolle Ökonomen bei der Wahl der geeigneten Maßnahmen spielen.

Entwicklungsmöglichkeiten, die in Zukunft eine kostengünstigere Schadensbehebung ermöglichen, begründen. Mit Hilfe der Diskontierung soll über die Zeit ein höherer Ertrag erzielt werden.

Zukünftigen Möglichkeiten und Richtungen zum verstärkten Einsatz von Minderungsstrategien sieht Hoen in folgenden Bereichen:

- Vermehrter Einsatz von CDM;
- Anwendung von Modellen, die Veränderungen in der Landnutzung in umfassende ökonomische Modelle integrieren;
- Hilfestellung bei kollektiven Entscheidungen im Umgang mit der Atmosphäre als öffentlichem Gut;
- Einwirken auf die Effekte des Klimawandels (Feedback und Interaktion).

5.4 Instrumente der Klimapolitik

Zur Umsetzung von Klimaschutzstrategien stehen verschiedene Instrumente zur Verfügung:

- Auflagen, Ge- und Verbote;
- marktwirtschaftliche Instrumente (CO₂-Steuer, handelbare Emissionszertifikate, Subventionen); und
- freiwillige Vereinbarungen.

Die politischen Entscheidungsträger sind mit der Herausforderung konfrontiert, die externen Schäden durch den Klimawandel bestmöglich zu erfassen, um sie in weiterer Folge durch geeignete Instrumente internalisieren zu können. Aufgrund der Komplexität des Klimawandel-Problems liegt die Anwendung eines ausgewogenen Portfolios an Maßnahmen (Mix von Regulierungen, Steuern, Emission Trading und öffentlichen Ausgaben) nahe. Da Umweltprobleme sehr stark interagieren, kann die Lösung eines Problems bzw. die Anwendung eines bestimmten Instruments negative Auswirkungen auf die Lösung anderer Probleme haben.

Anreizorientierte Instrumente, wie Emissionssteuern und handelbare Emissionszertifikate, weisen gegenüber Auflagen folgende Vorteile auf:

- Über den Preismechanismus werden Anreize zu umweltfreundlichen Verhalten gegeben;
- Kosteneffizienz;
- Innovationsdynamik;
- Erlöse können zur Kompensation der Verlierer verwendet werden;
- bürokratischer Aufwand geringer;
- Verursacherprinzip (anstatt der öffentlichen Hand soll der Verursacher eines Schadens für die Schadensvermeidung aufkommen).

Die Umsetzung des Verursacherprinzips setzt die Internalisierung externer Schäden voraus. Diese Internalisierung kann mit Hilfe der „**Pigousteuer**“ erreicht werden, welche die Erreichung eines optimalen Schadensniveaus ermöglicht. Im theoretischen Idealfall ist die Steuerhöhe dann optimal, wenn sie dem Grenzscha-den, den der Verursacher einer Externalität hervorgerufen hat, entspricht.

Eine praktische Anwendung des Pigou-Ansatzes zur Lösung des Klimaproblems ist allerdings mit Problemen behaftet, da unter anderem die monetäre Bewertung externer Schäden (z. B. Artenschwund) schwierig ist und in der Realität die Grenzkosten von Emissionsreduktionen nicht bekannt sind. Daher sollte in der Praxis die richtige Steuerhöhe mit Hilfe eines iterativen Prozesses herausgefunden werden.

Als klimapolitisches Instrument ist die CO₂-Steuer in der Lage, einen zusätzlichen positiven Effekt zu lukrieren. Durch die Einführung einer CO₂-Steuer, die die externen Kosten der CO₂-Emissionsschäden den Verursachern anlastet, werden auch Erlöse realisiert, die genutzt werden können, um beispielsweise verzerrende Steuern (welche sind das???) zu senken. Diese Idee einer „Doppelten Dividende“ geht auf Pearce (1991) zurück und folgt dem Pigousteuer-Ansatz.

Eine reizvolle Alternative zu Abgabensystemen, die ebenfalls Kosteneffizienz gewährleisten, stellen **handelbare Emissionszertifikate** dar.

Durch den Handel mit Emissionsrechten soll auf kostenminimale Weise ein vorher definiertes Emissionsreduktionsziel erreicht werden. Jeder Emittent muss für die von ihm verursachte Einheit an Verschmutzung über ein Zertifikat verfügen. Verbraucht ein Lizenznehmer nicht alle Zertifikate, kann er diese an andere Teilnehmer verkaufen, die einen Überschuss an Verschmutzung zu decken haben.

Durch den Handelsmechanismus bildet sich automatisch ein Marktpreis für die Emissionszertifikate heraus, der die Kosten der Verschmutzungsreduktion reflektiert. Jeder Emittent kann für sich entscheiden, ob für ihn die Verringerung der Verschmutzung durch Reduktionsmaßnahmen oder der Kauf von Zertifikaten für den Emissionsausstoß günstiger ist.

Die Verteilung der Zertifikate kann auf zwei Wegen erfolgen:

- „Grandfathering“: kostenlose Verteilung an die Firmen, basierend auf den Emissionen in der Vergangenheit;
- „Auctioning“: Versteigerung der Zertifikate, wodurch Erlöse entstehen.

Handelbare Emissionszertifikate bauen wie der Pigousteuer-Ansatz auf der Annahme eines perfekten Zertifikatemarktes auf:

- vollkommener Wettbewerb;
- symmetrische Informationsverteilung;

- keine Transaktionskosten.

Dem Konzept des Emission Trading kommt in bezug auf die Reduktion von „Mitigation Costs“ besondere Bedeutung zu, da verschiedene Schätzungen Kosteneinsparungen von bis zu 50 % prognostizieren.

Der CO₂-Emissionshandel hat bislang noch keinen rechtlich verbindlichen Charakter, weil das Kyoto-Protokoll noch nicht ratifiziert ist. Die bisherigen Bemühungen passieren auf freiwilliger Basis. Daher existiert auch kein einheitlicher „Carbon Market“, sondern viele Märkte auf unterschiedlichen Ebenen:

- Internationale Vorbereitungen;
- nationale und regionale Märkte (Großbritannien, Dänemark, EU-Vorschlag, etc.);
- subnationale Märkte (US Staaten, NSW-Australien);
- Körperschaften (internationale Trading Systeme);
- Einzelhandel oder konsumgesteuert;
- verwandte Märkte (Zertifikatshandel für erneuerbare Energieträger).

Bis zum Jahr 2012 wird aber ein Zusammenrücken dieser multiplen Ausgestaltungen zu einem größeren Internationalen Markt, einem U.S.-Markt und einem steigenden Markt für erneuerbare Energieträger erwartet.

Die derzeitigen Markttransaktionen finden hauptsächlich in Industriestaaten statt. Mit der Wahl des Executive Board des CDM¹⁸ bei der COP7 in Marrakesch wurde aber auch der Start von Projekten des Clean Development Mechanisms (CDM)¹⁹ forciert.

Mögliche Gestaltungsmerkmale eines internationalen Emission Trading Systems werden im folgenden mit Hilfe des EU-Vorschlages eines Emission Trading Systems erklärt.

5.4.1 Emission Trading in der Europäischen Union

Emission Trading ist im Kyoto-Protokoll als „flexibler Mechanismus“ zur Erreichung der Emissionsreduktionsziele angeführt. Die Europäische Kommission hat daher einen Vorschlag eines Emission Trading Systems (EC 2001) vorgelegt und strebt dessen Einführung im Jahr 2005 an.

Covery (2002) weist darauf hin, dass der Kommissionsvorschlag, der dem „Green paper on greenhouse gas emission trading within the EU“ folgt, viele gute Gestaltungsmerkmale aufweist, von denen einige im folgenden erläutert werden.

¹⁸ Das Executive Board des CDM stellt für die im Rahmen von CDM-Projekten erzielten Emissionsreduktionen Zertifikate aus.

¹⁹ Zum CDM siehe Kapitel 6.2.2 „Kyoto-Mechanismen“

Die Teilnahme am Emissionshandel ist für alle CO₂-emittierenden Sektoren verpflichtend. Nur der chemische Sektor (da er einen relativ geringen Anteil an CO₂-Emissionen, aber eine Vielzahl von kleineren Fabriken aufweist) und Müllverbrennungsanlagen (zu komplexe Messung der CO₂ Emissionen notwendig) sind von der Teilnahme ausgeschlossen (vgl. EC 2001).

Die Einführung erfolgt EU-weit, dadurch wird garantiert das der Markt groß und tief genug ist. Für eine kostenminimale Lösung ist es notwendig, dass die verschiedenen Emittenten unterschiedliche Vermeidungsgrenzkosten aufweisen. Nur so wird gewährleistet, dass sich ein Markt bildet, auf dem Emittenten mit hohen Vermeidungskosten Zertifikate nachfragen können und Akteure mit niedrigen Vermeidungskosten ihre nicht benötigten Zertifikate anbieten können. Die Kosten für die Vermeidung von CO₂ sind zwischen den Ländern und Sektoren sehr unterschiedlich. Der Emissionshandel sorgt dafür, dass genau dort die Emissionsbelastung reduziert wird, wo dies zu geringsten Kosten erfolgt (vgl. Covery 2002).

Aufgrund der großen Anzahl teilnehmender Firmen und Sektoren kann auch der Anforderung nach vollkommener Konkurrenz weitgehend entsprochen werden, da die Gefahr von Eintrittsbeschränkungen und Marktmacht sinkt.

Die Vergabe der Verschmutzungsrechte erfolgt „downstream“ an die Energienutzer und Energieumwandler, nicht an die Energieanbieter und –importeure. Zwar sind durch die „downstream“-Variante die Transaktionskosten aufgrund der höheren Anzahl von Adressaten etwas höher, die Gefahr von geheimen Absprachen jedoch weitaus geringer.

Das Emission Trading System der EU ist als „cap and trade“ gestaltet: cap bedeutet, dass der Staat jedem Emittenten ein Verschmutzungskontingent (Lizenz zum Emissionsausstoß) zuteilt, das ein Erreichen des gewählten Zieles gewährleistet. Danach können die Lizenzinhaber handeln. Sie haben die Möglichkeit, ihre Verschmutzungsrechte zu verkaufen, wenn der erwartete Erlös daraus höher ist als die Investitionen zur Verringerung der Umweltbelastung. Ebenso können sie zusätzliche Lizenzen erwerben, wenn der zusätzliche Emissionskauf billiger kommt als die Reduktion des Emissionsaustausches.

Durch die vorgesehene Verhängung von angemessenen Strafen, wenn ein Emittent nicht die notwendigen Emissionsrechte hält, wird ein Anreiz gegeben, die notwendigen Emissionsrechte tatsächlich zu erwerben.

Die EU-Mitgliedsstaaten können selbst darüber entscheiden, wie sie die Emissionskontingente innerhalb ihres Landes auf einzelne Sektoren verteilen, müssen sich jedoch an gewissen Richtlinien orientieren.

Ein kontroverses Thema unter Ökonomen stellt die geplante Gratisvergabe der Zertifikate (zumindest in den ersten drei Jahren) dar, die zwar die Wahrscheinlichkeit einer breiteren Akzeptanz unter den Betroffenen erhöht, jedoch auch große Erlöseinbußen für die Volkswirtschaft bedeutet.

Insgesamt verspricht sich Covery von der Implementierung des EU-Vorschlages wichtige Impulse für einen globalen Stabilisierungsprozess.

Auch auf österreichischer Ebene wird die Etablierung eines nationalen Emission Trading Systems diskutiert. Ein nationales Pilotsystem wird als praktische Vorbereitung für den Handel in einem EU-internen System und auf internationaler Ebene in der Verpflichtungsperiode 2008-2012 gewertet, das auch Anreize für frühzeitige technologische Maßnahmen gibt (vgl. BMLFUW 2002).

6 Politische Aspekte des Klimawandels

Da der Klimawandel ein globales Problem darstellt, müssen auch globale Lösungswege gefunden werden. Auf internationaler Ebene geht es daher darum, mit Hilfe eines internationalen Vertragssystems das Ziel der Stabilisierung bzw. Reduktion der Treibhausgasemissionen festzulegen. Auf nationaler Ebene liegt die Aufgabe der beteiligten Länder darin, die im internationalen Staatenverbund festgelegten Ziele durch geeignete Strategien und Maßnahmen umzusetzen.

6.1 United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

Um dem drohenden Klimawandel zu begegnen wurde auf dem Umweltgipfel der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro 1992 die **Klimarahmenkonvention** (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) verabschiedet, die 1994 in Kraft trat²⁰. Ziel der Konvention ist es, die Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu stabilisieren, auf dem Gefahren für das Klimasystem verhindert werden. Die Einhaltung des Übereinkommens wird von der Vertragsstaatenkonferenz (Conference of the Parties – COP) überwacht.

Die Vertragsstaatenkonferenz ist das höchste Gremium der Klimarahmenkonvention. Die meisten Staaten der Welt nehmen daran teil. Bei den jährlich stattfindenden Zusammenkünften soll die Umsetzung der Klimakonvention gefördert und überprüft werden.

Die erste Vertragsstaatenkonferenz (COP1) fand 1995 in Berlin statt. Es folgten 1996 Genf (COP 2), 1997 Kyoto (COP 3), 1998 Buenos Aires (COP 4), 1999 Bonn (COP 5), 2000 Den Haag (COP 6), im Juli 2001 Bonn (COP 6-Teil2) als Fortsetzung der in Den Haag unterbrochenen Konferenz, und im November 2001 Marrakesch (COP 7). Die nächste Vertragsstaatenkonferenz (COP8) wird im November 2002 in Indien stattfinden.²¹

Mit dem SBI (Subsidiary body for implementation) und dem SBSTA (Subsidiary body for scientific and technical advice) verfügt die Vertragsstaatenkonferenz über zwei Unterorgane, die bei der COP1 1995 eingerichtet wurden und die Beschlüsse der COP vorbereiten. Diese Unterorgane tagen gewöhnlich zweimal jährlich. Der SBSTA ist für die wissenschaftliche und technische Beratung zuständig, indem sie Informationen und Gutachten über den Fortschritt und die Entwicklung in Klimafragen zur Verfügung stellt. Der SBI unterstützt die

²⁰ Farhana Yamin von der Foundation for International Environmental Law and Development referierte über die United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).

²¹ Die Ergebnisse der einzelnen Vertragsstaatenkonferenzen können auf der ACCC-Homepage (www.accc.gv.at) nachgelesen werden.

Vertragsstaatenkonferenz bei der Umsetzung der Konvention und der Kontrolle der Umsetzung.

Das 1996 in Bonn eingerichtete Sekretariat der Klimarahmenkonvention bereitet Konferenzen der Vertragsstaaten und andere Expertentreffen, auf denen die nationalen Maßnahmen zur Eindämmung des Ausstoßes von Treibhausgasen überprüft werden, fachlich und organisatorisch vor.

Ein weiteres wichtiges Element der Klimakonvention stellen die Berichtspflichten der Vertragsstaaten dar. In unregelmäßigen Abständen müssen Nationale Klimaberichte an das Sekretariat der UNFCCC geliefert werden. Bisher gibt es drei Berichte von den Annex-I-Staaten, die u.a. über die Treibhausgas-Emissionen, die nationalen Maßnahmen zur Reduktion, die Aktivitäten zur Unterstützung der Entwicklungsländer und die Emissionsprognosen Aufschluss geben sollen.

Die Klimakonvention bildet lediglich den Rahmen der Klimapolitik, die inhaltliche Gestaltung bleibt offen. Im Dezember 1997 wurde daher das **Kyoto-Protokoll** zur Klimarahmenkonvention verabschiedet, das erstmals rechtlich verbindliche Verpflichtungen für die Beschränkung des Treibhausgasausstoßes in den Industriestaaten für die Zeit nach dem Jahr 2000 vorsieht.

6.2 Kyoto-Protokoll

Das Kyoto-Protokoll ist eine internationale Absichtserklärung ohne völkerrechtliche Auswirkungen und tritt 90 Tage nach der Ratifikation durch mindestens 55 Vertragsparteien in Kraft, die mindestens 55 Prozent der gesamten Kohlendioxidemissionen der Industrieländer des Jahres 1990 einschließen. Da die USA als Hauptverursacher des weltweiten CO₂-Ausstosses im März 2001 von einer Ratifizierung abgegangen ist, wurde die Frage nach der Zukunft dieses Protokolls zunehmend unsicherer. Um das Kyoto-Protokoll auch ohne die USA voranzubringen, ist deshalb eine enge Zusammenarbeit der Europäischen Union mit Japan und Russland unerlässlich. Die EU und Japan haben das Kyoto-Protokoll bereits ratifiziert, Russland jedoch noch nicht.

6.2.1 Reduktionsverpflichtung

Bei der dritten Vertragsstaatenkonferenz in Kyoto 1997 kamen die Industrieländer überein, Begrenzungs- und Reduktionsverpflichtungen für die sechs wichtigsten klimaschädlichen Gase zu akzeptieren. Für die Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Distockstoffoxid (Lachgas) ist im Kyoto-Protokoll eine Verringerung um durchschnittlich 5,2 Prozent bis zum Zeitraum 2008-2012 im Vergleich zu den Emissionen von 1990 vorgesehen. Dieses Ziel soll mit unterschiedlichen Beiträgen der Industrieländer erreicht werden, Entwicklungsländer sind von der Reduktionsverpflichtung ausgenommen. Tab. 2 gibt einen Überblick über die im Kyoto-Protokoll vereinbarten Reduktionsziele.

Tab. 2. Menge an erlaubten Treibhausgasemissionen der Industrieländer 2008/12 nach dem Kyoto-Protokoll (im Vergleich zum Referenzjahr 1990), Quelle: UNFCCC 1997.

Australia	108	New Zealand	100
Bulgaria	92	Norway	101
Canada	94	Poland	94
Croatia	95	Lithuania	92
Czech Republic	92	Monaco	92
Estonia	92	Romania	92
European Community	92	Russian Federation	100
Finland	92	Slovakia	92
Hungary	94	Slovenia	92
Iceland	110	Switzerland	92
Japan	94	Ukraine	100
Latria	92	USA	93

Die Europäische Union beispielsweise hat sich zu einer Reduktion von acht Prozent bis 2008/12 im Vergleich zu 1990 bereiterklärt. Innerhalb des „EU burden sharing agreement“ hat Österreich eine Reduktionsverpflichtung von 13 Prozent übernommen. Obwohl die Österreichische Klimapolitik durch ambitionierte Ziele bestimmt ist, ist man derzeit weit davon entfernt, den Reduktionserfordernissen des Kyoto-Protokolls nachzukommen. Der Trend steigender CO₂-Emissionen von 5,9 % zwischen 1990 bis 1999 zeigt dies deutlich. (vgl. Umweltbundesamt 2001).

Bezüglich der Überwachung, ob ein Land seine Reduktionsverpflichtung auch einhält, ergibt sich das Problem, dass eine strenge Kontrolle in die Souveränität der Staaten eingreift, eine schwache Kontrolle jedoch dem Klimaschutz entgegenwirkt. Als Kompromisslösung entfallen Strafen für Klimasünder, wer seine Reduktionsverpflichtungen jedoch nicht erfüllt, muss das nachholen und für seine verursachten Umweltschäden aufkommen.

6.2.2 Kyoto Mechanismen

Im Kyoto-Protokoll werden neben der Festlegung der Reduktionsziele für die einzelnen Länder auch die sogenannten **flexiblen Mechanismen** angeführt, die auf kosteneffiziente Weise zur Erreichung dieser Ziele beitragen sollen. Unter flexiblen Mechanismen werden jene marktwirtschaftlichen Instrumente verstanden, die es den Industriestaaten ermöglichen, einen Teil ihrer Verpflichtungen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen durch Aktivitäten in anderen Ländern bzw. durch den Handel von Emissionsrechten einzulösen. Neben dem bereits im Kapitel 5.4.1 vorgestellten **Emission Trading** wurden als flexible Mechanismen

der „Clean Development Mechanism“ (CDM) und das „Joint Implementation“ (JI) vorgesehen.

Im Rahmen des **Clean Development Mechanism** können Industriestaaten Treibhausgasemissionen durch Projekte in Entwicklungsländern vergleichsweise kostengünstig vornehmen und dafür national anrechenbare Reduktionszertifikate (sog. Credits) erwerben.

Mit Hilfe der **Joint Implementation** kann in projektbezogenen Kooperationen mit anderen Industriestaaten die Reduktion von klimarelevanten Schadstoffen erreicht werden. Länder mit hohen Emissionsreduktionskosten können mit Ländern, die niedrigere Reduktionskosten aufweisen, kooperieren und für die entstehende Absenkung der Treibhausgasemissionen „credits“ erhalten, die für die Erreichung der nationalen Reduktionsziele anrechenbar sind.

Aufgrund des globalen Charakters der Treibhausgasemissionen bieten diese flexiblen Mechanismen eine gute Hilfe bei der Schaffung eines internationalen Marktes.

Bisher wurde der Handel mit Emissionsrechten im Kyoto-Protokoll nur zwischen den Industrieländern vereinbart, da sich die Entwicklungsländer gegen eine verbindliche Verpflichtungen zur Reduktion von CO₂-Emissionen mit dem Argument gewehrt haben, die Opfer und nicht die Verursacher des Klimawandels zu sein. Aufgrund der Tatsache, dass viele Entwicklungsländer (z. B. China) bereits in näherer Zukunft zu Hauptverursachern von Treibhausgas-Emissionen zählen werden, erscheint eine Einbeziehung der Entwicklungsländer vernünftig, müsste aber mit einem besseren Zugang zu Technik und Kapital garantiert werden (vgl. BMLFUW 2002).

6.2.3 Die Bedeutung von LULUCF (Land use, Land use Change and Forestry) für das Kyoto Protokoll

Dem Bereich „Land Use, Land Use Change and Forestry“ (LULUCF) kommt wegen der sogenannten „Senken“ besondere Bedeutung innerhalb des Kyoto-Protokolls zu. Unter Senken sind die Möglichkeiten zu verstehen, mit denen Kohlenstoff langfristig getrennt von der Erdatmosphäre gebunden werden kann, wie etwa das Anlegen neuer Wälder. Senken stellen das potentiell größte Schlupfloch des Kyoto-Protokolls dar.

Durch Photosynthese und Atmung wandeln Wälder atmosphärisches CO₂ in Biomasse um und reduzieren dadurch die Konzentration dieses Treibhausgases in der Atmosphäre²². Wälder sind aufgrund ihrer großen Menge an Biomasse ein bedeutender Kohlenstoffspeicher. Neben den Pflanzen trägt auch das tote Pflanzenmaterial (Bodenhumus) zur Kohlenstoffspeicherung bei.

²² Melvin Cannell vom Centre for Ecology and Hydrology Bush Estate, referierte im Rahmen der Climate Change Conference über die Minderung der Erderwärmung durch Forstmanagement.

Wachsende Wälder stellen Kohlenstoffsinken dar. Werden sie jedoch in ihrer Funktion gestört (z. B. durch Abholzung oder Kultivierung von Ländflächen), verändern sie sich zu Kohlenstoffquellen. Eine Veränderung der Landnutzung kann nur dort aus Kohlenstoffquellen wieder Senken machen, wo Kohlenstoffspeicher bereits in der Vergangenheit erschöpft wurden.

Der Kohlenstoffbestand und die Kohlenstoffflüsse der Wälder werden durch den Klimawandel deutlich beeinflusst, da sich eine höhere Temperatur positiv auf das Wachstum auswirkt. Auch eine Veränderung der Niederschlagsmuster (z.B. Wetterextreme) und der Niederschlagsverteilung während des Jahres beeinflussen das Wachstum.

In einem stabilen Klima ist die durchschnittliche Menge an gespeichertem Kohlenstoff im Gleichgewicht. Es gibt jedoch sehr starke Schwankungen um diesen Gleichgewichtswert.

Durch Forstmanagement können nun die Kohlenstoffspeicher der Wälder stärker an ihren Gleichgewichtswert herangeführt werden und dadurch Kohlenstoff gespeichert werden, es handelt sich dabei um Maßnahmen wie Feuerkontrollen, Schutz des Waldes vor Krankheiten und Unterstützung bei der Regeneration.

Die Anrechenbarkeit von Wäldern, forstwirtschaftlichen Aktivitäten und Landnutzungsänderungen spielen eine große Rolle im Kyoto-Protokoll:

Gemäß Art. 3.3 des Kyoto Protokolls werden Quellen und Senken aus LULUCF dann angerechnet, wenn sie direkt aus den menschlichen Aktivitäten „Aufforstung“, „Wiederaufforstung“ und „Entwaldung“ seit 1990 resultieren und wenn sie als nachprüfbare Bestandsänderung der Kohlenstoffvorräte im Vergleichszeitraum 2008 bis 2012 messbar sind.

Laut Art. 3.4. können auch menschliche Aktivitäten in den Bereichen Landwirtschaft, Landnutzungsänderung und Forstmanagement, die eine Änderung der Treibhausgas-Emissionen zur Folge haben, als Quellen oder Senken ab der zweiten Verpflichtungsperiode einbezogen werden.

Das Potential zur Anrechnung der Wälder nach Art. 3.3. wird wie folgt geschätzt (vgl. IPCC 2001):

Annex I -Länder:

- Aufforstung und Wiederaufforstung: 7- 46 Mt Kohlenstoff pro Jahr;
- Abholzung: 90 Mt Kohlenstoff pro Jahr;
- (Annex I -Reduktionsziel 187 Mt Kohlenstoff).

Global:

- Aufforstung und Wiederaufforstung: 197 - 584 Mt Kohlenstoff pro Jahr;
- Abholzung: -1.788 Mt Kohlenstoff pro Jahr.

Die Frage der Anrechenbarkeit von forstwirtschaftlichen Aktivitäten und Landnutzungsänderungen war ein großer Streitpunkt der letzten Klimakonferenzen. Während die Befürworter einer möglichst hohen Anrechenbarkeit von Waldprojekten auf die Kostenvorteile gegenüber Energieprojekten verweisen, sehen die Gegner große Probleme bei der Überprüfbarkeit des Speichererfolges und verweisen zusätzlich auf die Gefahr der Reversibilität. Durch Waldbrand oder Abholzung können die erzielten Erfolge sehr schnell wieder zunichte gemacht werden.

Dennoch konnte auf der Klimakonferenz von Marrakesch (COP7) eine Einigung erzielt werden. Für alle wichtigen Punkte wurden Definitionen festgeschrieben, die im Detail aber noch viele heikle Punkte offen lassen. So wurde z.B. der Wald, angelehnt an die Definition der FAO, als Fläche definiert, die zwischen 0,05 und 1,0 Hektar groß und zu 10 - 30 % bedeckt ist und auf der Bäume im ausgewachsenen Stadium mindestens eine Höhe von 2 – 5 Meter erreichen müssen.

Die in Marrakesch festgelegte Anrechnung von Senken durch Maßnahmen im Forstbereich ist sehr großzügig ausgefallen und macht einen erheblichen Teil der Reduktionsverpflichtung aus. Die für jedes Land individuell bestimmten Obergrenzen erlauben insgesamt eine Anrechnung von 169 Mt Kohlenstoff pro Jahr und reduzieren das Kyoto-Emissionsreduktions-Ziel der Annex-I-Länder von 5,2% auf 1,8 % unter das Basisjahr 1990.

Senkenleistungen sollen als Differenz des Kohlenstoffgehaltes zu Beginn und spätestens am Ende der Verrechnungsperiode bestimmt werden. Da in dieser Beziehung noch viele wissenstechnische Fragen offen sind, war eine Einigung nur möglich, indem der IPCC gebeten wurde, zu diesen kritischen Fragen weiteren Input für einen geregelten Entscheidungsprozess zu liefern.

Für jede inländische Landfläche, für die einmal eine Senkenleistung bestimmt worden ist, muss in allen weiteren Verrechnungsperioden über die Senken- und Quellenleistung abgerechnet werden.

Klar festgehalten wurde auf der COP7 in Marrakesch auch, dass durch die Anrechnung von Senken die Bemühungen, Emissionen fossiler Energieträger zu reduzieren, nicht unterwandert werden dürfen und dass es notwendig ist, die bestehenden Wirtschaftssysteme zu restrukturieren.

6.3 „Strategien und Maßnahmen zur Verringerung des Klimawandels in Europa und der OECD

Nach dem Kyoto-Protokoll ist die EU verpflichtet, bis zum Zeitraum 2008-2012 ihre Treibhausgas-Emissionen auf ein Niveau zu senken, das 8 % unter dem Stand von 1990 liegt. Die folgende Abbildung 13 zeigt, dass die CO₂-Emissionen im Jahr 2000 stark über jenen liegen, die eine Erreichung des Kyoto-Ziels gewährleisten würden.

Abb. 13. EU-Treibhausgasemissionen gesamt in Bezug auf das Ziel von Kyoto,
Quelle: EEA 2002.

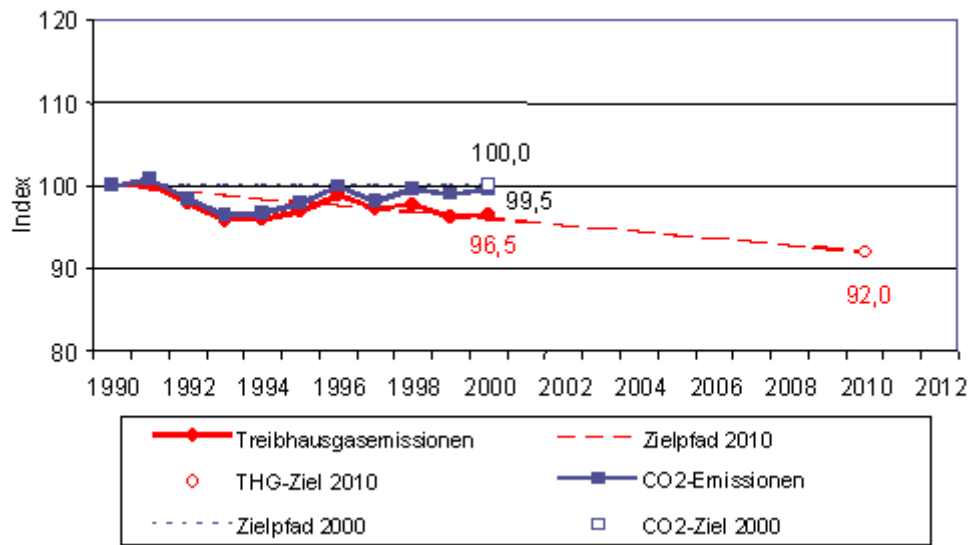
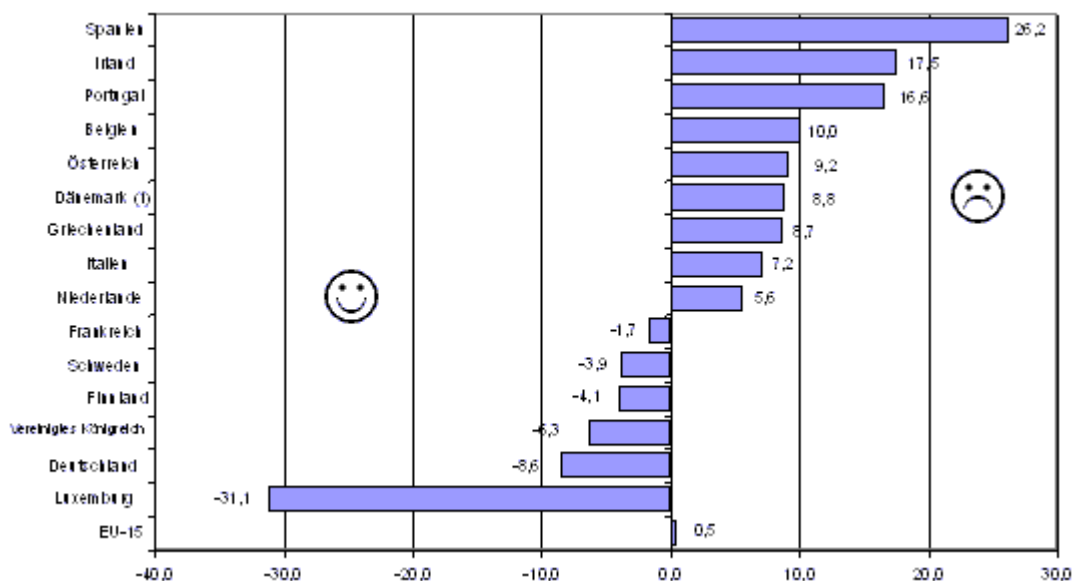


Abb. 14. Entfernung der EU-Staaten vom Kyoto-Ziel nach der EU-Lastenteilungsvereinbarung im Jahr 2000, Quelle: EEA 2002.



Aus dieser Grafik lässt sich erkennen, dass mehr als die Hälfte der EU-Länder ihren vereinbarten Anteil am Stabilisierungsziel für Treibhausgase in der EU weit überschreiten. Dies trifft auf Österreich, Belgien, Dänemark, Griechenland, Irland, Italien, die Niederlande, Portugal und Spanien zu.

Unter den Ländern, die eine Unterschreitung aufweisen, kann Deutschland mit einem Rückgang von 19,1 % innerhalb der vergangenen 10 Jahre von den großen Mitgliedstaaten auf die höchste Emissionsreduzierung verweisen.

Die EU hat 2000 das **European Climate Change Programme** (ECCP) vorgestellt, mit dessen Hilfe die Verpflichtungen der EU-Mitgliedstaaten zur Verminderung der Treibhausgase nach dem Kyoto-Protokoll von 1997 schneller erfüllt werden sollen. Arbeitsgruppen für verschiedene Problembereiche (Energie, Verkehr, Industrie, Landwirtschaft, etc.) haben die Aufgabe, ökologische und kostenspezifische Auswirkungen von Politiken und Maßnahmen zu bewerten.

Während die westlichen Industriestaaten in der 90er Jahren kaum Erfolge in der Reduktion der Treibhausgase verzeichnet haben (USA, Kanada und Australien haben sogar Zuwächse von über 10 %), sind in den Transformationsstaaten aufgrund des wirtschaftlichen Einbruchs markante Rückgänge der Treibhausgas-Emissionen festzustellen.

Die USA als größter CO₂-Emittent weist einen Anteil an den weltweiten CO₂-Emissionen im Jahre 2000 von einem Viertel auf. Von den großen Ländern haben die USA mit mehr als 20 t CO₂ die weitaus höchsten Emissionen je Einwohner und Jahr; in Deutschland sind es rund 10

t und in der EU 8 Tonnen. Die Pro-Kopf-Emissionen im weltweiten Durchschnitt belaufen sich auf etwas weniger als 4 Tonnen²³.

Nach der Darstellung der Emissionssituation folgte ein Überblick über emissionsmindernde Maßnahmen, die bislang in den IEA-²⁴ und OECD-Staaten getätigt wurden (vgl. IEA 2001).

Abgabenlösungen wurden bereits in vielen IEA Ländern implementiert:

- CO₂-Steuer: Dänemark, Finnland, Frankreich, Italien, Norwegen, Niederlande, Schweiz.
- Energiesteuer: Tschechien, Deutschland, Niederlande Großbritannien.

Allerdings variiert die Steuerhöhe zwischen den einzelnen Ländern erheblich (z. B. Schweiz \$ 125/t CO₂, Finnland \$ 19/t CO₂). Auch gibt es beachtliche Unterschiede bezüglich der Besteuerungsgegenstände und zahlreiche Steuerbefreiungen.

Große Anwendung findet auch die Gewährung von Steuerguthaben („tax credits“) für ein gewünschtes Verhalten.

Einige Staaten haben außerdem bereits Emission Trading Systeme eingeführt bzw. planen deren Einführung. Die diesbezüglichen Anstrengungen der EU wurden bereits erläutert.

Die bisher unternommenen Bemühungen der OECD-Staaten zur Implementierung treibhausmindernder Maßnahmen legen folgende Schlussfolgerungen nahe (vgl. IEA 2001):

- Die unternommenen Anstrengungen decken alle Sektoren und alle Treibhausgase ab.
- Es lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Kostenschätzungen und politischen Entscheidungen erkennen.

²³ Diese Darstellung geht auf den Vortrag von Michael Grubb vom Imperial College bei der Climate Change Conference zurück, der über die bereits unternommenen Anstrengungen der EU und der OECD-Staaten zur Verringerung des Klimawandels referierte.

²⁴ Die Internationale Energie Agentur (IEA) ist eine autonome Einheit der OECD. Sie wurde 1974 gegründet und umfasst Mitgliedsstaaten. Ihre Ziele umfassen die Entwicklung eines abgestimmten Vorgehens und Krisenmanagements bezüglich der Sicherung der Ölversorgung und die Entwicklung und Verbreitung von neuen Energietechnologien und effizienten Endverbrauchstechnologien.

- In den einzelnen Ländern werden ähnliche Maßnahmen benutzt, deren Details in der Implementierung jedoch substantiell divergieren.
- Das Minderungspotential der Maßnahmen ist nach wie vor unbestimmt, aber gegenwärtige Trends legen den Schluss nahe, dass die unternommenen Anstrengungen nicht ausreichen, um das Emissionswachstum zu stoppen.
- Die Kriterien, die die politische Entscheidung beeinflussen, sind ökonomische Effizienz, ökologische Wirksamkeit, politische Durchsetzbarkeit, einfache Administrierung und geringe Nebenwirkungen auf andere politische Ziele.

7 Resümee

Der unmittelbare Zusammenhang zwischen dem Anstieg der Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre und dem Anstieg der durchschnittlichen Temperatur der Erde wird bereits von vielen Wissenschaftlern außer Streit gestellt. Die internationale Politik steht vor der großen Herausforderung, diesen Trend zu stoppen, in dem sie geeignete Lösungen zur Reduktion von Treibhausgasen bereitstellt.

Mit dem Abschluss der Klimakonvention und dem Kyoto-Protokoll, in dem erstmals quantitativ verbindliche Reduktionsziele für Treibhausgase vereinbart wurden, sind wichtige Eckpfeiler einer gemeinsamen Initiative festgelegt worden. Die Umsetzung und Implementierung der im Kyoto-Protokoll vorgesehenen Reduktionsziele darf jedoch nur als erster Schritt zu weiteren engagierten Aktionen verstanden werden, um einen wirtschaftlich und sozial verträglichen Klimaschutz voranzutreiben. Um die prognostizierte globale Erwärmung mit ihren negativen Begleiterscheinungen für Mensch und Natur eindämmen zu können, sind jedoch weitere internationale Vereinbarungen in der Zukunft unumgänglich.

8 Literatur:

- BMLFUW (2002). Strategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels – Klimastrategie 2008/12, Wien.
- Bruckner, T., Petschel-Held, G., Toth, F. (2001). The Tolerable Windows Approach to Global Warming, in: Abele, H., Heller, Th., Schleicher, St. (eds), (2001). Designing Climate Policy – The Challenge of the Kyoto Protocol, Service Fachverlag, Wien.
- Cassel-Gintz, A. M. (2000). GIS-gestützte Analyse globaler Muster anthropogener Waldschädigung - Eine sektorale Anwendung des Syndromkonzepts. Dissertation, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.
http://www.pik-potsdam.de/~cassel/diss/cassel-gintz_dissertation.pdf
- Covery, F. (2002). Emissions Trading in Europe, Evaluating the European Commissions's Proposals to establish a European Trading Scheme for Greenhouse Gases, University College Dublin.
- DEFRA, Department for Environment, Food & Rural Affairs (2002). REGIS – Regional Climate Change Impact Response Studies in East Anglia and North West England.
- DTI, Department of Trade and Industry (2001). UK Energy in brief, December 2001.
<http://www.dti.gov.uk/EPA/eib/ukeb122001.pdf>
- EC, European Commission (2001). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for greenhouse gas emissions trading within the European Community, Brussels.
- European Energy Agency – EEA (2002). Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990-2000 and Inventory Report 2002, Technical report No 75.
- EIA, Energy Information Administration (2002). International Energy Outlook 2002,
<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/contents.html>
- Formayer, Eitzinger, Nefzger, Simic und Kromp-Kolb (2001). Auswirkungen einer Klimaveränderung in Österreich: Was aus bisherigen Untersuchungen ableitbar ist.
(VERLAG, ORT, Vornamen)
- Gangl M., Gugele B., Lichtblau G., Ritter M.(2002). Luftschadstoff-Trends in Österreich 1980-2000, Umweltbundesamt, Wien.
- IEY, International Energy Agency (2001). Dealing with Climate Change, Policies and Measures in IEA Member Countries.
- Interdepartmental Analysts Group (2002). Long-term reductions in greenhouse gas emissions in the UK. <http://www.dti.gov.uk/energy/greenhousegas/greenhouse.pdf>
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2000). Special Report on Emissions Scenarios (SRES), Cambridge University Press, Cambridge UK.

- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). Climate Change 2001 - Third Assessment Report (TAR), Cambridge University Press, Cambridge UK.
- PIK - Potsdam Institute for Climate Impact Research (2000). ICLIPS - Integrated Assessment of Climate Protection Strategies: Political and Economic Contributions, Research Report, commissioned by the Federal Environment Agency.
- PIU, Performance and Innovation Unit (2002). Energy Policy Review <http://www.cabinet-office.gov.uk/innovation/2002/energy/report/TheEnergyReview.PDF>
- Rotmans J. (1998) Methods for IA: The challenges and opportunities ahead. Environmental Modelling and Assessment, Vol. 3, p. 155-179. Special Issue: Challenges and Opportunities for Integrated Environmental Assessment.
- Royal Commission on Environmental Pollution (2000):Energy: the Changing Climate. Twenty-second Report, Presented to Parliament by Command of Her Majesty, June 2000. <http://www.rcep.org.uk/newenergy.html>
- Umweltbundesamt (2001) 6. Umweltkontrollbericht, Kapitel Globaler Klimawandel, Wien.
- UNFCCC (1997). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- Toth, F. L., Bruckner, Th., Füssel, H.-M., Leimbach, M., Petschel-Held, G. und Schellnhuber, H.-J. (1997).The tolerable windows approach to integrated assessments. Proceedings of the IPCC Asia-Pacific Workshop on Integrated Assessment Models, Tokyo, Japan, 10-12 th March 1997.
- Weyant J., Davidson O., Dowlatabadi H., Edmonds J., Grubb M., Parson E. A., Richles R., Rotmans J., Shukla P. R., Tol R. S. J., Cline W. and Frankhauser S. (1996) Integrated Assessment of Climate Change: An overview and comparison of approaches and results. In: Bruce J. P., Lee H. and Haites E. F. (eds) Economic and Social Dimension of Global Change. IPCC, Cambridge University Press, Cambridge UK.
- WBGU - Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (1995). Scenario for the derivation of global C=2 reduction targets and implementation strategies, Statement on the occasion of the First Conference of the Parties to the Framework Convention on Climate Change in Berlin, Bremerhaven.
- WBGU - Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (1997). Ziele für den Klimaschutz 1997, Stellungnahme zur dritten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Kyoto, Bremerhaven.

9 Glossar²⁵

Annex-I-Staaten

Der Annex I der Klimarahmenkonvention von 1992 listet alle Länder auf, die im Rahmen der Klimarahmenkonvention die Selbstverpflichtung zur Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2000 auf das Niveau von 1990 übernommen haben. Auf der Liste stehen alle OECD-Länder (außer Korea und Mexiko) sowie alle osteuropäischen Länder (außer Jugoslawien und Albanien). Der Begriff "Annex-I-Länder" wird daher oft synonym mit "Industrieländer" benutzt, mit "Non-Annex-I-countries" sind in der Regel die Entwicklungs- und Schwellenländer gemeint.

Annex II – Staaten

Alle Industriestaaten (d.h. die 24 OECD-Staaten zum Stand 1992) und die EU, die sich laut Kyoto-Protokoll verpflichtet haben, finanzielle Hilfe für Entwicklungsländer bereitzustellen, damit diese ihren Verpflichtungen aus dem Kyoto-Protokoll nachkommen können. Außerdem sollen sie den Transfer neuer energieeffizienter Technologien bzw. Techniken für die Nutzung erneuerbarer Energien in Entwicklungsländer fördern.

Annex-B-Länder

Der Annex B des Kyoto-Protokolls listet alle Länder auf, die im Rahmen des Kyoto-Protokolls konkrete Emissionsreduktionsverpflichtungen in der ersten Verpflichtungsperiode (2008-2012) übernommen haben. Auf der Liste stehen alle Annex-I-Länder plus Kroatien, Slowenien, Monaco und Liechtenstein, jedoch ohne Weißrussland und die Türkei.

Albedo

Maß für das Rückstrahlungsvermögen von diffus reflektierenden (also nicht spiegelnden) Oberflächen, vor allem der Sonnenstrahlung durch die Erdoberfläche, Atmosphäre und Wolken. Die Albedo kann sowohl als Prozentsatz, als auch als Bruch von 1 erklärt werden. Schneebedeckte Regionen haben durch ihre weiße Farbe eine hohe Albedo (bis zu 0.9 bzw. 90%), während Vegetation durch die schwarze Farbe und die lichtabsorbierende Photosynthese eine niedrige Albedo hat (generell über 0.1 bzw. 10%) durch die schwarze Farbe und die lichtabsorbierende Photosynthese. Wolken haben eine mittlere Albedo und sind die wichtigsten Beiträge zur Erd-Albedo. Die aggregierte Erd-Albedo beträgt etwa 0.3.

²⁵ In Anlehnung an: http://www.greenenergy.com/GermanSite/infocenter/glossar_co2.html)

Clean Development Mechanism (CDM)

Im Rahmen des Clean Development Mechanism können Industriestaaten Treibhausgasemissionen durch Projekte in Entwicklungsländern vergleichsweise kostengünstig vornehmen und dafür national anrechenbare Reduktionszertifikate (sog. Credits) erwerben. Die CO₂ Gutschriften aus dem Projekt werden dem Industrieland gutgeschrieben, das Entwicklungsland erhält im Gegenzug die neuesten Technologien, in der Regel durch spezifische Fördermittel finanziert.

COP - Conference of the Parties (Vertragsstaatenkonferenz)

Höchstes Gremium der Klimarahmenkonvention, das sich jedes Jahr trifft und die Aufgabe hat, die Umsetzung der Konvention jetzt und in der Zukunft sicherzustellen.

Einheiten

Energieverbrauch, Leistung, Temperatur und Materialeigenschaften werden durch entsprechende physikalische Einheiten charakterisiert:

Energie: ist die Menge von Arbeit, die ein physikalisches System verrichten kann.

Gleiche Bedeutung haben jeweils die Einheiten (ggf. ineinander umzurechnen):

$$1 \text{ Joule (J)} = 1 \text{ Wattsekunde (Ws)}$$

$$1 \text{ Kilowattstunde (kWh)} = 1.000 * 60 * 60 \text{ Joule}$$

$$1 \text{ Tonne Steinkohleeinheiten (t SKE)} = 8140 \text{ kWh, was dem Energieinhalt einer Tonne Steinkohle entspricht}$$

Leistung ist Energie pro Zeiteinheit.

$$1 \text{ Watt (W)} = 1 \text{ Joule/Sekunde (J/s)}$$

Temperatur: 1 Grad Kelvin (K) = 1 Grad Celsius (°C)

Die Temperatureinheiten Kelvin und Celsius unterscheiden sich durch die Festlegung des Nullpunktes. 0 K bezeichnet den absoluten Nullpunkt der Temperatur bei minus 273,1°C, an dem auch auf atomarer Ebene keinerlei thermische Bewegung mehr stattfindet. Die Celsius-Skala bezieht sich auf den Schmelzpunkt des Eises als Nullpunkt.

Vorsätze:

$$\text{Kilo (k)} = 1.000, \text{ z.B. } 1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

$$\text{Mega (M)} = 1.000.000, \text{ z.B. } 1 \text{ MWh} = 1.000 \text{ kWh}$$

$$\text{Giga (G)} = 1.000.000.000, \text{ z.B. } 1 \text{ GJ} = 1.000.000 \text{ kJ}$$

$$\text{Tera (T)} = 1.000.000.000.000, \text{ z.B. } 1 \text{ TWh} = 1.000.000 \text{ MWh}$$

Emissions-Inventur („Emission Inventory“)

Eine Liste aller luftverschmutzenden Substanzen die durch Kommunen oder Länder in die Erdatmosphäre emittiert werden (in Mengen pro Zeiteinheit und Art der Quelle). Eine Emissions-Inventur hat sowohl politische als auch wissenschaftliche Bedeutung.

Emission Trading (Handel mit Emissionsrechten) [Artikel 17 Kyoto Protokoll]

Der Handel mit Emissionsrechten (Verschmutzungsrechten) ist zwischen Industriestaaten vorgesehen, um die gesamte CO₂-Menge zu verringern. So kann ein Industrieland von einem anderen Emissionsrechte kaufen, wenn es nicht schnell genug reduzieren kann. Da das Verkäufer-Land nicht mehr über die Verschmutzungsrechte verfügt, muss es seine Emissionen senken. Die Prinzipien und Regeln insbesondere für Überprüfung, Berichtswesen und Haftung müssen von den Vertragsstaaten noch festgelegt werden.

Erfüllungskontrolle („Compliance“)

System, das die Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen kontrolliert und Maßnahmen und Sanktionen für den Fall vorsieht, dass ein Land seinen im Kyoto-Protokoll festgelegten Emissionsreduktionsverpflichtungen nicht nachkommt. Die genaue Ausgestaltung der Erfüllungskontrolle ist ein Verhandlungspunkt der Bonner Konferenz.

EU-Lastenverteilung („EU burden sharing“)

Die EU hat ihre gemeinsame Kyoto-Reduktionsverpflichtung von minus 8% bis 2008/12 im Vergleich zu 1990 in der ersten Verpflichtungsperiode gemäß einer EU-internen Lastenverteilung im Juni 1998 intern neu verteilt (EU-Bubble). Danach lauten die Reduktionsverpflichtungen und Emissionsobergrenzen der EU-Mitgliedsstaaten bezogen auf ihre Emissionen im Jahr 1990:

Land	Reduktionsziel	Land	Reduktionsziel
Luxemburg	-28%	Finnland, Frankreich:	+/-0%
Deutschland, Dänemark:	-21%	Schweden:	+4%
Österreich:	-13%	Irland:	+13%
Großbritannien	-12,5%	Spanien:	+15%
Belgien:	-7,5%	Griechenland:	+25%
Italien:	-6,5%	Portugal:	+27%
Niederlande	-6%		

Flexible Mechanismen

Das Kyoto-Protokoll sieht drei Instrumente vor, die den Vertragsstaaten Flexibilität bei der Umsetzung ihrer Reduktionsziele erlauben: Emissionshandel, Joint Implementation und Clean Development Mechanism. Der Grundgedanke aller drei flexiblen Mechanismen ist, dass die Annex-B-Länder ihre Reduktionsverpflichtungen teilweise im Ausland erbringen können.

Globale Umweltfazilität ("Global Environment Facility")

Dieser multilaterale Fonds wurde 1991 von der Weltbank eingerichtet. Er fungiert mittlerweile auch als Finanzierungsinstrument in vier Sektoren: Maßnahmen zum Klimaschutz, biologische Vielfalt, Schutz der Ozonschicht und Schutz der Gewässer.

Heiße Luft („Hot Air“)

Emissionsminderungen, die nicht durch aktive Klimaschutzmaßnahmen erzielt werden. Dieser Begriff wird insbesondere im Hinblick auf den wirtschaftlichen Zusammenbruch in Osteuropa gebraucht. Es entsteht ein Potential zum Handel mit Emissionsrechten, dem keine entsprechenden Emissionsminderungen durch aktive Klimaschutzmaßnahmen gegenüberstehen.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

Das IPCC ging 1988 aus dem "United Nations Environment Programme und der "World Meteorological Organization" hervor. Der Auftrag des IPCC ist, die Informationen aus der wissenschaftlichen und technischen Literatur zu beurteilen, die mit den wesentlichen Aspekten des Klimawandels zu tun haben. Führende Experten aus Klima-, Umwelt-, Sozial- und Wirtschaftswissenschaften aus etwa 60 Nationen haben das IPCC unterstützt, eine periodische Beurteilung der wissenschaftlichen Grundlagen für das Verständnis des Klimawandels und seiner Konsequenzen zu erstellen. Mit seiner Kapazität über den Klimawandel, seinen Konsequenzen, der Realisierbarkeit von Anpassungs- bzw. Milderungsmaßnahmen zu berichten, wird das IPCC als das offizielle Beratungsorgan der nationalen Regierungen zu den wissenschaftlichen Fragen des Klimawandels angesehen. Als Beispiel sei genannt, dass das IPCC die Entwicklung international anerkannter Methoden zur Erhebung von nationalen Treibhausgasemissionen erarbeitet und 1990, 1995, sowie 2001 drei Statusberichte zum Klimawandel veröffentlicht hat..

Joint Implementation (JI)

Ein Projekt zur Reduktion von Treibhausgasen wird von zwei Industriestaaten initiiert. Die daraus resultierenden CO₂ Reduktionen werden anteilig den beteiligten Staaten gutgeschrieben.

Basierend auf einer Klausel im Artikel 4 der Klimarahmenkonvention "(Annex I) Staaten können Maßnahmen (zum Klimaschutz) zusammen mit anderen Staaten ergreifen", möchten einige Industrieländer ihre Verpflichtungen zur CO₂-Reduktion erfüllen, indem sie in Ländern investieren, wo die gleiche CO₂-Reduktionsmenge mit geringeren finanziellen Investitionen zu erzielen ist. Im Kyoto - Protokoll werden solche Emissionsgutschriften als spezielle Form der Joint Implementation erlaubt. Wie genau jedoch sie berechnet werden und welche Arten von Maßnahmen gewertet werden dürfen, wurde noch nicht festgelegt. Die Ausarbeitung dieser wichtigen Details wird eine der Hauptaufgaben zukünftiger Vertragsstaatenkonferenzen sein.

Kohlenstoffkreislauf

Der globale Kohlenstoffkreislauf kann in vier Reservoirs unterteilt werden: Die Atmosphäre, die terrestrische Biosphäre mit den Süßwassersystemen, die Ozeane sowie die Sedimente mit allen fossilen Energiequellen. Jedes dieser globalen Reservoirs kann in kleinere Pools unterteilt werden, die von der Größe individueller Gesellschaften oder Ökosysteme bis hin zu allen lebenden Organismen (Biota) reichen können. Alle Reservoirs stehen durch verschiedenen chemische, physikalische, geologische und biologische Prozesse ständiger Interaktion.

Die Atmosphäre enthält etwa 760 Gt Kohlenstoff, die Ozeane 39.000 Gt, die Vegetation 500 Gt und die Böden (inkl. Geröll) 2000 Gt Kohlenstoff. Der Mensch emittiert derzeit etwa 6.3 (+/- 0,6) Gt Kohlenstoff pro Jahr, wobei etwa 3.0 Gt von der Erde (0.7+/-1.0) und den Ozeanen (2.3+/-0.8) wieder aufgenommen werden und die restlichen 3.3 (+/- 0.2) Gt in der Atmosphäre akkumulieren.

Kohlenstoffsenken:

Kohlenstoffreservoirs verbunden mit Bedingungen, die dazu führen, dass mehr Kohlenstoff gespeichert als freigesetzt wird. Kohlenstoffsenken können teilweise dazu dienen, Treibhausgasemissionen auszugleichen. Wälder und Ozeane sind die größten potentiellen Kohlenstoffsenken.

Kyoto Protokoll

Das Kyoto Protokoll ist das Ergebnis der 3. Conference of the Parties (COP) des UNFCCC im Dezember 1997 in Kyoto, Japan. Es ist ein Aktionsprogramm und Beschlussdokument, welches von den beteiligten Staaten zu ratifizieren ist.. In den folgenden Jahren gab es

diverse Nachfolgekongressen, in denen Details des Protokolls weiter verhandelt bzw. spezifiziert wurden um sicherzustellen, dass weitere Staaten das Protokoll ratifizieren können.

Senke

Ein Reservoir, welches chemische Elemente oder Verbindungen aus einem Stoff-Kreislauf aufnimmt bzw. entzieht. Beispiele für Kohlenstoffsinken sind der Boden oder die Wälder.

"Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice", "Subsidiary Body for Implementation"

Untergeordnete Gremien der Klima-Rahmenkonvention für wissenschaftliche und technische Beratung und für die Umsetzung.. Die beiden Gremien arbeiten zu Themen wie Berichtswesen, Mechanismen zur Finanzierung und Konsultation, Fragen des methodischen Vorgehens, Technologietransfer und gemeinsam umgesetzte Aktivitäten („joint implementation“).

UNFCCC

Das United Nations Framework Convention on Climate Change („UNFCCC“) wurde im Rahmen der UN Konferenz in Rio zur nachhaltigen Entwicklung 1992 ins Leben gerufen. Das UNFCCC verpflichtet unterzeichnende Nationen, die anthropogenen Treibhausgasemissionen auf ein Niveau zu reduzieren, welches verhindert, dass gefährliche anthropogene Wechselwirkungen mit dem Klimasystem entstehen. Das UNFCCC fordert ebenfalls, dass alle unterzeichnenden Parteien nationale Inventurprogramme für anthropogene Emissionen aller Treibhausgase entwickeln und aktualisieren müssen.

Zertifikat

Handelbarer Anteilsschein, der von einer unabhängigen Instanz ausgegeben bzw. beglaubigt wird. In diesem Zusammenhang handelt es sich um Emissions-Zertifikate aus unterschiedlichen Programmen, national wie freiwillig von Unternehmen initiiert.