



Treibhausgasminderung in Deutschland zwischen nationalen Zielen und inter- nationalen Verpflichtungen

Proceedings eines Workshops

herausgegeben von

Egbert Läge, Peter Schaumann, Ulrich Fahl

IKARUS

Instrumente für
Klimagas-Reduktionsstrategien



Umwelt
environment



Forschungszentrum Jülich GmbH
Programmgruppe Technologiefolgenforschung

Treibhausgasminderung in Deutschland zwischen nationalen Zielen und internationalen Verpflichtungen

IKARUS-Workshop am 27. Mai 1998
Wissenschaftszentrum Bonn-Bad Godesberg

Eine Veranstaltung

des Instituts für Energiewirtschaft und
Rationelle Energieanwendung (IER)
der Universität Stuttgart

und der Programmgruppe Systemforschung und
Technologische Entwicklung (STE)
der Forschungszentrum Jülich GmbH

Proceedings

herausgegeben von
Egbert Läge, Peter Schaumann, Ulrich Fahl

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Umwelt/Environment

Band 14

ISSN 1433-5530 ISBN 3-89336-237-1

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Treibhausminderung in Deutschland zwischen nationalen und internationalen

Verpflichtungen : proceedings / IKARUS-Workshop am 27.05.1998, Wissenschaftszentrum
Bonn-Bad Godesberg. Hrsg. von Egbert Läge - Jülich : Forschungszentrum, Zentralbibliothek, 1999
(Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt/Environment ; Band 14)
ISBN 3-89336-237-1

Herausgeber
und Vertrieb: Forschungszentrum Jülich GmbH
 ZENTRALBIBLIOTHEK
 D-52425 Jülich
 Telefon (02461) 61-5368 · Telefax (02461) 61-6103
 e-mail: zb-publikation@fz-juelich.de
 Internet: <http://www.fz-juelich.de/zb>

Umschlaggestaltung: Grafische Betriebe, Forschungszentrum Jülich GmbH

Druck: Grafische Betriebe, Forschungszentrum Jülich GmbH

Copyright: Forschungszentrum Jülich 1999

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Umwelt/Environment Band 14

ISSN 1433-5530
ISBN 3-89336-237-1

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie oder in einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

IKARUS

Instrumente für
Klimagas-Reduktionsstrategien



Treibhausgasminderung in Deutschland zwischen nationalen Zielen und internationalen Verpflichtungen

IKARUS-Workshop am 27. Mai 1998
Wissenschaftszentrum Bonn-Bad Godesberg

Eine Veranstaltung
des Instituts für Energiewirtschaft und
Rationelle Energieanwendung (IER)
der Universität Stuttgart
und der Programmgruppe Systemforschung und
Technologische Entwicklung (STE)
der Forschungszentrum Jülich GmbH

Proceedings
herausgegeben von
Egbert Läge, Peter Schaumann, Ulrich Fahl

*IKARUS – Ein Entwicklungsvorhaben des Forschungszentrums Jülich
im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissen-
schaft, Forschung und Technologie (BMBF), Bonn*

Projektleitung:
Programmgruppe Technologiefolgenforschung (TFF) des Forschungszentrums Jülich

Vorwort der Projektleitung

Als sich 1990 die Bundesregierung im Zuge ihrer Klimaschutzpolitik eine 25 %-Reduktion der nationalen anthropogenen CO₂-Emissionen bis zum Jahre 2005 zum Ziel setzte, fehlte ein Instrumentarium, mit dem es möglich ist, die erforderlichen Reduktionsstrategien zu analysieren und zu bewerten.

Die Entwicklung eines solchen Instrumentariums, mit dem das gesamte nationale Energiesystem als Hauptquelle für CO₂-Emissionen erfaßt werden kann, wurde im Rahmen des IKARUS-Projekts sowie seines Nachfolgeprojektes "IKARUS-Anwendung" in den Jahren 1990 - 1998 vom BMBF gefördert und allgemein verfügbar gemacht. Zu den regelmäßigen Veranstaltungen, auf denen über den Projektfortschritt und die Nutzung von IKARUS berichtet wird, gehört auch der Workshop, der Gegenstand dieses Tagungsbandes ist.

Kernstück des aus programmierten Modellen und Datenbanken bestehenden Instrumentariums ist ein lineares Optimierungsmodell, mit dem das gesamte technische Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland dem Energiefluß folgend abgebildet wird. Optimierungen beispielsweise nach minimalen volkswirtschaftlichen Kosten können für die Stützjahre 2005 und 2020 durchgeführt werden. Sektorspezifische Fragestellungen lassen sich mit Hilfe spezieller Teilmodelle beantworten. Sie arbeiten im Simulationsmodus und werden für die Sektoren Raumwärme, Industrie und Kleinverbraucher sowie Verkehr entwickelt. Als weiteres Element des Instrumentariums wurde ein Energiekettenmodell bereitgestellt, das die Struktur des Optimierungsmodells verwendet. Die volkswirtschaftliche Einbettung des Instrumentariums erfolgt über das makroökonomische Informationssystem MIS, das auf einem dynamischen Input/Output-Modell basiert.

Die umfangreiche IKARUS-Datenbank mit Daten für die Jahre 1995, 2005 und 2020 gliedert sich in drei Bereiche: Technikdaten, Rahmendaten sowie Modelldaten. Die Datenbank ist Datenlieferant für die verschiedenen Modelle, vor allem aber ein eigenständiges Informationssystem.

Ein vom BMWi gefördertes Anschlußprojekt "Aktualisierung IKARUS" gewährleistet mit seiner Laufzeit von 1999 - 2002, daß auch in den kommenden Jahren das IKARUS-Instrumentarium den inhaltlichen und Softwareentwicklungen angepaßt und auf dem Stand der Technik gehalten wird.

Jülich, im Februar 1999

G. Stein, Projektleitung IKARUS

Vorwort der Veranstaltung

Auf ihrem dritten Treffen vom 1. bis 11. Dezember 1997 in Kyoto haben sich die Vertragsstaaten der Rio-Konvention nach zähem Ringen auf ein Protokoll verständigt, das erstmals völkerrechtlich bindend eine Verminderung des weltweiten Ausstoßes an Treibhausgasen vorschreibt. In dem verabschiedeten Protokoll gibt es für die Industrieländer jetzt differenziertere Reduktionsziele, die im Durchschnitt der Jahre 2008 bis 2012 erreicht werden müssen. Dies sind 8 % für die EU sowie mehrere mittel- und osteuropäische Staaten, 7 % für die USA und 6 % für Kanada, Japan, Polen und Ungarn. Die EU-Staaten können die Lasten intern unterschiedlich aufteilen. Rußland, Neuseeland und die Ukraine brauchen ihre Emissionen lediglich zu stabilisieren. Eine Ausweitung des Ausstoßes an Treibhausgasen wurde Norwegen (+ 1%) und Island (+ 10%) zugestanden, weil diese Länder bereits in erheblichem Umfang regenerative Energien einsetzen. Auch Australien darf seinen Ausstoß steigern (+ 8%). In der Summe bedeutet dies, daß die Industriestaaten ihre gemeinsamen Emissionen bis 2008/2012 um 5,2 % im Vergleich mit 1990 bzw. 1995 senken müssen. Grundsätzlich sieht der Vertrag die Möglichkeit eines Handels mit Emissionsrechten vor. Details hierfür werden aber erst später festgelegt.

Zuvor hatte bereits die Bundesregierung auf der ersten Klimakonferenz in Berlin im Jahr 1996 für Deutschland das Ziel formuliert, bis zum Jahr 2005 den CO₂-Ausstoß um 25 % gegenüber 1990 zu senken.

Ziel des Workshops ist es, in diesem Spannungsfeld von nationalen Minderungszielen und den internationalen Verpflichtungen modellgestützte Analysen der Minderung von Treibhausgasen in Deutschland sowohl in einer nationalen Perspektive als auch unter Berücksichtigung internationaler Aspekte zu diskutieren.

Stuttgart, im März 1998

Egbert Läge, Peter Schaumann, Ulrich Fahl
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)
Universität Stuttgart

Grußwort

Meine Damen und Herren,

als wir vor drei Jahren hier im Wissenschaftszentrum formal das IKARUS - Projekt beendet haben, hatten wir versprochen über den weiteren Fortgang der Arbeit und über die Nutzung von IKARUS regelmäßig zu berichten.

Wir tun dies heute zum dritten mal , und es geschieht vor dem Hintergrund einer Reihe sehr interessanter Entwicklungen.

Die erste ist, daß wir feststellen können: IKARUS hat seine erste große Bewährungsprobe bestanden. Die Studie "Politiksznarien für den Klimaschutz", für die erstmals das gesamte Instrumentarium von IKARUS genutzt wurde, hat uns allen sehr interessante Ergebnisse geliefert. Sie diente nicht nur mit Basis für ihre Position bei der Verhandlungen in Kyoto. Sie hat darüber hinaus auch für eine gewisse Ernüchterung gesorgt, was die Realisierbarkeit unseres nationalen CO₂ - Reduktionszieles angeht.

Wir haben zweitens inzwischen die Ergebnisse von Kyoto vor uns liegen. Und es stellt sich deshalb in nächster Zeit sehr ernsthaft das Problem, das wir für unsere Tagung gewählt haben, nämlich *"Treibhausgasminderung in Deutschland zwischen nationalen Zielen und internationalen Verpflichtungen"*.

Wie immer, will das BMBF hier nicht in irgendeiner Weise politisch Stellung beziehen, sondern wir wollen Wissenschaft zur Weise aus unterschiedlichen Winkeln beleuchtet werden kann.

Es ist evident, daß es hierbei auch ankommt, daß bei einem so sensiblen Thema die Wissenschaft in Deutschland über besten Instrumente und Daten verfügt, die machbar sind. Damit komme ich zur dritten Entwicklung, nämlich unserem Forum für Energiemodelle und energiewirtschaftliche Systemanalyse. Ich hatte vor einem Jahr an gleicher Stelle angekündigt, daß die Gründung eines solchen Forums beabsichtigt sei. Dies ist inzwischen geschehen, und wir werden gleich darüber einen ausführlichen Bericht hören.

Für den BMBF soll das Forum in Zukunft zum jährlichen Treffpunkt werden, um zum die Wissenschaft der politikberatenden Systemanalyse weiter zu bringen und zum anderen gleiche Themenstellungen mit unterschiedlichen Ansätzen zu bearbeiten und die dabei erzielten Ergebnisse vor dem Fachpublikum zu diskutieren.

Wir halten eine solche Veranstaltung auch deshalb für notwendig, damit deutlich wird, wo die Grenzen systemanalytischer Modellarbeit und Szenariotechnik liegen. Denn manche, sehr weitreichende politische Forderung ist auf Modelluntersuchungen abgestützt,

und da ist es schon notwendig, sich ständig kritisch mit dieser Materie auseinanderzusetzen.

Die Veranstaltungen des Forums werden deshalb die IKARUS - Nachfolgeveranstaltungen ab dem nächsten Jahr ablösen und ich hoffe, daß sie ebenso lebhaft besucht werden, wie das bisher der Fall war.

Für unsere heutige Veranstaltung wünsche ich uns allen gute Vorträge und eine lebhaft Diskussion.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Hermann-Friedrich Wagner

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie

**"Treibhausgasminderung in Deutschland
zwischen nationalen Zielen und
internationalen Verpflichtungen "
IKARUS Workshop**

Bonn, 27. Mai 1998

Inhaltsverzeichnis

<u>Vorwort der Veranstaltung</u>	I
<u>Grußwort</u>	III
1 Forum für Energiemodelle und energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland	1
<i>E. Läge, P. Schaumann, IER, Universität Stuttgart</i>	
2 Energieeffizienzpotentiale, Strukturwandel und Produktionsentwicklungen der deutschen Industrie bis 2020	7
<i>E. Jochem, FhG-ISI, Karlsruhe</i>	
3 Politiksznarien für den Klimaschutz - Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO₂-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005	23
<i>H.-J. Ziesing, DIW, Berlin</i>	
4 Szenarien zur Minderung von Klimagasemissionen in Deutschland bis zum Jahr 2005.....	41
<i>D. Martinsen, P. Marketwitz, STE, Jülich</i>	
5 Klimaschutzstrategien für Deutschland nach Kyoto.....	55
<i>E. Läge, S. Molt, A. Voß, IER, Universität Stuttgart</i>	

6 Zur gerechten Verteilung der Lasten des Klimaschutzes - Eine ökonomische Perspektive.....	69
<i>C. Helm, PIK, Potsdam</i>	
7 Zur Verteilung der Kyoto-Reduktionspflichten in der EU.....	87
<i>C. Böhringer, IER, Universität Stuttgart</i>	
8 Climate Change Policy and Burden Sharing in the European Union -Applying alternative equity rules to a CGE-framework.....	97
<i>T. Schmidt, H. Koschel, ZEW, Mannheim</i>	
9 Emissionsminderungsstrategien für die Bundesrepublik Deutschland unter Einschluß von Kompensationsprojekten	131
<i>M. Wietschel et al., IIP, Karlsruhe</i>	

1 Forum für Energiemodelle und energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland

Egbert Läge, Peter Schaumann

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER),
Universität Stuttgart, Heßbrühlstr. 49a, D-70565 Stuttgart; Tel.: 0711-78061-15;
email: forum@ier.uni-stuttgart.de

1.1 Einleitung

Das *Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland* (FEES) stellt eine offene Kommunikationseinrichtung für den intensiven Erfahrungsaustausch zwischen Entwicklern und Nutzern von Energiemodellen aus Forschung, Politik und Wirtschaft dar. Das *Forum* gründet sich auf eine gemeinsame Initiative von Wissenschaftlern, die maßgeblich an der Entwicklung und Anwendung von Systemmodellen in der Energiewirtschaft beteiligt sind. Es soll zu den im 4. Programm für Energieforschung und Energietechnologien der Bundesregierung geforderten Ausbau der Systemanalyse-Kapazität in Deutschland beitragen und damit die Anwendung von Energiemodellen für die wissenschaftliche Politikberatung sowie für die Entscheidungsunterstützung in der Energiewirtschaft fördern.

In diesem Beitrag werden die Zielsetzungen und die Organisation des *Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland* vorgestellt. Im Anschluß wird das zentrale Element des *Forums*, das *Modellexperiment*, in seiner Konzeption erläutert. Abschließend wird die Themenstellung des ersten Modellexperimentes mit seiner Zielsetzung und den teilnehmenden Modellen skizziert.

1.2 Zielsetzung und Organisation des Forums

Um ein effizientes Kommunikationsnetzwerk sowohl für die Nutzer als auch die Entwickler von Modellen in der Energiewirtschaft zu bilden, verfolgt das *Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland* im wesentlichen folgende Zielsetzungen:

- den Austausch von Erfahrungen zwischen den Modellentwicklern und -anwendern aus Wissenschaft, Politik und Wirtschaft,
- die Erhöhung der Transparenz im Hinblick auf die theoretische und methodische Fundierung verschiedener Modelle,
- die exemplarische Anwendung existierender Modelle der Energiewirtschaft für die Analyse ausgewählter Problemstellungen, um die Ergebnisrelevanz alternativer

methodischer Ansätze sowie unterschiedlicher Detaillierungsgrade und Datenannahmen zu demonstrieren,

- die Demonstration des Anwendungspotentials von Energiemodellen und energiewirtschaftlichen Systemanalysen für die Energiepolitik und Energiewirtschaft sowie
- die Diskussion und der Informationsaustausch über methodische Weiterentwicklungen und neue Modellansätze.

Das *Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland* (FEES) soll als Kommunikationsnetzwerk den geeigneten Rahmen schaffen, um die zuvor beschriebenen Zielsetzungen zu erreichen. Hieraus resultieren die Aufgaben und die notwendige Organisation des *Forums*. Die maßgeblichen Aufgabenschwerpunkte des Forums beinhalten dabei:

- die Durchführung von Modellexperimenten mit unterschiedlichen Modellen und Modellansätzen, aber harmonisierten Rahmendaten anhand von gemeinsamen Fallstudien,
- die Verbreitung der Ergebnisse der Modellexperimente an die Nutzer von Modellen in Wissenschaft, Politik und Wirtschaft sowie
- die Schaffung eines Kommunikations-Netzwerkes zur Erörterung modelltheoretischer Fragestellungen und methodischer Weiterentwicklung von Energiemodellen.

Eine weitere wesentliche Aufgabe des *Forum* ist die Organisation von jährlichen Modelltagungen, auf denen Ergebnisse der Modellexperimente sowie methodische Weiterentwicklungen der Energiemodelle und der Energiewirtschaftlichen Systemanalyse vorgestellt sollen. Beispiel hierfür ist der gemeinsame Workshop mit dem *Energy Technology Systems Analysis Programm* (ETSAP) der *International Energy Agency* (IEA), der vom 4.-5. Mai 1998 in Berlin stattgefunden hat. Unter dem Titel *Energy Models for Decision Support - New Challenges and Possible Solutions* werden insgesamt 20 Beiträge präsentiert.¹

1.2.1 Sekretariat des Forums

Für die Organisation der Tätigkeiten des *Forum* ist ein *Sekretariat* verantwortlich, dessen Aufgaben in der Koordination und Durchführung der Modellexperimente und Modelltagungen liegen. Im einzelnen übernimmt das *Sekretariat*, das am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart eingerichtet ist, folgende Funktionen:

¹ E. Läge, P. Schaumann (Hrsg.): *Energy Models for Decision Support - New Challenges and Possible Solutions. Proceedings of the Joint FEES / ETSAP Workshop, 4.-5.5.1998, Berlin*. Der Tagungsband ist über das *Sekretariat des Forums für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen* am Institut für Energiewirtschaft (IER), Heßbrühlstr. 49a, 70565 Stuttgart zu beziehen.

- die Organisation und Unterstützung der Modellexperimente des *Forum*,
- die Organisation der Modelltagungen des *Forum*,
- die Erstellung von Vorschlägen für die Schwerpunktthemen der jeweiligen Modellexperimente,
- die Bekanntmachung der aktuellen Studienschwerpunkte des *Forum*,
- die inhaltliche Vorbereitung von Vorschlägen und Rahmenannahmen für die Fallstudien sowie
- die Veröffentlichung der Projektberichte des *Forum*.

1.2.2 Konzeption der Modellexperimente

Zentrales Element der Aktivitäten des *Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland* ist die Organisation von Modellexperimenten. Das Ziel der Modellexperimente ist, Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den bestehenden methodischen Ansätzen der Energiemodelle aufzuzeigen. Grundlage des Modellvergleiches ist eine gemeinsame Fragestellung, die von den beteiligten Modellen analysiert wird. Hierzu werden für jedes Modellexperiment eine Anzahl unterschiedlicher Modellansätze ausgewählt, mit denen eine gemeinsame Fallstudie mit harmonisierten ökonomischen und energiepolitischen Rahmenannahmen durchgeführt wird. Diese Angleichung der Eingangsdaten garantiert, daß die Ursachen der möglichen Differenzen in den Modellergebnissen leichter eingegrenzt werden können. Auf diese Weise treten die Effekte, die aus den unterschiedlichen methodischen Ansätzen und abweichendem Detaillierungsgrad resultieren, verstärkt in den Vordergrund. Eine vergleichende Analyse der Ergebnisse aus den jeweiligen Fallstudien innerhalb des Modellexperimentes soll die ergebnisrelevanten Unterschiede für die betrachteten Modelle aufzeigen.

Ein typischer Ablaufplan für den Zyklus eines Modellexperimentes ist in Abbildung 1-1 aufgezeigt. Ein Modellexperiment des *Forum* beginnt mit der Auswahl einer geeigneten Fragestellung. Diese Fragestellung wird von den Teilnehmern im Rahmen eines ersten Arbeitstreffens, dem sogenannten *Kick-Off Meeting*, ausgewählt. Mit der Festlegung des thematischen Schwerpunktes des Modellexperimentes erfolgt die Formulierung der Anforderungen, die im Rahmen der Analyse von den teilnehmenden Modellsystemen erfüllt werden sollen. Sämtliche Modelle, die zu den definierten Anforderungen der Problemstellung einen Beitrag leisten können, sind zur Teilnahme an dem Modellexperiment geeignet.

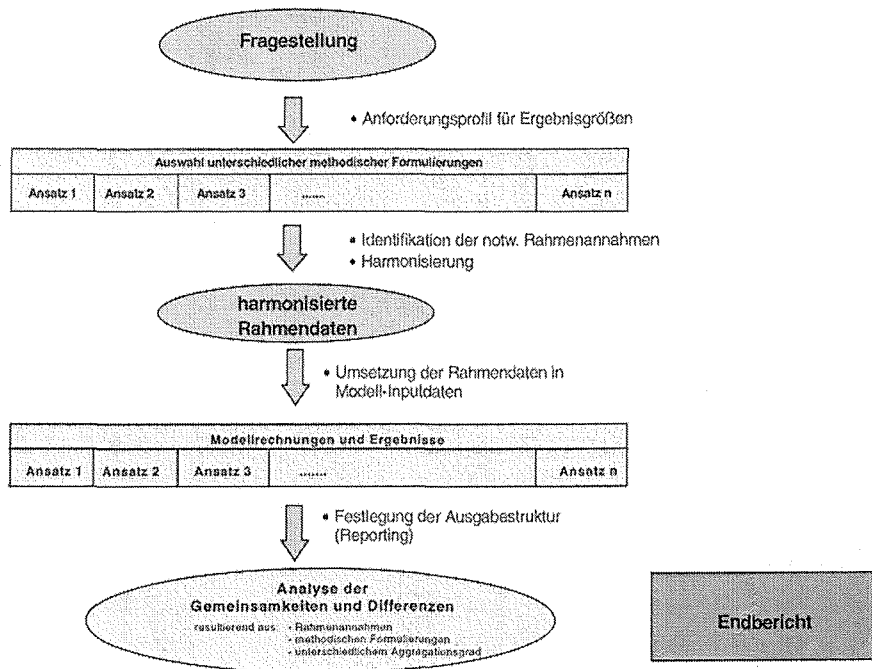


Abbildung 1-1: Ablaufplan eines Modellexperimentes

Im Anschluß an die Identifikation und Abstimmung der notwendigen Rahmenannahmen werden die zu analysierenden Szenarien festgelegt. Auch dies erfolgt in einem Diskussionsprozeß unter den Teilnehmern des Modellexperimentes. Die jeweiligen Ergebnisse der Fallstudie aus den unterschiedlichen Modellsystemen werden anhand eines gemeinsamen Auswerteschemas analysiert und verglichen. Die wesentlichen Resultate dieses Vergleiches werden zum Abschluß des Modellexperimentes in Form eines Endberichtes dokumentiert und in geeigneter Weise veröffentlicht.

Ein Modellexperiment umfaßt in etwa einen Zeitraum von 18 Monaten, in dem die Teilnehmer des *Forums* in regelmäßigen Abständen von 3 bis 4 Monaten zu Arbeitstreffen zusammenkommen, um die Fallstudienresultate und die Modellansätze zu diskutieren und zu vergleichen.

1.3 Das Modellexperiment 1

Die Auswahl der Themenstellung des Modellexperiment 1 (MEX 1) ist auf dem Kick-Off-Meeting des *Forum* am 18. Februar 1998 in Stuttgart erfolgt. Eine Einladung zur Teilnahme an diesem Treffen erging an eine Vielzahl von Entwicklern und Nutzern von Energiemodellen in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Nach ausführlicher Diskussion unter den

Teilnehmern des Treffens ist folgende Fragestellung als Thematik des ersten Modellexperiments ausgewählt worden:

Strukturelle und Gesamtwirtschaftliche Effekte des Klimaschutzes:

Die nationale Perspektive.

Im Rahmen dieser Fragestellung werden sowohl die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen des Klimaschutzes, z. B. auf:

- Wirtschaftsentwicklung,
- Arbeitsmarkt,
- Niveau der Minderungskosten oder
- Energienachfrage,

sowie die strukturellen Effekte von Maßnahmen zum Klimaschutz in Deutschland untersucht, wie beispielsweise:

- Wirtschaftsstruktur,
- Energieträgerstruktur oder
- Entwicklung der Technologien im Energiesektor.

Die harmonisierte Fallstudie analysiert diese Thematik für einen Betrachtungszeitraum bis zum Jahr 2020 bzw. 2030. Die wesentlichen Annahmen zur Entwicklung des Wirtschaftswachstums, der Bevölkerung und der Energiepreise sind harmonisiert. Gleiches gilt für die wesentlichen energiepolitischen Annahmen wie etwa den Bestandsschutz der heimischen Braun- und Steinkohle sowie die Rolle der Kernenergie. Die Maßnahmen zum Klimaschutz sollen eine Verringerung der klimarelevanten Treibhausgase erzielen. Neben den Emissionen von CO₂ sollen auch die der übrigen, im Kyoto-Protokoll aufgeführten energiebedingten Klimagase (CH₄, N₂O) berücksichtigt werden.

Die Modellsysteme, die am ersten Modellexperiment des *Forum* teilnehmen, lassen sich in zwei Kategorien unterscheiden. Die eine Gruppe umfaßt die prozeßanalytischen Modelle der Energiewirtschaft (vielfach auch als *Energiesystemmodelle* oder *Bottom-up-Modelle* bezeichnet):

- IKARUS-LP-Modell (STE, Forschungszentrum Jülich),
- PERSEUS (IIP, Universität Karlsruhe) und
- E³NET (IER, Universität Stuttgart).

Sämtliche *Bottom-up-Modelle* des ersten Modellexperimentes sind lineare Optimierungsmodelle, die die prozeßtechnische Struktur des Energiesektors in Deutschland beschreiben und ein festes Nachfrageniveau als exogene Vorgabe benötigen. Die zweite Gruppe der Modelle, die im ersten Modellexperiment vertreten sind, beinhaltet die Modell-

systeme, die auf gesamtwirtschaftlichen Zusammenhängen aufbauen (vielfach auch als *Energiewirtschaftsmodelle* oder *Top-down-Modelle* bezeichnet):

- MIS (BEI, Universität Bremen),
- PANTA RHEI (Universität Osnabrück),
- LEAN (Universität Oldenburg),
- GEM-E3 (ZEW, Mannheim) und
- NEWAGE (IER, Universität Stuttgart).

Die Modellsysteme LEAN, GEM-E3 und NEWAGE basieren dabei auf einem Allgemeinen Gleichgewichtsansatz. Das Modellsystem PANTA-RHEI dagegen beruht auf detaillierten, ökonometrischen Schätzfunktionen für die individuellen Wirtschaftssektoren. Das MIS-Modell ist ein dynamisches Input-Output-Modell.

1.4 Ausblick

Die Ergebnisse des ersten Modellexperimentes werden im Frühjahr 1999 in Form eines Endberichtes dokumentiert werden². Die Vorstellung des Endberichtes erfolgt im Rahmen eines Modellworkshops, auf dem außerdem ein Überblick über die neuesten Entwicklungen in der Systemanalyse in Deutschland gegeben werden soll. Zu diesem Zeitpunkt wird auch die Themenstellung des zweiten Modellexperiments ausgewählt werden.

Mit der Organisation des *Forums für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen* ist ein Kommunikationsnetzwerk geschaffen worden, das einen intensiven Erfahrungsaustausch auf dem Gebiet der Systemanalyse in Deutschland ermöglicht. Es ist ein offenes Forum, das insbesondere den Dialog zwischen den Entwicklern von Modellen zur Entscheidungsunterstützung und den Entscheidungsträgern in Politik und Wirtschaft verstärken will.

Angeichts der Vielfalt der existierenden Modellansätze und dem gegebenen Potential dieser Modelle kann das *Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen* sowohl einen qualitativen als auch quantitativen Beitrag zu den aktuellen energiewirtschaftlichen Fragestellungen leisten. Damit stehen die Chancen gut, daß das *Forum* als Initiative der Wissenschaft seinen selbstgesteckten Zielen gerecht wird.

² Der jeweilig aktuelle Zwischenstand der Arbeiten findet sich auf der Internet-Seite des *Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftlichen Systemanalysen in Deutschland*. Die Homepage des *Forum* ist unter folgender Adresse zu finden: <http://www.ier.uni-stuttgart.de/extern/forum>. Die email-Adresse lautet forum@ier.uni-stuttgart.de

2 Energieeffizienzpotentiale, Strukturwandel und Produktionsentwicklungen der deutschen Industrie bis 2020

Prof. Dr.-Ing. E. Jochem

Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, FhG, Karlsruhe
Breslauerstraße 48, 76139 Karlsruhe, Tel. 0721/6809-169; Fax: 0721-6809-270;
e-mail: ejo@isi.fgh.de

2.1 Einleitung

Wenn der spezifische Endenergieeinsatz (bezogen auf die Nettoproduktion) der deutschen Industrie in den letzten 25 Jahren rückläufig war (vgl. Abbildung 2-1), so fragt sich angesichts der veränderten Rahmenbedingungen – niedrige Energiepreisniveaus, Liberalisierung, aber klimapolitische Verpflichtungen der Annex B-Staaten auf der Basis der Vereinbarung von Kyoto und des Burden Sharing innerhalb der EU-, welche "autonome" Energiebedarfsentwicklung man in den kommenden zwei Jahrzehnten erwarten darf und welche Kosten man zusätzlich wird erwarten müssen, wenn im Rahmen eines nationalen "Burden Sharing" die deutsche Industrie zusätzliche Anstrengungen zur Verminderung der Treibhausgase unternehmen soll.

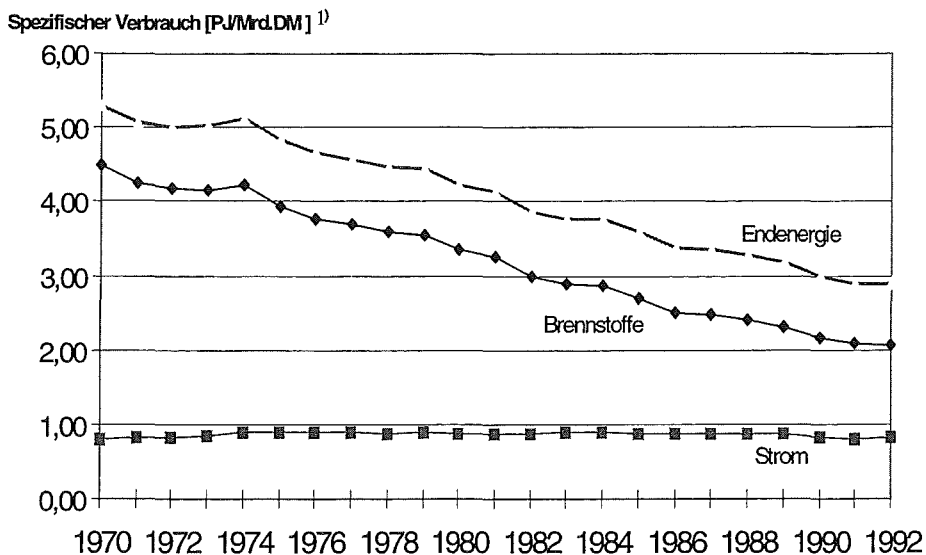
Die Zielsetzung der Bundesregierung seit 1990 ist eine Verminderung der energiebedingten CO₂-Emissionen um –25% für das Jahr 2005, die nach den Verhandlungen der EU-Umweltminister im Nachgang zu Kyoto und angesichts der Stagnation der CO₂-Emissionen bei 870 Mio. t seit 1995 (oder –14 Prozentpunkten) stillschweigend auf das Jahr 2010 verschoben werden dürften. Wenn man unterstellt, daß diese Zielsetzung ratifiziert und damit rechtlich bindend wird, stellt sich die Frage, ob man unter Kosten-, sozialen und anderen Gründen sektorale Einzelreduktionsziele verfolgen sollte, die durch den Zielsatz der sechs Treibhausgase noch weiter kompliziert würde. Je nach den Ergebnissen der Folgeverhandlungen des Mandats von Buenos Aires zum Handel von Treibhausgas-Zertifikaten aus Beständen "heißer Luft" der ehemaligen COMECON-Staaten erhalten die Handlungsmöglichkeiten nochmals eine andere Dimension.

Schaut man in das Energiedatenmaterial der amtlichen Statistik, so hatte die deutsche Industrie mit –65 Mio. t CO₂ von ursprünglich 213 Mio. t CO₂ ihr sektorales 25%-Reduktionsziel bereits 1994 deutlich erreicht. Zudem gibt es die freiwilligen Selbstverpflichtungen von 13 Industrieverbänden und des Bundesverbandes der Deutschen Industrie /BDI 1996/, ihre absoluten bzw. spezifischen Energieverbräuche oder CO₂-Emissionen um etwa 20 % bis zum Jahre 2005 zu reduzieren, wovon im Jahre 1996 durchschnittlich etwa

70 % erreicht worden waren /RWI 1997/. Fragt man nach den weiteren Reduktionspotentialen der nächsten 10 bis 20 Jahre beim industriellen Energieverbrauch, so sind folgende wichtige Einflüsse auf ihren Beitrag zu prüfen:

- die Rolle des industriellen Strukturmodells,
- die wirtschaftlichen Energieeffizienz- und Energiesubstitutionspotentiale,
- die bestehenden Hemmnisse und Marktunvollkommenheiten, Effizienzpotentiale zu realisieren, sowie
- die wesentlichen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen, welche die Gesamtentwicklung von Strukturwandel und Energieeffizienz mitbestimmen.

Im folgenden sei auf diese Einflüsse eingegangen, bevor ein Fazit zum Ausblick der Entwicklung der Energieintensität der deutschen Industrie gezogen wird.



¹⁾ ohne Mineralölverarbeitung

Abbildung 2-1: Entwicklung des spezifischen Brennstoff-, Strom- und Endenergieverbrauchs im Verarbeitenden Gewerbe zwischen 1970 und 1989, altes Bundesgebiet

2.2 Industrieller Strukturwandel – ein Gratisbeitrag für die Ziele von Kyoto

Da die Energieverbrauchsschwerpunkte der Industrie im wesentlichen in der Grundstoffindustrie liegen und die technologische Vielfalt in den meisten anderen Industriezweigen eine Identifizierung von Energieeffizienzpotentialen sehr aufwendig macht, liegt das

Hauptgewicht der Analyse zum Strukturwandel zu den Energieeffizienzpotentialen in den Branchen der Grundstoffindustrie und im Bereich der Querschnittstechnologien (Kesselanlagen, KWK, Drucklufterzeugung). Bei diesen (etwa 50) Technologiebereichen und mittels der Daten der IKARUS-Datenbank war es möglich, die Effizienzverbesserungen eindeutig sowohl als strukturell bedingte als auch als technologisch bedingte Veränderungen (vgl. Abschnitt 2) des spezifischen Energieverbrauchs zu definieren, während bei den Restbranchen nur die Veränderungen der Energieintensität, dem Verhältnis von Energieverbrauch und Nettoproduktionswerten geschätzt werden konnte.

Bevor man jedoch in die Zukunft über mehr als 20 Jahre projizieren will, ist es zunächst unumgänglich, möglichst einen größeren Zeitraum zurück in die Vergangenheit zu schauen, um die Größenordnung der verschiedenen Einflüsse von Energieeffizienz und Strukturwandel zu erfahren. Für die Periode 1975 – 1992 kommt man für die alten Bundesländer zu folgenden Ergebnissen (vgl. Tabelle 2-1):

- Der Rückgang der Endenergieintensität ist für den Gesamtsektor mit knapp 3%/a am ausgeprägtesten, wenn man einmal von dem Sektor Nichteisenmetalle mit 3,2%/a absieht. Dieses Ergebnis deutet bereits an, daß der interindustrielle Strukturwandel bereits seit den letzten 20 bis 25 Jahren zugunsten der energie-extensiven Branchen verläuft und somit den Endenergiebedarf relativ zum Anstieg der Nettoproduktion der Industrie verminderte.
- Die erfahrungsgemäß technologische Effizienzverbesserungen der Industrie bei etwa 1 bis 1,5% pro Jahr liegen, zeigt sich für die einzelnen Branchen der Grundstoffindustrie, daß dieser intra-industrielle Strukturwandel ganz erheblich sein und fast die Höhe des Effizienzeinflusses erreichen kann (z.B. durch Rückgang des Anteils der Hüttenaluminiumproduktion in der NE-Metallindustrie, vgl. Tabelle 2-1).

Ab 1990 kamen erhebliche Produktionseinbrüche in der ostdeutschen Industrie hinzu, so daß die dortige Grundstoffindustrie im Vergleich zur Gesamtproduktion heute eine relativ geringe Rolle spielt /DIW, ISI 1997/.

Für die zukünftige Entwicklung des **interindustriellen Strukturwandels** wurde auf die Ergebnisse des IKARUS-Projektes zurückgegriffen /Wagner, Stein erscheint Anfang 1999/, nach dessen Simulationsrechnungen der Strukturwandel zugunsten der energie-extensiven Branchen in den meisten Fällen weitergehen dürfte: die Investitionsgüterindustrie und die chemische Industrie nehmen überproportional zum Durchschnitt des Industriewachstums zu, während die Raten für Steine und Erden, NE-Metalle und die Eisen-schaffende Industrie deutlich unterdurchschnittlich verlaufen (vgl. Tabelle 2-2). Berechnet man diesen Strukturwandel als Einfluß auf den Energiebedarf der deutschen Industrie, so würde

- die Brennstoffintensität bis 2005 um durchschnittlich 0,7 % pro Jahr und die Stromintensität um etwa 0,4 % pro Jahr rückläufig sein;
- die Tendenz zu geringeren Energieintensitäten sowohl bei den Brennstoffen und Strom in der Periode 2005 bis 2020 noch etwas verstärkt.

Tabelle 2-1: Industrieller Strukturwandel und Energieintensität der westdeutschen Industrie 1975 – 1992

Branche	Veränderung der Endenergie- intensität 1975 - 1992	Faktoren des branchen- internen Strukturwandels
Steine und Erden	- 36 % -2,3%/a	Isolationsmaterial, Transportbeton, Betonfertigteile, Reifennutzung in der Zementherstellung
Eisenschaffende Industrie	- 28 % -1,9%/a	Ende des Siemens-Martin-Verfahrens, Zunahme Elektrostahl, hochqualitative Stähle
Nichteisenmetalle	- 42 % -3,2%/a	zunehmende Hüttenaluminium-Importe und rückläufige inländische Produktion von Hüttenaluminium
Chemische Industrie	- 30 % -2,1%/a	mehr Nettoimporte von Grundchemikalien; Wachstum, insbesondere in Sparten mit geringer Energieintensität (z.B. Pharmaka, Elektronikvorprodukte)
Zellstoff und Papier	- 38 % -2,7%/a	zunehmende Zellstoffimporte und Altpapierquote, Trend zu geringeren Flächengewichten u. hochqualitativen Papieren,
Industrie insgesamt	- 39,7 % -2,9%/a	höheres Wachstum in der Investitions- und Verbrauchsgüterindustrie (mit relativ geringer Energieintensität)

Tabelle 2-2: Nettoproduktionswerte 1995 des Verarbeitenden Gewerbes und deren Entwicklung bis 2020 (gemäß Resultaten des MIS-Modells)

Branche	Nettoproduktion 1995 in Mrd DM	Zuwachsraten in %/a	
		1995-2005	2005-2020
Steine und Erden	27,7 ¹⁾	0,29	0,60
Eisenschaffende I.	18,43 ¹⁾	±0	-0,50
NE-Metalle	17,30 ¹⁾	0,94	1,30
Gießereien	4,08 ¹⁾	1,67	1,35
Zellstoff und Papier	44,3 ¹⁾	1,21	0,80
Chemie	120,4	2,2	2,58
Fahrzeugbau, E.-Technik	269,4	1,8	1,90
Nahrungsmittel- industrie	109,5	1,6	1,10
sonstige Industrie	421,89	1,8	1,46
Industrie, insges.	1.033,0	1,7	1,6
¹⁾ etwas andere Abgrenzung in WZ 93 im Vergleich zu Sypro			

Gewiß wird man die Unsicherheiten der Abschätzung des industriellen Strukturwandels über eine derartig lange Zeit im Auge behalten müssen, aber die Ergebnisse zeigen, daß der Strukturwandeleinfluß in Zukunft von gleicher Bedeutung sein könnte, wie man es von der Energieeffizienz erwartet: etwa 1 % jährlich. Dies würde im Industriesektor die Bemühungen der Klimapolitik der Bundesregierung und der EU merkbar unterstützen.

Hinzu kommen die Einflüsse des Produktstrukturwandels innerhalb einzelner Branchen wie auch eines erhöhten stofflichen Recyclings energieintensiver Werkstoffe; letzteres führt zu einer verminderten Produktion in den vorgelagerten Stufen der Grundstoffherzeugung.

Analysiert man den Einfluß des intra-industriellen Strukturwandels auf die Entwicklung des Energiebedarfs der energieintensiven Industriezweige, so ergibt sich aufgrund der unterdurchschnittlich zunehmenden Produktion von 17 energieintensiven Grundstoffen innerhalb der Branchen der Grundstoff-Verbrauchsgüter und Nahrungsmittel-Industrie folgendes Bild für die Referenzentwicklung bis 2020 (vgl. Tabelle 2-3):

- Auf seiten des Brennstoffbedarfs reduziert sich der Energieeinsatz bis 2005 um etwa 0,5 % jährlich, bezogen auf den Brennstoffeinsatz der Industrie des Jahres 1995. Auf seiten des Strombedarfs ist dieser Einfluß als halb so groß einzuschätzen,

was in dieser Größenordnung zu einer Trendwende beim spezifischen Strombedarf der Industrie beitragen dürfte.

- Für die längerfristige Perspektive bis 2020 ist die Wahrscheinlichkeit hoch, daß sich dieser Einfluß des intra-industriellen Strukturwandels nicht nur erhält, sondern noch verstärkt, wenn die Produktionsannahmen zutreffen.

Tabelle 2-3: Intra-industrieller Strukturwandel in der deutschen Industrie 1995 bis 2005 und 2020

Grundstoff	Endenergie- bedarf 1995 in PJ	Strukturwandel- einfluß in PJ	
		2005	2020
Roheisen, Hütten- alum., Kupfer	411	- 65,3	-77,7
E-Stahl, Sek.-Alu Zement, Kalk	36,1	+9,5	+10,6
Ziegel	142	-27,1	-40,7
Chlor, Methanol, Ammoniak, PVC,	311	-26,5	-90,9
Olefine Aromaten	7,2	+0,1	-1,1
Zellstoff, Holz- schliff, Papier	130	+8,9	-7,7
Summe der 17			
Grundstoffe	1,038	-100,4	-207
bezogen auf EEV 95	47,6%	-4,6%	-9,5%

Diese strukturellen Verschiebungen bei den energieintensiven Grundstoffen sind allerdings nicht nur sättigungs- und recyclingbedingt, sondern auch durch einen veränderten Außenhandel an energieintensiven Grundstoffen, der schon seit vielen Jahren bei einigen Produkten in den Nettoexportzahlen rückläufig, wenn nicht gar bei Nettoimporten steigend ist. Bei einer Analyse für etwa 15 energieintensive Grundstoffe betrug die durch den veränderten Außenhandel in Deutschland vermiedene CO₂-Menge in den letzten 10 Jahren etwa 0,7 Mio t pro Jahr /Ziesing et al. 1997/.

2.3 Effizienzpotentiale der nächsten 20 Jahre: Erschöpfung oder Nachwuchs?

Zuweilen wird von Energiewirtschaftlern die Meinung geäußert, daß sich die Energieeffizienzpotentiale in der Industrie langsam erschöpfen; zum Teil spricht man vom "stair case-

Effekt", um anzudeuten, daß man sich nach Ausschöpfung der heute bekannten Energieeffizienzpotentiale dem theoretischen Minimum näherte. Es zeigt sich aber immer wieder, daß diese Vorstellung von den tatsächlichen Entwicklungen in Frage gestellt wurden und auch aufgrund folgender Faktoren auch nicht zutreffen dürften (vgl. /Jochem 1991/ und /de Beer 1998/ s. Tabelle 2-4):

Tabelle 2-4: Beispiele neuer Energieeffizienzpotentiale - Der staircase-Effekt in der Industrie findet nicht statt

VERMEIDUNG VON WÄRME- U. TREIBUNGSVERLUSTEN
-verbesserte Ofenauskleidung,
-Strahlungswände am Ofenausgang
-Wärmedämmung von Apparaten
-drehzahlgeregelte Antriebe für Medienströme
WÄRMERÜCKGEWINNUNG
-Glasscherbenvorwärmung
-Kompressorabwärmenutzung
-Wärmetransformatoren
VERMINDERUNG DER ENERGIEVERLUSTE
-Gasturbinen- und BZ-Einsatz statt Brenner
-Wärme-Cascading (nicht nur in der Chemie)
PROZEßSUBSTITUTION
-Membran-, Absorptions-, Kristallisations- u. Extraktionstechnik statt
thermischer Trennverfahren
-neue Katalysatoren und Enzyme
RECYCLING ENERGIEINTENSIVER WERKSTOFFE
-Polymere (PVC, PE, PP, PS)
-Alu, Zement, Ziegel, Asphalt

- Bei den Hochtemperaturprozessen ist die Verminderung von Abstrahlungsverlusten und die Wärmerückgewinnung wegen Materialschwierigkeiten und der fehlenden wirtschaftlichen Nutzungspotentiale der Abwärme noch ein riesiges Effizienzpotential (z.B. verbesserte Ofenauskleidungen, Strahlungswände an Ofenausgängen und Ofen Input-Vorwärmung).
- Die unausgeschöpften Potentiale der Wärmerückgewinnung umfassen auch Niedertemperatur-Anwendungen (z.B. in der Kunststoffherstellung) und Energiewandler (z.B. Kompressorabwärmenutzung).
- Bei Prozessen mit höherem Temperaturniveau und Kesselanlagen fallen riesige Exergieverluste an, die für die Industrie auf rund 85% geschätzt werden /de Beer 1998/. Auf diesen Feldern geht es in Zukunft sowohl um die Nutzung des Wärme-Cascading nach der pinch-Methode als auch den Einsatz von Gasturbinen und Brennstoffzellen anstelle von Brennern.
- Langfristig viel bedeutsamer ist die Substitution der Produktionsverfahren durch andere mit einem geringeren Nutzenergiebedarf und damit auch einem geringeren theoretisch minimalem Energiebedarf. Beispiele sind der Einsatz von Membranverfahren anstelle von thermischen Trennverfahren oder neue Katalysatoren oder Enzyme mit geringeren erforderlichen Temperaturen oder Betriebsdrücken.
- Da aber auch die energieintensiven Werkstoffe bisher nur in einem begrenzten Umfang zurückgenommen werden, eröffnet auch hier das verstärkte Recycling in vielen Fällen eine weitere Möglichkeit der Energieeinsparung.

Faßt man diese Erkenntnisse zusammen, so läßt sich feststellen, daß für eine heute nicht absehbare Zeit – sicherlich für viele Jahrzehnte – die technischen und wirtschaftlichen Energieeffizienzpotentiale durch Forschung und Entwicklung immer wieder erweitert werden und der Zeitpunkt der Erschöpfung dieser "Energiequelle" nicht absehbar ist.

2.4 Energie-Effizienzpotentiale nach wie vor gehemmt

Rechnungen mit energiewirtschaftlichen Optimierungsmodellen (z.B. /Gerster 1996/ und /Ziesing et al. 1997/) bestätigen in allgemeiner Form das, was der beratende Ingenieur aus seinen vielen Betriebsbegehungen im einzelnen kennt: Das rentable Energieeinsparpotential liegt - zwar je nach Branche und Produktion unterschiedlich - zwischen 15 bis 30 % und manchmal in einigen Betrieben noch darüber. In erheblichem Umfang infolge bestehender Hemmnisse unausgeschöpft sind aber diese Potentiale auf zwei Gebieten:

- Alte und abgeschriebene Produktionsanlagen haben trotz spezifisch hohem Energieverbrauch vergleichbare Gesamtkosten wie Neuanlagen. Die Unternehmen warten zu und investieren in anderes. Manch abgeschriebene Produktionsanlage in der

westdeutschen Industrie steht zur Reinvestition in den kommenden Jahren an. Den meisten gemeinsam ist ein rentables Energieeinsparpotential von 10 bis 25 %.

- Aber auch in dem sorgfältigeren Betrieb und bei Reinvestitionen der "off-sites" stecken ganz erhebliche wirtschaftliche Effizienzpotentiale: neue oder besser betriebene Drucklufterzeugungs- oder -verteilungssysteme (meist mehr als 30 %), neue Kälte- und Klimatisierungsanlagen (meist mehr als 25 %), neue elektronisch gesteuerte Elektromotoren (häufig mehr als 25 %), effiziente Beleuchtungsanlagen und nicht zuletzt KWK-Anlagen anstelle von Kesselanlagen und Strombezug.

Diese Potentiale dürften im wesentlichen auch den technisch-ökonomisch realen Hintergrund darstellen, wenn die meisten energieintensiven Industriezweige sich im März 1995 in einer freiwilligen Selbstverpflichtung zu besonderen Anstrengungen zur Minderung von CO₂-Emissionen festgelegt und diese Verpflichtung im März 1996 mit teilweise verbesserten Zielsetzungen gegenüber der Bundesregierung wiederholt haben /BDI 1996/. Warum diese rentablen Energieeffizienzpotentiale unausgeschöpft sind, darüber wurde bisher in Deutschland nur wenig systematisch geforscht. Die **bestehenden Hemmnisse** sind nicht nur der Ausdruck der Alltagssituation kleiner und mittlerer Unternehmen /Gruber, Brand 1990/, sondern auch bei großen Unternehmen mit relativ geringeren Energiekostenanteilen am Umsatz oder beim Zusammenspiel zwischen Industriebetrieb und seinem Stromversorger zu beobachten.

Soweit das IKARUS-LP-Modell über einzeltechnologische Platzhalter zur Simulation konkreter Produktionstechniken und Querschnittstechnologien Aussagen trifft, sind die realen Hemmnisse in den Rechenläufen nicht abgebildet, d. h., das volle technisch-ökonomische Potential wird den zukünftigen Energiebedarf und zugeordnete CO₂-Emissionen auf einem geringeren Niveau ausweisen, als man es im Sinne einer Prognose wird erwarten können. Insofern kann man auch die Differenz von einem für ein Prognosejahr erwarteten Energiebedarf (z. B. nach /Prognos 1995/) zu dem vom IKARUS-LP-Modell ausgewiesenen Energiebedarf als die Dimension des gehemmten Potentials interpretieren. Dieser Vergleich wurde erstmals auch bei der Formulierung von Klimapolitikzenarien genutzt /Ziesing et al. 1997/.

Es wird die Aufgabe der Forschung in den kommenden Jahren sein, die Hemmnisse der Energieeffizienz in geeigneter Form explizit in energiewirtschaftlichen Modellen abzubilden, um die bisher unbefriedigende Abbildung der Entscheidungs- und Verhaltensprozesse beim Einsatz von Energie in der Industrie merklich zu verbessern. Dabei wird man die empirische Forschung verstärken müssen, um die erforderlichen Daten zur Bestimmung der Indikatoren wie z.B. die Betriebsgröße, die Energiekostenanteile und das Ausmaß der realisierten Energieeinsparpotentiale zu erhalten und korrelieren zu können (vgl. Abbildung 2-2)

Dabei wird man die empirische Forschung verstärken müssen, um die erforderlichen Daten zur Bestimmung der Indikatoren wie z.B. die Betriebsgröße, die Energiekostenanteile und das Ausmaß der realisierten Energieeinsparpotentiale zu erhalten und korrelieren zu können (vgl. Abbildung 2-2)

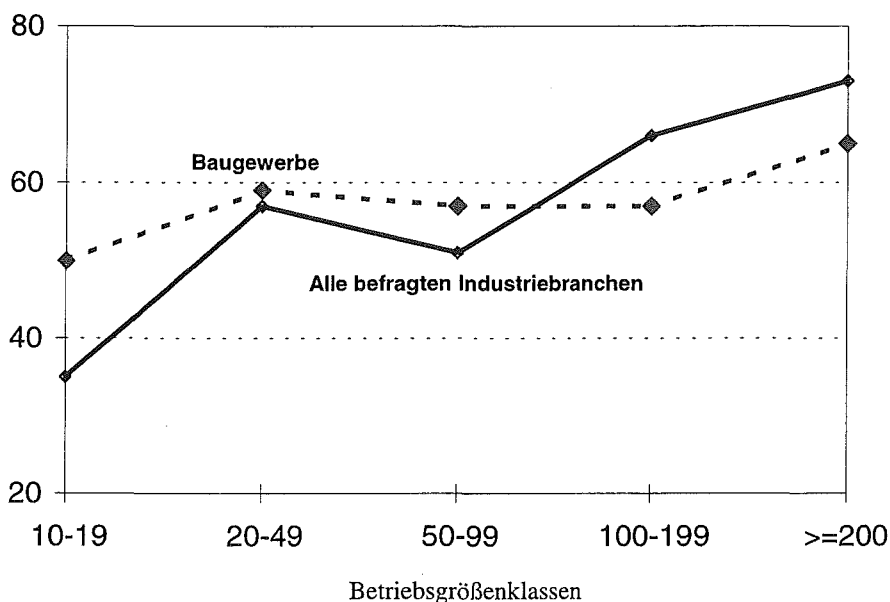


Abbildung 2-2: Anteil der durchgeführten Energieeinsparinvestitionen in % der insgesamt rentablen Investitionsmöglichkeiten in Abhängigkeit der Betriebsgröße

2.5 Perspektiven des industriellen Energiebedarfs für die nächsten 20 Jahre

Analysiert man die jüngeren Projektionen zum Energiebedarf der deutschen Industrie, so erwartet Prognos (1995) eine Abnahme der Brennstoffintensität zwischen 1992 und 2005 um 33 % (oder 3 % jährlich) und der Stromintensität um 16 % (oder 1,3 % jährlich). Das IKARUS-Modell kommt aus o.g. Gründen in einer vergleichbaren Referenzentwicklung für den gleichen Zeitraum zu etwas höheren Werten von 3,5 % jährlich bei der Brennstoffintensität und um 2,3 % jährlich bei der Stromintensität /Jochem, Bradke 1996/. Beiden Projektionen gemeinsam ist der absolute Rückgang des Brennstoffbedarfs um etwa 8 % auf rd. 1730 PJ und der leichte Anstieg des industriellen Strombedarfs um 9 bis 15 % auf 740 bzw. 785 PJ bis zum Jahre 2005.

Im Vergleich zur Entwicklung der letzten 20 Jahre läßt sich nach Studium der Einzeldaten in den Projektionen des IKARUS-Instrumentariums folgendes feststellen:

- Energieeffizienz-Investitionen in Industrieöfen (heute 880 PJ/a), in Trockner (heute 320 PJ/a), in Kesselanlagen und andere Prozeßwärmenutzung sind weiterhin zu erwarten: sauerstoff- statt luftbetriebene Industrieofenbrenner vermeiden die unnötige Aufheizung des Luftstickstoffs, mancher Drehrohrofen, Tunnelofen oder Schachtofen wird reinvestiert oder erhält eine verbesserte Prozeßregelung, manche Rektifikationskolonne wird reinvestiert, und Papiermaschinen erhalten eine bessere Entwässerung vor der Trockenpartie, Heißdampf- statt Heißlufttrocknung, Brennwertnutzung, Abwärmenutzung aus Kompressoren und vieles mehr. Hinzu kommen Substitutionen von Brennstoffnutzung durch Stromanwendungen.
- Die Stromeffizienz-Investitionen gewinnen an Bedeutung, weil Automation, Mechanisierung und Umweltschutz weitgehend zum Abschluß gekommen sind. Der Trend zum integrierten energie- und umwelttechnischen Fortschritt macht zunehmend eine Abwärmenutzung, Abfallbehandlung oder Abwasservorklärung überflüssig. Pumpen und Ventilatoren dieser "off-sites" laufen in Zukunft langsamer und seltener. Zunehmend entdeckt man hohe unnötige Stromkosten bei Druckluft- und Kältesystemen, Beleuchtung, Pumpen, Ventilatoren und Sichern.
- Die Umwelt profitiert von diesen Effizienzverbesserungen und Energieträgersubstitutionen auf der Brennstoffseite, während der Strommehrverbrauch wegen der größeren spezifischen CO₂-Emissionen pro Energieeinheit die Erfolge zu einem merklichen Teil wieder kompensiert. Brennstoffseitig gehen die industriellen CO₂-Emissionen bis 2005 um 23 Mio. t oder 15 % auf etwa 130 t CO₂ zurück. Aber per saldo bleibt wegen des höheren Strombedarfs und des Produktionswachstums für das Klima nur ein Gewinn von etwa 15 Mio. t, d.h. weniger als 10 % gegenüber 1995.

2.6 Fazit

Insgesamt sind diese Perspektiven in ihren einzelnen Bestimmungsfaktoren nachvollziehbar (vgl. Abbildung 2-3), und sie wären um so erfreulicher, je intensiver es der Wirtschaft selbst und der Energiepolitik gelänge, die oben angesprochenen Hemmnisse abzubauen. Ob die jüngste Vereinbarung zu einer stufenweisen Liberalisierung der Strom- und Gaswirtschaft innerhalb der EU hier einen sinnvollen Beitrag verbesserter Rahmenbedingungen leistet, ist noch nicht absehbar /Jochem, Tönsing 1998/. Jedenfalls ist das Contracting ein großer Hoffnungsträger, der jene Effizienzpotentiale mobilisiert, die die Betriebe mit ihrer kurzatmigen Amortisationszeiten-"Guillotine" abschneiden. Was die Selbstverpflichtungen der deutschen Industrie und der Einzelverbände betrifft, so hört man aus der

Wissenschaft mehr Skepsis als Zustimmung /Wuppertal-Institut 1997/ und /Kübler 1998/. Die Industrie wird mit ihren Nachweisen, wo sie seit 1995/1996 zusätzliche Anstrengungen unternommen hat, in Zukunft die Bundesregierung und die Wissenschaft überzeugen müssen, daß Skepsis zu Unrecht geäußert wurde und daß bestehende Hemmnisse durch Maßnahmen der Wirtschaft selbst überwunden werden. Das wäre ein Innovationsprozeß, wie ihn der Standort Deutschland braucht. Japan und manche kleinere europäische Länder sind da schon weiter, wie es sich an den Außenhandelsstatistiken für energieeffiziente Industriewaren und Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen schon abzuzeichnen scheint.

Strukturwandel in der Produktion	Energieträgersubstitution	rationelle Energieanwendung
- industrieller Strukturwandel	- Erdgas statt Heizöl, Kohle oder Dampf	- Verminderung von Wärme- u. Reibungsverlusten
- Zunahme der Netto-Importe energieintensiver Grundstoffe (z.B. Al, Cu)	- effiziente Stromnutzung statt Brennstoffen oder Dampf	- Wärmerückgewinnung
- Trends zu know-how intensiven Produkten	- brennbare Abfallsstoffe u. Erneuerbare statt Brennstoffe	- Prozeßsubstitution
- zunehmender Dienstleistungsgehalt in der industriellen Produktion		- Recycling energieintensiver Werkstoffen

Abbildung 2-3: Übersicht über Bestimmungsfaktoren der Veränderungen der Energieintensität des Verarbeitenden Gewerbe

Ohne Zweifel bestehen bei vielen Schätzdaten zur Entwicklung der Effizienzpotentiale, ihrer Kosten und zur Produktionsentwicklung erhebliche Unsicherheiten. Gerade die technologische Entwicklung wird über einen langen Zeithorizont von mehr als 20 Jahren von Ingenieuren und Naturwissenschaftlern eher unterschätzt, zumindest bei Technologien, die einen Reinvestitionszyklus von weniger als 20 Jahren haben. Denn die konkreten maschinen- und anlagentechnischen Lösungen zeichnen sich langfristig noch nicht so klar ab, als daß Technologen präzise Angaben zu technischen und Kostendaten machen möchten. Insofern sind für lange Zeithorizonte statistische Verfahren zur Schätzung der Energieeffizienzentwicklung eher geeigneter, falls neue strukturelle Veränderungen ausgeschlossen werden können.

Sättigungsprozesse bei Endverbrauchern und Infrastrukturaufbau, Rückgang des spezifischen Materialeinsatzes je Funktion, intensivere Rückgewinnung von energieintensiven Werkstoffen als Sekundärrohstoff, veränderter Außenhandel energieintensiver Zwi-

schenerzeugnisse und Materialsubstitutionen werden zu einem erheblichen Strukturwandel und zu weniger energieintensiven Produktionen beitragen. Diese Effekte werden derzeit noch unterschätzt, zum Teil irrtümlich einer technischen Effizienzverbesserung zugeschrieben.

Die immer wieder geäußerte Meinung, der spezifische Energiebedarf könne durch weitere Effizienzsteigerung kaum noch gesenkt werden und man nähere sich dem theoretischen Minimum, erkennt technologische Möglichkeiten und Entwicklungstrends der kommenden zwei Jahrzehnte: Unnötig zu erwärmende Stoffströme - seien es der Stickstoff in der Verbrennungsluft, das Wasser als Lösemittel oder seien es Produktionsstufen mit Fehlchargen, Verschnitt oder Stäube - werden zunehmend vermieden; energieintensive Verfahren werden durch weniger energieintensive ersetzt, z.B. durch Membranverfahren, neue Katalysatoren, Enzyme, Gentechnik, endabmessungsnahes Gießen von Metallen oder Lasertechniken statt mechanischer Zerspanung. Neben der Absenkung des spezifischen Nutzenergiebedarfs durch die Prozeßsubstitution besteht bei der Prozeßwärmeerzeugung vielfach die Chance, die exergetische Nutzung von Brennstoffen und Strom wesentlich zu verbessern, indem z.B. in Öfen und Trocknern vielfach Gasturbinen statt Brenner eingesetzt werden oder Elektroenergie substituiert werden kann.

Bei diesen Überlegungen müssen die derzeitigen Kosten neuer Techniken nicht auf Dauer hoch bleiben, denn Lerneffekte und economies of scale eröffnen neue wirtschaftliche Potentiale. Diese Potentiale von Strukturwandel, Energieeffizienz und Produktionentwicklung führen zuzüglich den Brennstoffsubstitutionsmöglichkeiten zum Fazit, daß der spezifische Energiebedarf der Industrie auch in den kommenden zwei Jahrzehnten mit deutlich mehr als einem Prozent pro Jahr weiter rückläufig sein wird (und für spezifische CO₂-Emissionen eher bei gut 2 % pro Jahr).

In Analogie zur Reservenseite der nicht-erneuerbaren Energieträger könnte man sagen: Die statische Reichweite der wirtschaftlichen Energieeffizienzpotentiale von zwei Jahrzehnten bleibt auf absehbare Zeiträume konstant. Die hinter dieser Schlußfolgerung liegenden Erklärungen und realen Antriebskräfte technologischer, wirtschaftlicher und unternehmerischer Art sind übrigens die gleichen wie beim Energieangebot.

Literatur

/BDI 1996/

BDI (Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.): Dokumentation: Aktualisierte Erklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge, Köln 27. März 1996

/de Beer 1998/

de Beer, J.G.: Potential for industrial energy efficiency improvement in the long term. Dissertation Univ. of Utrecht, Niederlande 1998

/DIW, ISI 1997/

DIW, ISI: Ursachen der CO₂-Entwicklung in Deutschland in den Jahren 1990-1995. Forschungsbericht Berlin und Karlsruhe 1997

/Gerster 1996/

H.J. Gerster: IKARUS: Erste Ergebnisse einer CO₂-Reduktionsstrategie für das Jahr 2005. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), 4, S. 200-207, 1996

/Gruber, Brand 1990/

E. Gruber, M. Brand: Rationelle Energiewirtschaft der mittelständischen Wirtschaft. Verlag TÜV Rheinland, Köln 1990

/Jochem, Tönsing 1998/

E. Jochem, E. Tönsing: Die Auswirkungen der Liberalisierung der Strom- und Gasversorgung auf die rationelle Energieverwendung in Deutschland. In: UmweltWirtschaftsForum - uwf - zum Thema 'Ökologische Impulse auf dem Energiemarkt'; Herbst 1998

/Jochem 1991/

E. Jochem: Long-term potentials of rational energy use – the unknown possibilities of reducing greenhouse gas emissions. Energy & Environment, Volume 2, Number 1, 1991

/Jochem, Bradke 1996/

E. Jochem, H. Bradke: Energieeffizienz, Strukturwandel und Produktionsentwicklung der deutschen Industrie. Monographien des Forschungszentrums Jülich, Band 19, Jülich 1996

/Kübler 1998/

K. Kübler: Selbstverpflichtungen als Instrument der Klimavorsorge. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 48. Jg. (1998) Heft 5, 1998

/Prognos 1996/

Prognos: Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020. Basel 23. Oktober 1995, Schäfer-Pöschel Verlag, Stuttgart 1996

/RWI 1997/

RWI: CO₂-Monitoring der deutschen Industrie – ökologische und ökonomische Verifikation. Band 1. Essen 1997

/Wagner, Stein erscheint Anfang 1999/

H. F. Wagner, G. Stein: Strategien zum Klimaschutz in Deutschland 2000 – 2020. Das IKARUS-Projekt. Springer Verlag (erscheint Anfang 1999)

/Wuppertal Institut 1995/

Wuppertal Institut: Erklärung der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge: Königsweg oder Mogelpackung? Wuppertal Papers Nr. 39, Juli 1995

/Ziesing 1997/

H. J. Ziesing: Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO₂-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005. In: Politiksznarien für den Klimaschutz. G. Stein und B. Strobel (Hrsg.). Reihe Umwelt Band 5 Forschungszentrum Jülich 1997, S. 271-275

3 Politiksszenarien für den Klimaschutz - Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO₂-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005

Dr. Hans-Joachim Ziesing

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung

Königin Luise Straße 5, 14195 Berlin, Tel: 030/89789-0

3.1 Einleitung

In dem auf der 3. Vertragstaatenkonferenz in Kyoto unterzeichneten Protokoll wurden für die sog. Annex I-Länder bestimmte Reduktionsquoten für Treibhausgase festgelegt, die innerhalb der Periode von 2008 bis 2012 gegenüber 1990 erreicht werden sollen /United Nations 1997/. Gemittelt über alle betroffenen Länder ergibt sich dabei eine Reduktionsquote von 5,2 %. Diese Verpflichtungen bleiben weit hinter den ursprünglichen Vorstellungen der EU und insbesondere der Bundesregierung zurück. Hatte die EU zunächst eine Reduktionsquote von 15 % bis zum Jahre 2010 vorgeschlagen, so ist sie nun insgesamt lediglich zu einer solchen von 8 % verpflichtet.

Dabei macht das Protokoll von Kyoto für die Länder innerhalb der EU keine Unterschiede. Auch für Deutschland wird somit nur von einer solch geringen Reduktion ausgegangen /EU-Umweltminister Luxemburg 1998/. Dies aber steht im Widerspruch zu dem nicht nur bis zur Kyoto-Konferenz, sondern auch noch danach von der Bundesregierung propagierten Ziel, in Deutschland zumindest die CO₂-Emissionen bereits bis zum Jahre 2005 gegenüber 1990 um rund ein Viertel zu verringern. Hier sei nur ergänzend bemerkt, daß die beiden „Klimaschutz“-Enquete-Kommissionen des 11. Und 12. Deutschen Bundestages bis Mitte des kommenden Jahrhunderts weltweit eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 50 % und für die Deutschland sogar um 80 % für erforderlich gehalten haben (Abbildung 3-1).

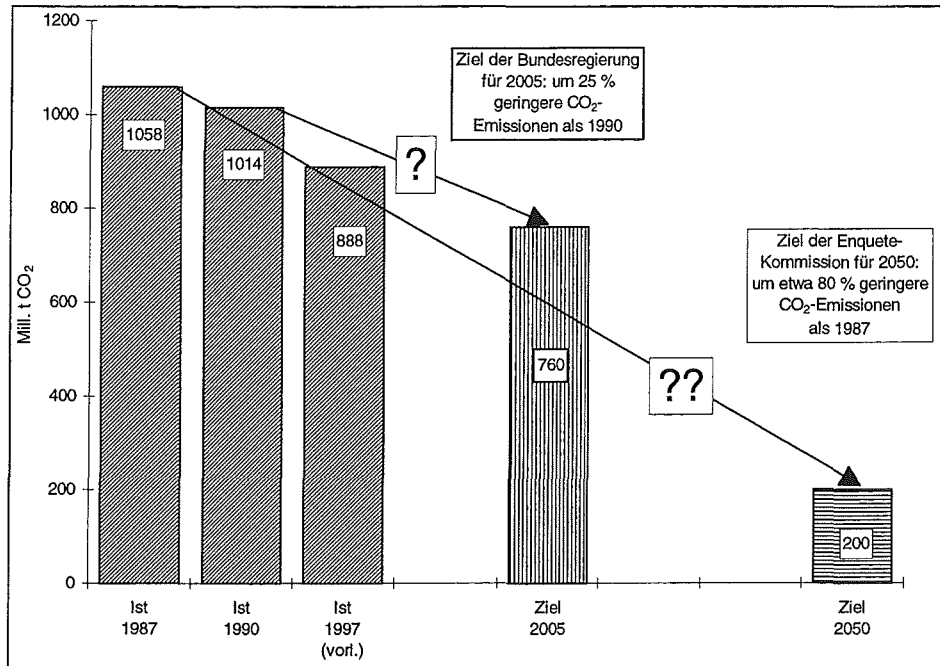
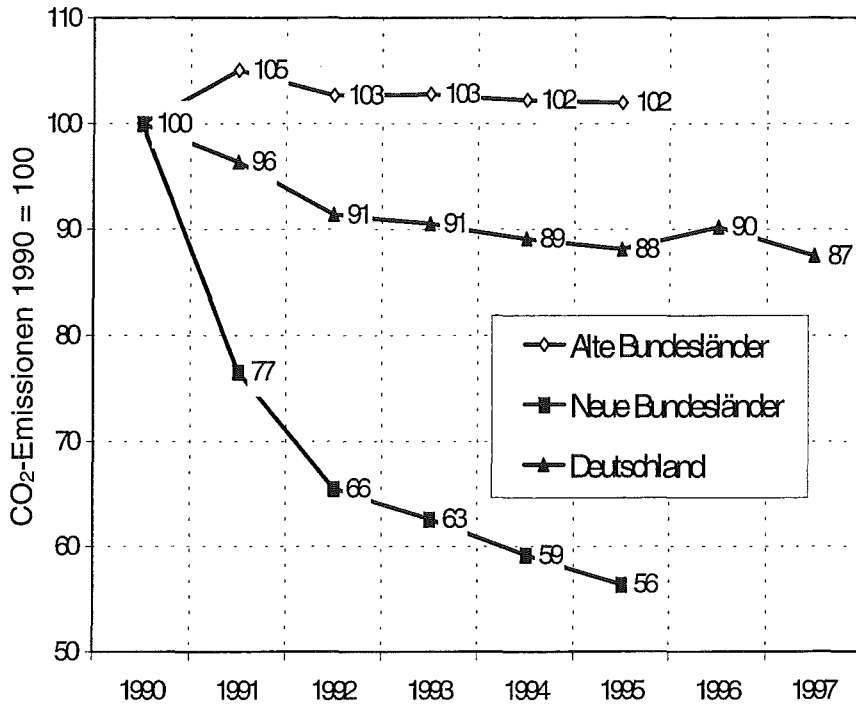


Abbildung 3-1: CO₂-Emissionen in Deutschland: Ist bis 1997 sowie Reduktionsziele für 2005 und 2050. Quellen: Umweltbundesamt; AG Energiebilanzen; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“, des 11. Deutschen Bundestages; Berechnungen des DIW.

Vielfach sind Zweifel daran geäußert worden, daß das von der Bundesregierung bis 2005 angestrebte Ziel tatsächlich realisiert werden kann. Tatsächlich sprechen alle Prognosen, die in den vergangenen Jahren vorgelegt worden sind, dagegen. Die ESSO AG kommt beispielsweise in ihrer jüngsten Vorausschätzung zu dem Ergebnis, daß die CO₂-Emissionen in Deutschland im Jahre 2005 nur um etwa 13 % unter dem Niveau im Jahre 1990 liegen dürfte; bis 2010 wird kaum ein stärkerer Rückgang erwartet (ESSO 1997). Eine derartige Reduktion ist allerdings bereits bis heute erreicht, denn die CO₂-Emissionen waren in Deutschland im vergangenen Jahr - also 1997 - schon um 12,5 % (temperaturbereinigt sogar 14,2 %) niedriger als 1990. Allerdings ist diese Minderung im wesentlichen das Resultat der grundlegenden Veränderungen in den neuen Bundesländern. Dort sanken die CO₂-Emissionen von 1990 bis 1995 (für die Jahre danach ist ein getrennter Ausweis für die alten und neuen Bundesländer nicht mehr möglich) immerhin um rund 44 %, während sie in dieser Periode in den alten Bundesländern noch um 2 % höher ausfielen (Abbildung 3-2).



Quellen: Umweltbundesamt; AG Energiebilanzen; Berechnungen des DIW.

Abbildung 3-2: Entwicklung der CO₂-Emissionen in Deutschland von 1990 bis 1997

3.2 Zur Untersuchung „Politiksznarien für den Klimaschutz“

Auf Deutschland insgesamt bezogen sind also zur Verwirklichung der von der Bundesregierung für das Jahr 2005 gesetzten Ziele noch erhebliche zusätzliche Anstrengungen erforderlich, um die für dieses Jahr - je nach Prognose - erwartete „Lücke“ von 70 bis 150 Mill. t CO₂ zu schließen. Vor diesem Hintergrund sollte unter Nutzung des IKARUS-Modells untersucht werden, auf welchem Wege bei Umsetzung wirksamer klimaschutzpolitischer Maßnahmen das Reduktionsziel für 2005 trotz der bis dahin nur kurzen Zeit noch erreicht werden könnte.

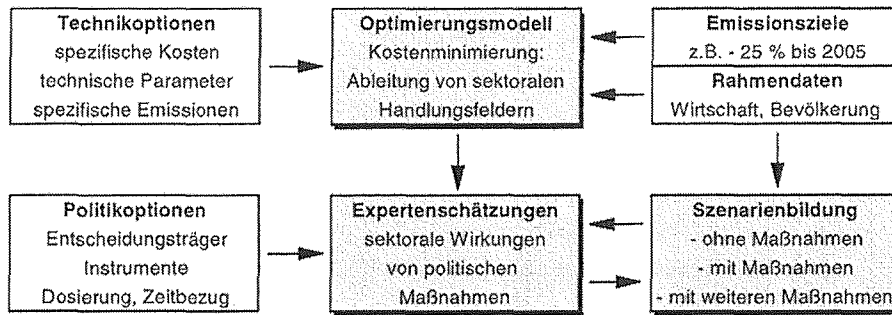
Mit dieser Aufgabe wurden vom Umweltbundesamt das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) das Forschungszentrum Jülich mit der Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (FZ-STE), das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI) sowie das Öko-Institut beauftragt. Dabei gab es innerhalb dieses Projektes die folgende, sektoral orientierte Arbeitsteilung:

FhG-ISI	bearbeitete die klimaschutzpolitischen Maßnahmen für die Sektoren Industrie sowie Kleinverbraucher (einschließlich der Kraft-Wärme-Kopplung in diesen Bereichen).
FZ-STE	führte die Rechnungen mit dem IKARUS-Modell durch und befaßte sich speziell mit dem Bereich Raumwärme im Haushaltssektor.
Öko-Institut	untersuchte die Segmente Elektrogeräte sowie Warmwasserbereitung im Sektor Haushalte.
DIW	hatte die Federführung und Koordination, bearbeitete die übrigen Bereiche, also Verkehr, Energiewirtschaft, erneuerbare Energiequellen und faßte die Ergebnisse zu Szenarien zusammen.

Die entsprechende Veröffentlichung mit dem Titel „Politiksszenarien für den Klimaschutz - Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO₂-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005 -“, die im übrigen auf einer Pressekonferenz Anfang Dezember 1997 von der Bundesministerin für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Frau Merkel, vorgestellt wurde, liegt seit Dezember 1997 vor /Ziesing et al. 1997/. Parallel dazu ist ein weiterer Band veröffentlicht worden mit dem Titel „Emissionsminderungsmaßnahmen für Treibhausgase, ausgenommen energiebedingtes CO₂“ /Schön et al. 1997/. Inzwischen ist auch als Ausfluß dieser Arbeiten eine Publikation mit dem Titel „Methodik-Leitfaden für die Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung“ erschienen /Diekmann et al. 1998/.

3.3 Anwendung des IKARUS-Modells

Ausgangspunkt der Untersuchung war die Überlegung, daß es möglich sein müsse, das IKARUS-Modell für die konkrete Anwendung und Evaluierung klimaschutzpolitischer Maßnahmen nutzbar zu machen. Eine unmittelbare Übersetzung der Ergebnisse des technisch orientierten IKARUS-Optimierungsmodells in konkrete klimaschutzpolitische Maßnahmen war allerdings schon von der Sache her nicht möglich. Deshalb haben wir einen kombinierten Ansatz gewählt (Abbildung 3-3)



Quelle: Diekmann et al., 1998

Abbildung 3-3: Kombiniertes Vorgehen zur Ableitung von Politiksszenarien

Vom Vorgehen her wurde dabei das IKARUS-Modell wie folgt für die Ableitung der Politiksszenarien eingesetzt:

1. Formulierung eines Referenzszenarios für das Zieljahr 2005 ohne Emissionsreduktionsziele.
2. Vorgabe einer Minderung der CO₂-Emissionen um 25 % (2005 gegenüber 1990) für ein Reduktionsszenario. Das IKARUS-Modell ermittelt, mit welchem Technikmix dieses Ziel kostenminimal zu erreichen ist.
3. Der Vergleich des Reduktionsszenarios mit der Referenzentwicklung zeigt mögliche Handlungsfelder. Es können die CO₂-Minderungsbeiträge der einzelnen Sektoren, Technikkombinationen innerhalb der Sektoren sowie die entsprechenden Mehrkosten angegeben werden.
4. Die identifizierten Handlungsfelder bzw. Technikkombinationen bilden den Hintergrund für die Wirkungsanalyse politischer Maßnahmen mit Hilfe von Expertenschätzungen.

3.4 Wirkungsanalyse und Maßnahmenkategorien

Ein zentrales Element der Untersuchung war die Wirkungsanalyse klimaschutzpolitischer Maßnahmen. Dabei bestehen methodische Problemen vor allem in folgenden Bereichen:

- Die Wirkungen von politischen Maßnahmen oder Maßnahmenbündeln lassen sich empirisch häufig nur schwer von anderen Einflußgrößen isolieren und bestimmten Akteuren (z.B. EU, Bund, Länder, Kommunen, Verbände, Unternehmen) eindeutig zurechnen.

- Mit dem Einsatz von einigen Instrumenten (z.B. Energiesteuern, CO₂-Zertifikate, grüne Tarife, kooperative Beschaffung) konnten noch keine Erfahrungen im jeweiligen nationalen Kontext gemacht werden.
- Die Effekte neuer Instrumente (z.B. Umweltfonds mit steuerfreier Ausschüttung in den Niederlanden) oder Maßnahmenbündel in anderen Ländern (z.B. das amerikanische Elektromotoreffizienz-Programm) sind wegen anderer nationaler Rahmenbedingungen nur begrenzt oder mit großen Unsicherheiten übertragbar.
- Aufgrund von substitutiven oder komplementären Wirkungsbeziehungen zwischen einzelnen Maßnahmen können die Wirkungen von Maßnahmenkombinationen oder Programmen nicht einfach als Summe von Einzeleffekten bewertet werden.
- Besonders schwierig sind die Bewertungen von qualitativen Maßnahmen, die meistens auch nur indirekt Investitions- oder Organisationsentscheidungen beeinflussen (z.B. Motivation, Beratung, Fortbildung), möglicherweise aber essentiell für die Breitenwirkung einer anderen Maßnahme sind (z.B. von Verordnungen, finanziellen Anreizen).

Im Rahmen des kombinierten Ansatzes wurde zur Wirkungsabschätzung ein sektoral differenziertes Vorgehen gewählt, wobei sich die auf Expertenebene durchgeführten sektoralen Schätzungen an folgenden Arbeitsschritten orientiert haben:

1. Definition, Klassifikation und möglichst genaue Beschreibung der Maßnahme oder des Maßnahmenbündels.
2. Schätzung der Primärwirkungen (auf unmittelbar von der Maßnahme Betroffene, z.B. Investoren und Energieverbraucher).
3. Schätzung der Sekundärwirkungen (z.B. Ausstrahlungseffekte, Mitnahmeeffekte).
4. Schätzung der ausgelösten technischen Maßnahmen (z.B. Errichtung von Anlagen).
5. Berechnung der energiewirtschaftlichen Auswirkungen (z.B. Energieeffizienz- und Substitutionseffekte).
6. Berechnung der Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen.
7. (soweit möglich) weitere (qualitative) Bewertungen der Maßnahme nach umwelt- und gesamtwirtschaftlichen sowie sozialen Kriterien.

In unterschiedlichem Umfang sind in den einzelnen Sektoren auch die jeweiligen Kategorien von Maßnahmen berücksichtigt worden, und zwar (gegliedert nach abnehmender Eingriffsintensität des Staates):

- ordnungsrechtliche Maßnahmen (Ver- und Gebote)
- preispolitische Maßnahmen (Preise, Tarife, Steuern)
- Subventionen (Steuererleichterungen, Finanzierungshilfen, Zuschüsse)
- Infrastrukturmaßnahmen (insbesondere Investitionen der Gebietskörperschaften)

- Forschungsförderung (insbesondere finanzielle Projektförderung)
- Informationsmaßnahmen (Beratung, Information, berufliche Aus- und Fortbildung)
- Selbstverpflichtungen (aufgrund von Verhandlungen mit anderen Akteuren)
- sonstige Maßnahmen (z.B. kooperative Beschaffung, Energiedienstleistungen)

Dabei waren die jeweils spezifischen Aspekte der Wirkungsanalyse in Abhängigkeit von der jeweils gewählten Maßnahmenart zu beachten (Abbildung 3-4).

Maßnahmenarten	Spezifische Aspekte der Wirkungsanalyse
Ordnungsrechtliche Maßnahmen	Geltungsbereich, Ausnahmeregelungen, Bestandsschutz (z.B. Gebäude, Fahrzeuge), Bauvolumen, Überwachungsmaßnahmen, Ausweichmöglichkeiten, Konkurrierende Optionen, Hemmnisse, Sanktionen
Preispolitische Maßnahmen	Ausgestaltung von Steuern, Ausnahmetatbestände, Kompensationsmöglichkeiten, Preiselastizitäten des Energieverbrauchs, Substitutionselastizitäten, Effekte der Mittelverwendung, Rentabilität von Effizienz- und Substitutionsinvestitionen
Subventionen	Fördersätze, -volumen, -kontinuität, Antragsverfahren, Rentabilität von Investitionen, Mitnahme- und Ausstrahlungseffekte, Institutionelle Hemmnisse, Finanzierungsbedingungen, Substitutionseffekte
Infrastrukturmaßnahmen	Nutzungsintensität, Zielgruppen, Vorbildfunktion, Substitutionseffekte, Konkurrierende Investitionsvorhaben
Forschungs- und Entwicklungsförderung	Technologischer Entwicklungsstand, Marktnähe, Fristigkeit der Ausreifung, Verbreitungspotential, Qualitäts- und Kosteneffekte, konkurrierende Systeme, Akzeptanzrestriktionen
Information, Beratung und Fortbildung	Relevanz bestehender Informationsdefizite, Zielgruppen, Multiplikatoren, Meinungsbildung, Akzeptanz, Motivation, Hemmnisabbau,
Selbstverpflichtungen	Identifikation besonderer Anstrengungen (im Vergleich zur Ohnehin-Entwicklung), Konkurrenzverhältnis zu anderen Maßnahmen (insbesondere ordnungs- und preispolitischen Maßnahmen) Kompensationsmöglichkeiten
Sonstige Maßnahmen wie Kooperative Beschaffung, Energiedienstleistungen	Potentiale der Kostendegression, Lernkurven, Größenvorteile, Beteiligung, Akzeptanz Effekte der Professionalisierung und Spezialisierung

Quelle: Diekmann et al., 1998.

Abbildung 3-4: Maßnahmenspezifische Aspekte von Wirkungsanalysen

3.5 Die Szenarien

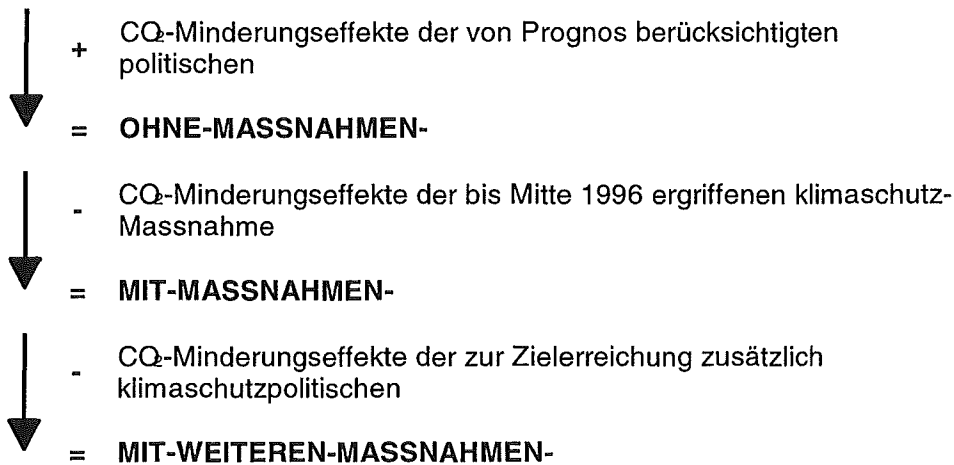
Zentraler Schwerpunkt der Untersuchung war letztlich die sektorale Analyse konkreter politischer Maßnahmen zur Minderung der CO₂-Emissionen und die quantitative Abschätzung ihrer Reduktionswirkungen. Darauf aufbauend waren Szenarien zu beschreiben, die in einer Zusammenschau über alle Sektoren ein geschlossenes Bild über die Entwicklung der CO₂-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005 geben sollten.

Im Hinblick auf die Szenarien für 2005 haben wir in Anlehnung an die entsprechenden internationalen Vereinbarungen drei Fälle unterschieden:

- In einem „*Ohne-Maßnahmen-Szenario*“ wird unterstellt, daß zielgerichtete klimaschutzpolitische Maßnahmen weder in der Vergangenheit ergriffen wurden noch in Zukunft erwartet werden können, so daß die Veränderungen der CO₂-Emissionen ausschließlich eine Folge „normaler“ Entwicklungsprozesse sind³. Dieses Szenario ist als theoretisches Konstrukt zu werten, um unterschiedliche Politikintensitäten zwischen den Annex-I-Staaten identifizieren zu können.
- Demgegenüber beschreibt ein „*Mit-Maßnahmen-Szenario*“ eine Entwicklung, bei der alle bisher (bis Mitte 1996) tatsächlich umgesetzten klimaschutzpolitischen Maßnahmen berücksichtigt werden. Entsprechend der Charakterisierung nach den FCCC-Guidelines bleiben hier aber solche Maßnahmen außer Betracht, die lediglich geplant oder angekündigt worden sind. Dies betrifft beispielsweise die Absicht, eine europaweite CO₂-/Energiesteuer einzuführen, die von der Bundesregierung zwar unterstützt wird, deren Umsetzung aus heutiger Sicht aber noch völlig offen - vermutlich äußerst fraglich - ist.
- In einem „*Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario*“ werden neben den bisher ergriffenen weitere Maßnahmen einbezogen, deren Umsetzung grundsätzlich geeignet sein könnte, das definierte Reduktionsziel zu realisieren.

Basis der Szenarioarbeit war die zum Zeitpunkt der Bearbeitung aktuellste Energieprognose für Deutschland, die Ende 1995 von der Prognos AG im Auftrage des Bundesministers für Wirtschaft vorgelegt worden ist /Prognos AG 1996/. In dieser Prognose waren zumindest die bis Mitte 1995 ergriffenen klimaschutzpolitischen Maßnahmen berücksichtigt worden. Inzwischen sind aber noch einige weitere Maßnahmen hinzugekommen, die neben den von PROGNOSE angenommenen Maßnahmen in das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ einbezogen worden sind. Prominentestes Beispiel sind die Selbstverpflichtungserklärungen der deutschen Wirtschaft vom März 1996. Der Zusammenhang zwischen der Prognose-Vorausschätzung und den drei Szenarien geht aus Abbildung 3-5 hervor.

³ Ein „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ ist als ein „frozen policy“ Szenario zu interpretieren. Es unterscheidet sich damit wesentlich von einem sogenannten „frozen efficiency“ Szenario, bei dem hypothetisch sogar unveränderte sektorale spezifische Energieverbrauchswerte unterstellt werden.

**CO₂-EMISSIONEN NACH DER VORAUS-SCHÄTZUNG DER
(BASISPROGNOS)**

Quelle: Diekmann et al., 1998.

Abbildung 3-5: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen den Szenarien

Danach wurden zunächst die Wirkungen der bereits in der Prognose berücksichtigten Maßnahmen geschätzt, da nur auf diesem Wege eine Entwicklung der CO₂-Emissionen beschrieben werden konnte, die sich ohne die entsprechenden klimaschutzpolitischen Maßnahmen einstellen würde. Dieses „*Ohne-Maßnahmen-Szenario*“ errechnet sich dadurch, daß die von der Prognos AG vorausgeschätzten CO₂-Emissionen um die emissionsmindernden Effekte der Maßnahmen korrigiert (konkret: erhöht) wurden. In einem nächsten Schritt wurden die klimaschutzpolitischen Maßnahmen identifiziert, die von der Bundesregierung bis Mitte 1996 ergriffen worden sind. Um die Effekte dieser Maßnahmen waren die Resultate des „*Ohne-Maßnahmen-Szenarios*“ zu „bereinigen“, und zwar indem dessen Werte um die jeweiligen Emissionswirkungen reduziert wurden. Ergebnis davon war das im 2. Nationalbericht der Bundesregierung zitierte „*Mit-Maßnahmen-Szenario*“ /BMU 1997/. Da die von der Bundesregierung gesetzten Emissionsreduktionsziele mit den bisher ergriffenen, im „*Mit-Maßnahmen-Szenario*“ abgebildeten Maßnahmen allein erkennbar nicht erreichbar sind, ist eine Diskussion weiterer Maßnahmen erforderlich, die als geeignet erscheinen, die Diskrepanz zwischen den Zielen und in diesem Szenario erwartbaren Zielerreichungsgraden zu schließen. Die Wege hierzu werden in einem „*Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario*“ aufgezeigt.

Beispielhaft für den Sektor Industrie kann der maßnahmenorientierte Übergang von dem „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ über das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ zum „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ gezeigt werden (Abbildung 3-6). Dabei ist zugleich auf einen Aspekt hinzuweisen, den es bei der Wirkungsanalyse von Einzelmaßnahmen zu beachten gilt. Die Wirkungen von Einzelmaßnahmen können wegen allfälliger Überlappungen natürlich nicht einfach addiert werden, vielmehr müssen gerade diese Überlappungsbe-reiche eliminiert werden, um der Gefahr von Doppelzählungen zu entgegen. Dies kommt in Abbildung 3-6 in der Zeile „Gewichtete Summe der Einzelmaßnahmen“ zum Ausdruck.

IMA-Nr.	Maßnahme/ Kurzbezeichnung	1990	1995	2000 ²⁾	2005 ²⁾
		CO ₂ -Emissionen in Mill. t			
Ohne-Maßnahmen-Szenario		169,7	126,8	122,5	122,5
Ergriffene Maßnahmen					
7	ERP-Energiesparprogramm			0,3	0,6
13	Steuerbegünstigung für Kraft-Wärme-Kopplung			0,0	0,0
29	WärmeschutzVO			0,2	0,4
30	HeizungsanlagenVO			0,3	0,6
71	Investitionsprogramm zur Verminderung von Umweltbelastungen			0,3	0,6
116	EU-Öko-Audit			0,0	0,0
101	Novellierung 1. BImSchV (Kleinf FeuerungsanlagenVO)			0,1	0,1
42 - 49	Energie-, Technologie- und Bauforschung			0,1	0,5
110	Selbstverpflichtung der Industrieverbände/VKU			3,5	10,5
110	Selbstverpflichtung von VKU, BGW, MWV, VDEW, VIK			0,1	0,3
	Länder- und Kommunalaktivitäten			1,0	2,5
xxxx	Gewichtete Summe der Einzelmaßnahmen			5,6	15,4
Mit-Maßnahmen-Szenario		169,7	126,8	116,9	107,1
Weitere Maßnahmen					
90	WärmenutzungsVO			1,0	6,5
	Novellierung WärmeschutzVO			0,1	1,0
	ElektroanwendungenVO			3)	3)
	GebäudevermietungsVO			0,0	0,1
	GrundsteuerVO			0,0	0,0
	Angebot der öffentlichen Stromversorger von "grünem Strom"			3)	3)
	neue Verbändevereinbarung BDI/VDEW/VIK/VEA			0,1	2,1
	Verbesserung der Kreditprogramme ERP, DtA, KfW			0,2	1,5
	gezieltes Fortbildungsprogramm			0,1	1,3
	Initialberatung und Info über Energieagenturen			0,1	0,3
	Unterstützung zweiter Kapitalmarkt			0,1	0,4
	Contracting-Förderung			0,1	0,4
	Verbesserte Ziele der Selbstverpflichtung			0,5	3,0
	Verstärkte Forschung und Entwicklung			0,0	1,3
	Bewußte Beschaffungsprogramme von Großunternehmen			0,1	0,7
	Nachahmung von Brundtland-Städten; Länder-/Kommunalprogramme			0,1	1,1
xxxx	Gewichtete Summe der Einzelmaßnahmen			0,9	7,9
Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario		169,7	126,8	116,1	99,3
¹⁾ Nur brennstoffseitige Emissionsminderungen; strombedingte Emissionen werden über veränderte Stromverbrauchsmengen im Kraftwerkssektor berücksichtigt.- ²⁾ Mittelwerte der jeweils ausgewiesenen Bandbreiten der geschätzten Maßnahmenwirkungen.- ³⁾ Nur strombedingte Minderungen, die über veränderte Stromverbrauchsmengen im Kraftwerkssektor berücksichtigt werden.					

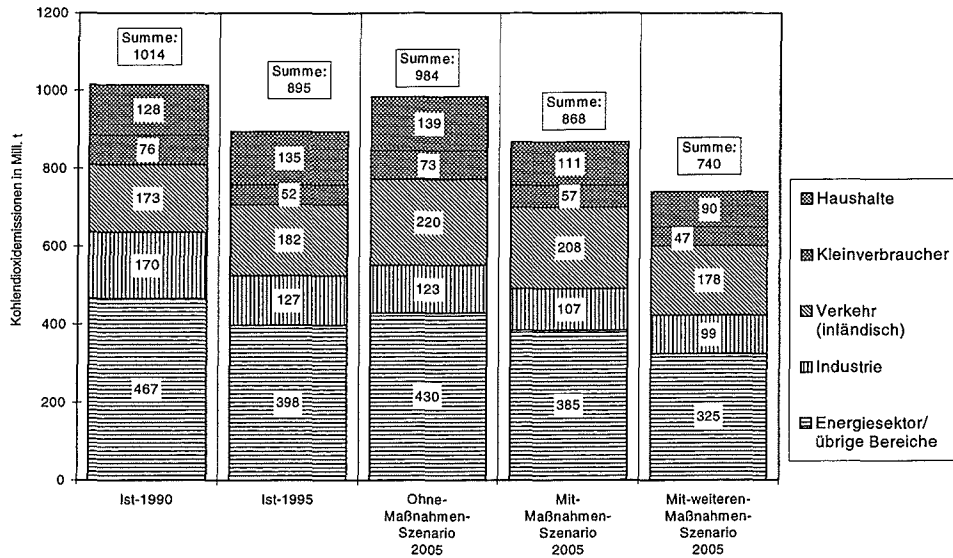
Quelle: Ziesing et al., 1997.

Abbildung 3-6: Ableitung der Szenarien zur Entwicklung der CO₂-Emissionen in der Industrie¹⁾

3.6 Ergebnisse der Szenarien

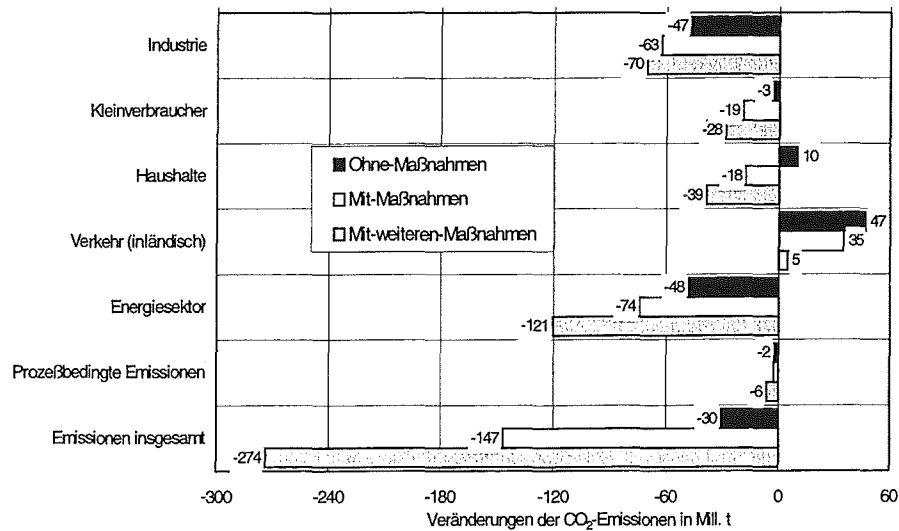
Die wichtigsten Ergebnisse der Szenarien lauten (vgl. Abbildungen 3-7 bis 3-9):

- Im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ dürften die CO₂-Emissionen in Deutschland insgesamt (ohne internationaler Luftverkehr) im Jahre 2005 mit knapp 984 Mill. t lediglich um rund 30 Mill. t oder um 3 % niedriger sein als 1990. Gegenüber 1995 würden sie sich sogar wieder erhöhen, und zwar um etwa 89 Mill. t oder um rund 10 %. Unter sektoralen Aspekten ist hervorzuheben, daß es in der Industrie wie im Energiesektor in der Periode von 1990 bis 2005 durchweg zu einer kräftigen Emissionsminderung kommen würde. Hierin schlägt sich vor allem die Entwicklung in der ersten Hälfte der neunziger Jahre in den neuen Bundesländern nieder. Dagegen wird insbesondere beim Verkehr eine kräftige Steigerung der CO₂-Emissionen erwartet; hier könnten die Emissionen im Jahre 2005 um reichlich 50 Mill. t oder um 28 % höher sein als 1990. Ohne Klimaschutzpolitisch orientierte Maßnahmen wäre auch bei den Haushalten mit einer spürbaren Zunahme der Emissionen zu rechnen (1990/2005: knapp 8 %), während für den Sektor der Kleinverbraucher über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg ein im großen und ganzen stagnierender Emissionsverlauf angenommen wird. Dahinter verbirgt sich freilich eine gegenläufige Entwicklung in den Teilperioden: Während die Emissionen bei den Kleinverbrauchern von 1990 bis 1995 um rund ein Drittel zurückgegangen waren, dürften sie von 1995 bis 2005 um mehr als zwei Fünftel zunehmen.
- In dem „Mit-Maßnahmen-Szenario“ dürften die CO₂-Emissionen im Jahre 2005 um 147 Mill. t oder um 14,5 % niedriger sein als 1990; gegenüber 1995 würde die Reduktion knapp 27 Mill. t oder 3 % betragen. Die in den letzten Jahren insbesondere auf Bundesebene ergriffenen Klimaschutzpolitischen Maßnahmen führen dazu, daß die CO₂-Emissionen über die gesamte Betrachtungsperiode hinweg in allen Sektoren - außer im Verkehr - sinken. Dabei kommt es - wie im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ - zu einer überdurchschnittlich starken Emissionsminderung bei der Industrie und im Energiesektor. Aber auch bei den Kleinverbrauchern und bei den privaten Haushalten werden sich die Emissionen deutlich reduzieren. Im Verkehrssektor muß jedoch noch mit einer weiteren Zunahme der CO₂-Emissionen gerechnet werden: Im Jahre 2005 dürften sie hier um rund 40 Mill. t oder um ein Fünftel höher sein als 1990.



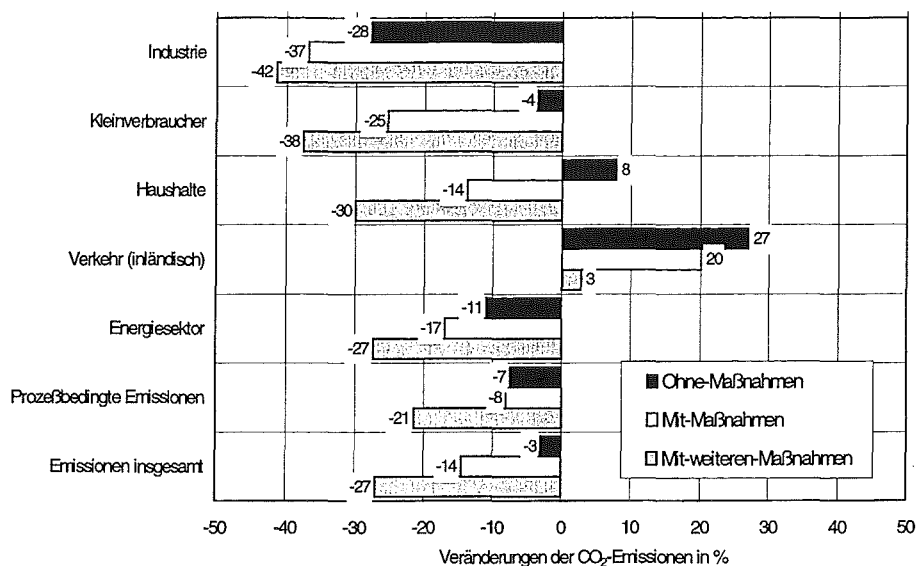
Quelle: Ziesing et al., 1997.

Abbildung 3-7: CO₂-Emissionen in Deutschland bis 2005 in den drei Szenarien



Quelle: Ziesing et al., 1997.

Abbildung 3-8: Veränderungen der CO₂-Emissionen in Deutschland in den drei Szenarien: 2005 gegenüber 1990 in Mill. t nach Sektoren



Quelle: Ziesing et al., 1997.

Abbildung 3-9: Veränderungen der CO₂-Emissionen in Deutschland in den drei Szenarien: 2005 gegenüber 1990 in % nach Sektoren

Vor dem Hintergrund dieses Ergebnisses bleibt festzuhalten, daß mit den bis Mitte 1996 ergriffenen Klimaschutzpolitischen Maßnahmen allein das von der Bundesregierung gesetzte Ziel einer 25-prozentigen Reduktion der CO₂-Emissionen bis zum Jahre 2005 keinesfalls verwirklicht werden kann. Es bleibt eine „Reduktionslücke“ von reichlich 100 Mill. t CO₂.

Außerdem ist zu erkennen, daß tatsächlich der bei weitem größte Teil der bis 2005 vorausgeschätzten CO₂-Minderung schon heute realisiert ist; denn im Vergleich zu 1995 würde die Reduktion bis 2005 im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ nur noch knapp 27 Mill. t oder 3 % betragen.

Dieses Ergebnis, das im übrigen durchaus in Übereinstimmung mit anderen Schätzungen steht (z.B. RWI/ifo /10/), kann aus Klimaschutzpolitischer Sicht natürlich in keiner Weise befriedigen. Eine Schlußfolgerung kann also auch im Sinne des Untersuchungsauftrages nur sein: Es muß mehr getan werden, wenn das Ziel überhaupt noch erreicht werden soll. Wie das „mehr“ aussehen könnte, ist in dem

- „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ beschrieben worden, das die grundsätzlich als realisierbar erscheinenden Klimaschutzpolitischen Maßnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen in dem von der Bundesregierung angestrebten Ausmaß untersucht. Dieses Szenario kommt zu dem Ergebnis, daß die CO₂-Emissionen im Jahre

2005 um gut 270 Mill. t oder um 27 % niedriger ausfallen könnten als 1990. Unter der Voraussetzung, daß die jeweils vorgeschlagenen Maßnahmen auch umgesetzt werden, könnte also das Ziel der Bundesregierung erreicht werden. Besonders hohe Zielerreichungsbeiträge werden von der Industrie, der Kraftwirtschaft und von den Haushalten erwartet: An der absoluten Minderung der CO₂-Emissionen im Zeitraum von 1990 bis 2005 sind die Kraftwerke mit 28 %, die Industrie mit 26 %, die Haushalte mit 14 % und die Kleinverbraucher mit knapp 11 % beteiligt. Durch entsprechende Maßnahmen sollte es in diesem Szenario auch gelingen, die CO₂-Emissionen im Verkehr wenigstens etwa auf dem Niveau von 1990 zu stabilisieren; im Vergleich zu 1995 bedeutet dies sogar eine geringe Verminderung. Wichtig ist festzuhalten, daß das Eintreten der Ergebnisse des „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenarios“ entscheidend davon abhängig sein dürfte, daß im Verkehrssektor zumindest eine solche deutlich abgeschwächte Entwicklung herbeigeführt werden kann. Die angestrebten klimaschutzpolitischen Ziele werden vor diesem Hintergrund also nur dann erfolgreich umgesetzt werden können, wenn die Emissionstrends im Verkehrssektor gestoppt oder sogar umgekehrt werden können.

3.7 Ein Fazit

Ein zentrales Fazit der Untersuchung lautet: Das Ziel der Bundesregierung erscheint grundsätzlich als erreichbar. Dabei sei eine wesentliche Erkenntnis der Szenarienanalyse besonders hervorgehoben: Wenn man die angestrebten Reduktionsziele erreichen will, darf man sich nicht nur auf einige wenige Maßnahmen und Sektoren stützen, denn dies müßte notwendigerweise in den betroffenen Bereichen zu übersteigerten - und damit kaum akzeptierbaren - Eingriffen führen. Wesentlich ist vielmehr der Einsatz komplexer, aber wohl dosierter, zielgerichteter Maßnahmenbündel in allen Bereichen.

Bis 2005 vergehen noch nicht einmal mehr 8 Jahre. Wenn das von der Bundesregierung gesetzte Reduktionsziel bis dahin noch erreicht werden soll, muß der klimaschutzpolitische Stillstand in Deutschland überwunden werden. Nur wenn die notwendigen Maßnahmen und Maßnahmenbündel unverzüglich umgesetzt werden, besteht bei diesem kurzen Zeithorizont die Chance auf Zielerfüllung.

Es sei aber vor der Illusion gewarnt, als ließe sich das CO₂-Ziel praktisch spurlos für Bevölkerung und Wirtschaft verwirklichen. Dazu ist dieses Ziel - das darf trotz der bisherigen CO₂-Minderung nicht übersehen werden - außerordentlich ambitioniert ist. Etwas lapidar formuliert: Man wird das Ziel nicht erreichen, ohne daß es jemand merkt. Von allen Beteiligten werden mehr oder weniger ausgeprägte Anpassungsreaktionen gefordert, die nicht kostenlos zu haben sein werden. Das setzt auch entsprechende Prioritäten auf allen Ebenen voraus.

Dabei sollte aber nicht vergessen werden, daß Klimaschutzpolitik letztlich darauf gerichtet ist, Schaden von der Menschheit abzuwenden. Die Hinweise lediglich auf die Kosten einer wirksamen Klimaschutzpolitik greifen zu kurz, denn sie übersehen, daß Klimaschutz nicht zuletzt auch die künftig möglicherweise noch viel höheren Schadenskosten zu vermeiden hilft.

Literatur

/BMU 1997/

BMU: Klimaschutz in Deutschland. Zweiter Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn, April 1997

/Diekmann et al. 1998/

J. Diekmann, R. Hopf, H.-J. Ziesing (DIW), M. Kleemann, G. Kolb, P. Markewitz, D. Martinsen (STE), G. Stein (TFF), E. Jochem (FhG-ISI), F. Chr. Matthes (Öko-Institut): Politiksszenarien für den Umweltschutz. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes. Band 3: Methodik-Leitfaden für die Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung. In: Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band 8, 1998.

/ESSO 1997/

ESSO Energieprognose:97. Mehr Strom aus Gas. ESSO AG 1997

/Ziesing et al. 1997/

H.-J. Ziesing, J. Diekmann, R. Hopf (DIW), M. Kleemann, G. Kolb, P. Markewitz, D. Martinsen (STE), E. Jochem, K. Ostertag, B. Schlomann (FhG-ISI), M. Cames, F. Chr. Matthes (Öko-Institut): Politiksszenarien für den Umweltschutz. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes. Band 1: Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO₂-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005. In: Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band 5, 1997

/EU-Umweltminister Luxemburg 1998/

Inzwischen haben sich die EU-Umweltminister bei ihrem Treffen Mitte Juni 1998 in Luxemburg für jedes Mitgliedsland auf verbindliche Quoten geeinigt, um die der Ausstoß von sechs klimaschädlichen Treibhausgasen bis spätestens 2012 zu verringern ist. Danach muß

Deutschland als größter Verursacher von Treibhausgasen in der Union seine klimarelevanten Emissionen gegenüber dem Stichtag 1990 um 21 % reduzieren.

/Hillebrand et al. 1996/

Hillebrand et al.: Gesamtwirtschaftliche Beurteilung von CO₂-Minderungsstrategien. In: Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 19. Essen 1996

/Prognos AG 1995/

Prognos AG: Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020. 1995

/Schön et al. 1997/

M. Schön, H. Kalb, C. Nathani, R. Walz (FhG-ISI), F. Chr. Matthes, M. Cames, R. Fendler (Öko-Institut): Politiksszenarien für den Umweltschutz. Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes. Band 2: Emissionsminderungsmaßnahmen für Treibhausgase, ausgenommen energiebedingtes CO₂. In: Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band 6, 1997

/United Nations 1997/

United Nations: Framework Convention on Climate Change. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. FCCC/CP/1997/L.7/Add.1, 10 December 1997

4 Szenarien zur Minderung von Klimagasemissionen in Deutschland bis zum Jahr 2005

D. Martinsen, P. Markewitz

Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE)

Forschungszentrum Jülich

4.1 Einleitung

Neben CO₂ wird eine Vielzahl anderer Emissionstypen für den anthropogen bedingten Treibhauseffekt verantwortlich gemacht. Dieser Tatsache wurde auch im Rahmen der 3. Vertragsstaatenkonferenz in Kyoto Rechnung getragen, indem die Minderungsziele auf andere Treibhausgase erweitert wurden.

Vor diesem Hintergrund werden einige Reduktionsszenarien für das Jahr 2005 vorgestellt, die mit dem IKARUS-Optimierungsmodell gerechnet wurden. Neben CO₂, werden die Klimagase CH₄, N₂O, CO sowie Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMKW) mit ihren direkten und indirekten Wirkungen in die Betrachtungen miteinbezogen. Ziel ist es, im Hinblick auf CO₂-Minderungsstrategien den Einfluß dieser zusätzlichen Treibhausgase abzuschätzen, wenn diese über CO₂-Äquivalenzwerte berücksichtigt werden. Die Angabe von Äquivalenzwerten ist mit großen Unsicherheiten verbunden, und es werden daher Bandbreiten vorgegeben. Diese werden im Sinne einer Sensitivitätsanalyse untersucht. Darüber hinaus wird der Einfluß von Nachfragesensitivitäten analysiert.

4.2 Methodik und Szenarien

Ausgehend vom Minderungsbeschluß der Bundesregierung, die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 um 25% bezogen auf das Ausgangsniveau des Jahres 1990 zu mindern, werden für das Zieljahr 2005 ein Referenzszenario sowie einige Minderungsszenarien aufgestellt. Die Ermittlung der Szenarien erfolgt mit Hilfe eines technikorientierten Optimierungsmodells, welches das Energiesystem von der Nutzenergie- bzw. Energiedienstleistungs- bzw. Primärenergieseite abbildet. Das im Rahmen des IKARUS-Projektes entwickelte Optimierungsmodell /Martinsen et al. 1998/ bildet die Energieflüsse, energiebedingte Emissionen und Kosten des gesamten Energiesystems ab und arbeitet nach der Methode der Linearen Programmierung. Optimierungskriterium ist in diesem Fall die Minimierung der Gesamtsystemkosten. Das Modell bewertet also den zur Änderung des Energiesystems (z.B. bei einer CO₂-Minderungvorgabe) notwendigen Aufwand in Form von Kosten und errechnet einen kostenoptimalen Technikmix (bzw. -strategie) unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen (z.B. wirtschaftliche Entwicklung, Technikdaten etc.). Durch die Vernet-

zung im Modell werden Wechselwirkungen innerhalb der energiewirtschaftlichen Sektoren berücksichtigt.

Folgende Szenarien werden mit Hilfe des Modells gerechnet und analysiert:

- **Basis- bzw. Referenzszenario (BAS).** Dieses Szenario läßt sich im Sinne einer Business-as-usual-Entwicklung interpretieren und spiegelt eine gewisse Erwartungshaltung bis zum Jahr 2005 wider. Unter der Annahme, daß mit Ausnahme der bereits initiierten Reduktionsmaßnahmen (z.B. Wärmeschutzverordnung) keine besonderen Maßnahmen zur CO₂-Reduktion ergriffen werden, wird eine kostenoptimale Energieversorgung unter Berücksichtigung schon heute absehbarer Entwicklungen (z.B. Kraftwerksbestand, Rolle der Kernenergie etc.) für das Jahr 2005 gesucht. Bei der Bewertung der Ergebnisse sind einerseits die steigenden Nachfragen nach Energiedienstleistungen zu sehen, und andererseits sind autonome Effizienzverbesserung sowie Strukturveränderungen zu beachten.
- **CO₂-Reduktionsszenario (CO₂).** Gegenüber dem Referenzfall wird im Reduktionsszenario dem Modell eine CO₂-Reduktion von 25% vorgegeben, so daß das von der Bundesregierung anvisierte Minderungsziel in jedem Fall eingehalten wird. Ansonsten bleiben alle anderen Parameter gegenüber dem Referenzfall unverändert. Wie im nachfolgenden gezeigt wird, führen die vom Modell vorgeschlagenen Minderungsmaßnahmen zu einer Reduktion der anderen Treibhausgase im Sinne eines Mitnahmeeffekts. Die Minderung aller Treibhausgase, bewertet als CO₂-Äquivalente, liegt dann deutlich über 25 %.
- **Treibhausgas-Reduktionsszenario (THG).** Im Gegensatz zum CO₂-Reduktionsszenario werden auch die anderen Treibhausgasemissionen über CO₂-Äquivalente in die Betrachtungen einbezogen. Die zuvor im 25%-CO₂-Reduktionsfall errechnete Minderung aller Treibhausgase wird dem Modell als Obergrenze vorgegeben. Zusätzlich besitzt das Modell somit auch noch die Option der Minderung anderer Treibhausgase.

Für die drei Szenarien (BAS, CO₂, THG) werden zum einen die dem Modell exogen vorgegebenen Nachfragen in Form von Bandbreiten variiert und Sensitivitäten analysiert. Zum anderen sind die CO₂-Äquivalente der anderen Treibhausgase mit großen Unsicherheiten behaftet. Daher werden diese ebenfalls in Form von Bandbreiten variiert.

4.3 Annahmen

4.3.1 Energieträgerimportpreise, energiebedarfsbestimmende Nachfragen

Wie die energierelevanten Nachfragen werden dem Modell auch die Importenergiepreise exogen vorgegeben. Es wird angenommen, daß die Preise der wichtigsten Importenergieträger bis zum Jahr 2005 nur moderat ansteigen. Die Nachfragen nach Energiedienstleistungen sind für die Endverbrauchssektoren unterschiedlich definiert. Die Nachfrage des Industriesektors wird als Nettoproduktion branchenweise vorgegeben und ist in Tabelle 4-1 als Summenwert für alle Branchen angegeben. Im Kleinverbrauchssektor stellt die Zahl der Erwerbstätigen die energiebedarfsbestimmende Größe dar. Die Nachfrage des Raumwärmebereichs im Haushaltssektor wird als zu beheizende Quadratmeter und die des Verkehrssektors als Tonnenkilometer (Güterverkehr) bzw. Personenkilometer (Personenverkehr) vorgegeben. Auf der Basis der in den vergangenen Jahren veröffentlichten Prognosen und Szenarien wurden die in Tabelle 4-1 enthaltenen Bandbreiten abgeleitet. Eine genauere Beschreibung hierzu findet sich in /Markewitz, Martinsen 1997/.

Tabelle 4-1: Entwicklung der wichtigsten Nachfragegrößen in den alten und neuen Bundesländern (ABL bzw. NBL) bis zum Jahr 2005

	1989 ABL (absolut)	2005 ABL Anstieg in %		1989 NBL (absolut)	2005 NBL Anstieg in %	
		Niedrig	Hoch		Niedrig	Hoch
Raumwärme (10^6 m^2)	2198	18	29	419	15	15
Verkehr						
(Mrd. Pkm)	690	23	34	141	48	73
(Mrd. tkm)	281	48	69	75	10	84
Industrie (Mrd. DM)	592	35	35	(100)	35	35
Kleinverbrauch						
Beschäftigte (Mio)	22	9	9	4.6	31	31

4.4 Annahmen

4.4.1 Energieträgerimportpreise, energiebedarfsbestimmende Nachfragen

Wie die energierelevanten Nachfragen werden dem Modell auch die Importenergiepreise exogen vorgegeben. Es wird angenommen, daß die Preise der wichtigsten Importenergie-

träger bis zum Jahr 2005 nur moderat ansteigen. Die Nachfragen nach Energiedienstleistungen sind für die Endverbrauchssektoren unterschiedlich definiert. Die Nachfrage des Industriesektors wird als Nettoproduktion branchenweise vorgegeben und ist in Tabelle 4-1 als Summenwert für alle Branchen angegeben. Im Kleinverbrauchssektor stellt die Zahl der Erwerbstätigen die energiebedarfsbestimmende Größe dar.

4.4.2 Begrenzungen

Das Optimierungsmodell wählt unter dem Zielkriterium der Kostenminimierung ausschließlich die kostengünstigsten Technologien und Maßnahmen aus. Allerdings spielen in der Realität auch noch andere Aspekte eine Rolle, die es zu beachten gilt. Diese sind beispielsweise sich bereits heute abzeichnende Entwicklungen bis zum Jahr 2005 (z.B. Kernenergie, Förderpläne für Kohle bis zum Jahr 2005 etc.). Informationen solcher Kategorie, die das Ergebnis stark prägen, werden dem Modell in Form von Begrenzungen mitgeteilt, die als Bandbreiten vorgegeben werden können. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Begrenzungen findet sich in Tabelle 4-2.

Tabelle 4-2: Auswahl wichtiger energiepolitischer Begrenzungen

	Alte Bundesländer	Neue Bundesländer
Steinkohle Gewinnung (PJ)	>1100	----
Steinkohle Verstromung (PJ)	> 500	-----
Steinkohle Importe (PJ)	< 800	< 270
Braunkohle Gewinnung (PJ)	< 970	> 640 und < 830
Braunkohle Verstromung (PJ)	> 750	> 550
Erdgas Importe (PJ)	< 2600	< 510
Kernenergie (GW)	= 21.1	----
Windkraft (GW)	> 2.7 und < 3.2	>0.17 und <1
Feste Biomasse (PJ)	< 161	< 65
Müllverwertung (PJ)	< 140	< 30

4.4.3 CO₂-Äquivalente für andere Treibhausgase

Im Rahmen der Kyoto-Konferenz haben sich die Vertragsparteien auf den sogenannten 6-Gasansatz (Kyoto-Basket) geeinigt, der neben CO₂ die Treibhausgase CH₄, N₂O, HFC, PFC sowie SF₆ enthält. Da im Rahmen der nachfolgenden Betrachtungen lediglich die durch Verbrennung fossiler Energieträger bedingten Emissionen berücksichtigt werden, können die Gase HFC, PFC und SF₆ vernachlässigt werden. Im übrigen beträgt ihr Anteil an den bundesdeutschen energie- und nichtenergiebedingten Gesamtemissionen (Kyoto-

Basket) schätzungsweise 3 % (als CO₂-Äquivalent) und ist somit sehr gering /BMU 1997, Schafhausen 1998/.

Das im Rahmen der Analysen betrachtete Spektrum von Treibhausgasen wurde vor dem Hintergrund der direkten sowie indirekten Wirkungsmechanismen ausgewählt. Zum einen wirken Treibhausgase als Infrarotabsorber (direkte Wirkung), und zum anderen beeinflussen sie die Entstehung und Konzentration anderer Substanzen, die wiederum als Absorber wirken oder einen anderen Einfluß auf die Stratosphärenchemie besitzen. In vielen Fällen wird die indirekte Wirkung größer eingeschätzt als der direkte Einfluß und darf daher nicht vernachlässigt werden. Die Wirkung der Nicht-CO₂-Treibhausgase wird mit Hilfe von CO₂-Äquivalenzfaktoren bewertet, die auch als Global-Warming-Potentials (GWP) bezeichnet werden. Deren Höhe hängt von vielen Parametern und Annahmen ab, wie z.B. Verweildauer, Betrachtungszeit, Konzentration anderer Gase in der Atmosphäre etc. Insbesondere hat die Wahl des Betrachtungszeitraumes einen großen Einfluß auf die GWP-Faktoren der im Vergleich zu CO₂ relativ kurzlebigen Treibhausgase, die in den nachfolgenden Analysen berücksichtigt werden. Kurze Betrachtungszeiträume führen zu beträchtlich höheren GWP-Werten. Grundsätzlich ist die Vorgabe eines Betrachtungszeitraumes beliebig, allerdings empfiehlt sich bei einem kurzfristigen Reduktionsziel, wie es in den nachfolgenden Analysen untersucht wird, die Wahl eines kurzen Betrachtungszeitraumes. Für die verwendeten CO₂-Äquivalenzfaktoren (Tabelle 4-3) wird daher ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren zugrunde gelegt. Im übrigen ist der Zeitraum von 20 Jahren eine geeignete Zeitspanne, um die Wirksamkeit sowie die wirtschaftliche Effektivität vieler Emissionsminderungsmaßnahmen beurteilen zu können.

Bei der Interpretation der nachfolgenden Auswertungen kann man die mit Hilfe von CO₂-Äquivalenzwerten zusammengefaßten Emissionen aller Treibhausgase als eine Obergrenze und die CO₂-Emissionen als untere Grenze bewerten.

Über die Variation hinaus, die sich aus der Wahl des Betrachtungszeitraums ergibt, sind die GWP-Faktoren mit großen Unsicherheiten behaftet, was im wesentlichen mit der Einschätzung der indirekten Wirkung zusammenhängt. Daher sind in Tabelle 4-3 für jedes Treibhausgas Bandbreiten angegeben. Der mittlere Wert repräsentiert hierbei den mittleren Faktor, wie er vom IPCC angegeben wird. Es ist zu betonen, daß die Bandbreiten nur für Werte mit einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren gültig ist. Eine Variation des Betrachtungszeitraums ist in diesen Werten also nicht enthalten.

Die Treibhausgaswirkung von Stickoxiden (NO_x) ist in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt. Stickoxide besitzen aufgrund ihrer kurzen Verweildauer von einigen Stunden praktisch keine direkte Treibhauswirkung. Allerdings spielen sie bei der Ozonbildung in der Stratosphäre eine Rolle und besitzen somit eine indirekte Wirkung auf den Treibhauseffekt. Das IPCC definiert den CO₂-Äquivalenzfaktor über den Ozonanstieg, weist aber auf die großen Unsicherheiten hin. Während im Jahr 1990 noch ein vorläufiger

GWP-Faktor von 150 (20 a Betrachtungszeitraum) für Stickoxiden angegeben wurde, wurde vom IPCC später in Frage gestellt, ob die Angabe eines solchen Faktors aufgrund der ungleichmäßigen Verteilung der Stickoxide überhaupt sinnvoll ist. (vgl. hierzu /Gebauer 1995/). Im Rahmen der Analysen werden die Stickoxide daher nicht berücksichtigt. Würde man sie in die Betrachtungen mit einbeziehen, wäre die Minderung der Nicht-Treibhausgasemissionen noch größer als in den nachfolgenden Rechnungen ausgewiesen. Ursachen hierfür sind z.B. die Entstickung von Großfeuerungsanlagen oder die Einführung des geregelten Katalysators in Fahrzeugen.

Tabelle 4-3: Verwendete CO₂-Äquivalenzfaktoren (20 a, direkte und indirekte Wirkung) /Gebauer 1995/

	Unterer Wert	Mittlerer Wert	Oberer Wert
CO ₂	1	1	1
CO	5	7	9
CH ₄	41	62	83
N ₂ O	193	290	387
NMKWS	16	31	47

4.5 Ergebnisse

4.5.1 Bisherige Entwicklung, Basisfälle

Bewertet man die Nicht-CO₂-Treibhausgase mit dem mittleren Wert der CO₂-Äquivalenzfaktoren (vgl. Tabelle 4-3), beträgt die Gesamtemission aller Treibhausgase inklusive CO₂ für das Jahr 1990 ca. 1223 Mio t (Abbildung 4-1). Verglichen mit den CO₂-Emissionen liegt dieser Wert um ca. 19% höher. Dieser Anteil setzt sich zusammen aus CO (6,5%), CH₄ (6,5%), N₂O (1%) sowie Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe NMKWS (5%). In der weiteren Entwicklung bis 1994 sind die Emissionen der CO₂-Äquivalente um ca. 16% zurückgegangen. Die Verringerung der CO₂-Emissionen für sich alleine beträgt ungefähr 11 %. Eine Berücksichtigung von weiteren Treibhausgasen führt also in der Auswertung der bisherigen Entwicklung zu einem deutlich größeren Rückgang der Emissionen als bei der üblichen lediglich auf CO₂ fokussierten Betrachtung. Gegenüber 1990 sind die Gase NMKWS (-52%), CO (-38%) und CH₄ (-26%) deutlich zurückgegangen, während die N₂O-Emissionen um ca. 11% zugenommen haben, was auf die zunehmende Anzahl von Fahrzeugen zurückzuführen ist, die mit einem geregelten Katalysator ausgerüstet sind. Wie

Abbildung 4-1 zeigt, ist auch ein Rückgang der Emissionen in den Projektionen⁴ für das Jahr 2005 festzustellen. Im Vergleich zum Basisjahr 1990 liegt die Reduktion der CO₂-Emissionen bewertet als Äquivalente je nach Nachfrage zwischen 19 und 23 %. Die entsprechende Minderung der CO₂-Emissionen beträgt 12 bis 16 % und deckt sich mit den Emissionsprojektionen anderer Institute. Die Bandbreiten deuten auf die hohe Sensitivität der Nachfragevarianzen. Es bleibt festzuhalten, daß die Einhaltung des Minderungsbeschlusses der Bundesregierung wohl eher unwahrscheinlich ist. Zudem ist der nur noch geringe verbleibende Zeitraum bis zum Jahr 2005 zu sehen. Bei Einbeziehung der anderen Treibhausgas-emissionen und der Annahme eines GWP-Betrachtungszeitraums von 20 Jahren wäre das Erreichen des Minderungsziels eher wahrscheinlich. Allerdings würde dies eine andere Interpretation des Beschlusses bedeuten.

Die sektorale Aufteilung der Treibhausgasemissionen ist in Abbildung 4-2 dargestellt und verdeutlicht die unterschiedlichen relativen Änderungen der Emissionen im Basiszenario (BAS) für das Jahr 2005 in den verschiedenen Sektoren. Verglichen mit dem Jahr 1990 beträgt die prozentuale Nettoänderung im Jahr 2005 bei einer hohen Nachfrage (niedrigen Nachfrage) im Umwandlungssektor -25% (-26%), im Verkehrssektor +9% (-4%), im Haushaltssektor -14% (-21%), im Sektor Kleinverbrauch -46% (-46%) sowie im Industriesektor -32% (-32%).

Bereits im Basisfall sinken die CO₂-Emissionen des Umwandlungssektors (Strom- und Fernwärmeerzeugung, Raffinerie, Kohleveredlung, Verteilung und Förderung der Primärenergieträger im Inland) um ca. 21%; die Reduktion der anderen Treibhausgase liegt im Bereich von 50% und ist deutlich ausgeprägter. Der starke Rückgang der Methanemissionen ist mit der rückläufigen Förderung heimischer Steinkohle zu erklären.

Im Verkehrssektor sind die CO₂-Emissionen seit dem Jahr 1990 bis 1994 um ca. 8% gestiegen. Dieser Trend, der auf die zunehmenden Verkehrsleistungen zurückzuführen ist, setzt sich auch im Basisfall fort. Verglichen mit dem Ausgangsjahr 1990 liegen die CO₂-Emissionen des Basisfalls mit 21% (niedrige Nachfrage) bzw. 38% (hohe Nachfrage) deutlich höher. Anders ist die Entwicklung der übrigen Treibhausgasemissionen. Sowohl im Szenario mit niedriger als auch mit hoher Nachfrage ist ein Rückgang der Kohlenmonoxid- sowie Kohlenwasserstoffemissionen festzustellen. Neben dem Einsatz effizienterer Fahrzeuge insbesondere in den neuen Bundesländern ist die Einführung von Katalysatoren ein weiterer Grund hierfür. Allerdings ist der Einsatz geregelter Katalysatoren für den Anstieg der N₂O-Emissionen verantwortlich.

In den Sektoren Haushalte und Kleinverbraucher haben sowohl die CO₂-Emissionen als auch die Emissionen der anderen Treibhausgase in dem Zeitraum von 1990 bis 1994 abgenommen. Diese Entwicklung, die sich auch bis zum Jahr 2005 fortsetzt, ist

⁴ Auf eine detaillierte Beschreibung der Szenarien wird in diesem Beitrag bewußt verzichtet; diese findet sich in /Markewitz, Martinsen 1997/.

im wesentlichen mit der Substitution von Kohleheizungen und -öfen durch Öl- und Gasheizungen in den neuen Bundesländern zurückzuführen. Insgesamt beträgt die Reduktion aller Treibhausgasemissionen des Sektors Haushalte und Kleinverbrauch bis zum Jahr 2005 ca. 30% (niedrige Nachfrage) bzw. 26% (hohe Nachfrage) gegenüber der Ausgangssituation von 1990.

4.5.2 Reduktionsszenarien (CO₂, THG)

Gegenüber dem Referenzfall (BAS) unterscheidet sich das Reduktionsszenario (CO₂) durch die Vorgabe einer CO₂-Emissionsrestriktion von 25% bezogen auf das Emissionsniveau von 1990. Wie aus Abbildung 4-1 zu erkennen ist, resultiert hieraus ein Rückgang aller Treibhausgasemissionen um ca. 31%. Die aufgrund der CO₂-Restriktion vom Modell errechneten Minderungsmaßnahmen (Einsparung, Energieträgersubstitution etc.) bewirken sozusagen einen Mitnahmeeffekt, der zu dieser Minderung führt. Im Vergleich zum Referenzfall gehen die CO₂-Emissionen bei hoher Nachfrage (niedriger Nachfrage) um ca. 10% (15%) zurück. Der vergleichbare Rückgang der anderen Treibhausgase liegt bei ca. 5% (8%). Wie im nachfolgenden noch gezeigt wird, hängt die Minderung von der jeweiligen Emissionsart sowie auch vom energiewirtschaftlichen Sektor ab.

Gegenüber dem CO₂-Reduktionsszenario wird im THG-Szenario eine Restriktion auf die Summe aller Treibhausgase gesetzt. Als Obergrenze wird der Wert der Treibhausgasemissionen (-31% bzw. 845 Mio t) vorgegeben, wie er sich im CO₂-Reduktionsfall - ausgedrückt als CO₂-Äquivalent- errechnet. Eine derartige Vorgehensweise erlaubt dem Modell einen größeren Spielraum bei der Auswahl geeigneter Minderungsmaßnahmen, da der Lösungsraum erweitert wird. Das Modell besitzt neben reinen CO₂-Minderungsmaßnahmen auch andere Minderungsoptionen, wodurch bestimmte Sektoren entlastet und die Reduktionskosten verringert werden. Abbildung 5-1 sowie -3 verdeutlichen, daß die Unterschiede verglichen mit einer lediglich auf CO₂-Minderung ausgerichteten Strategie relativ gering sind. Tendenziell ergibt sich eine etwas geringere Reduktion der CO₂-Emissionen im Umwandlungsbereich und eine etwas größere Reduktion der anderen Treibhausgasemissionen bei den Sektoren Haushalte und Kleinverbraucher.

Zwischen dem CO₂- und dem THG-Szenario sind Verschiebungen zwischen den Sektoren wie auch zwischen den einzelnen Emissionsarten festzustellen. In Abbildung 4-4 sind diese Änderungen für das Szenario mit hoher Nachfrage und mittleren CO₂-Äquivalenzfaktoren dargestellt. Die in der Abbildung enthaltenen Prozentangaben beziehen sich auf die jeweils sektorspezifischen Emissionsmengen. Insgesamt ergibt sich eine CO₂-Mehremission von ca. 5.7 Mio t und eine Minderemission von CO (-3.8 Mio t CO₂-Äquivalenz), CH₄ (-0.6 Mio t CO₂-Äquivalenz) und NMKWS (-1.3 Mio t CO₂-Äquivalenz), während die N₂O-Emissionen nahezu unverändert bleiben. Sektoral betrachtet, ergibt sich ein differenziertes Bild.

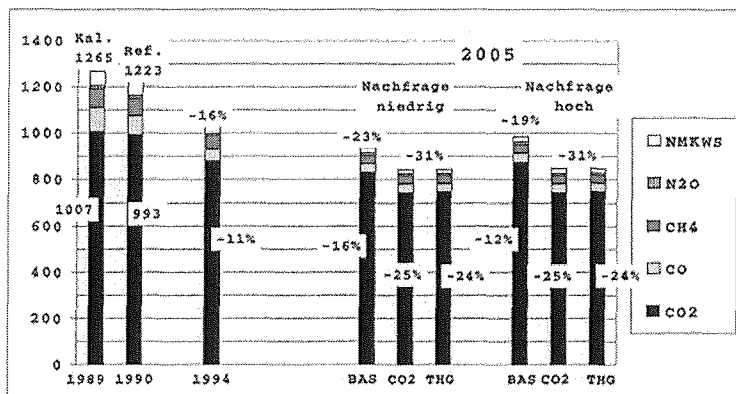


Abbildung 4-1: Treibhausgasemissionen in den verschiedenen Szenarien in Mio t. (CO₂-Äquivalenzfaktor = mittlerer Wert)

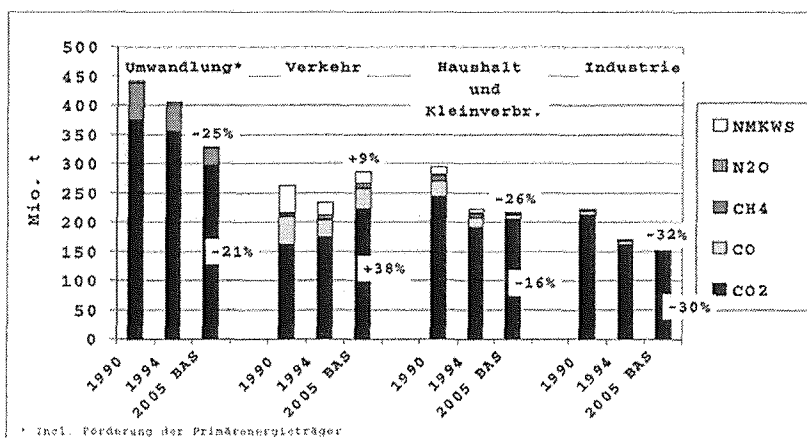


Abbildung 4-2: Emissionen im Basisfall für das Jahr 2005 verglichen mit der historischen Entwicklung differenziert nach Sektoren

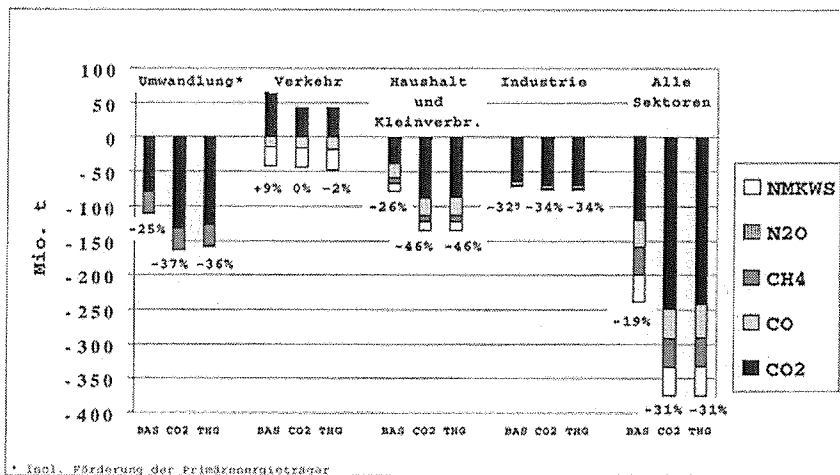


Abbildung 4-3: Änderung der Treibhausgasemissionen in den verschiedenen Szenarien bis zum Jahr 2005 differenziert nach Sektoren

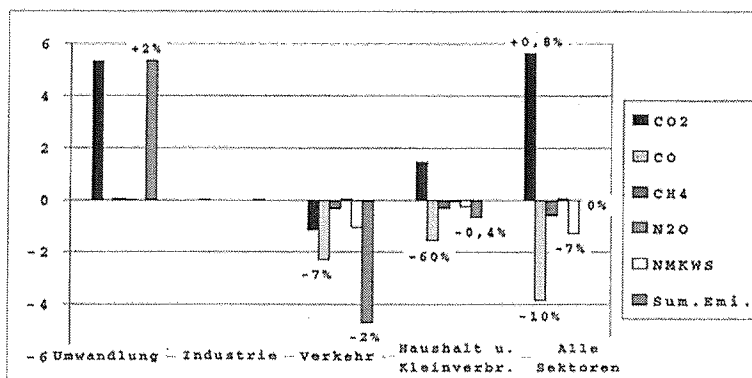


Abbildung 4-4: Differenz der Emissionen zwischen dem CO₂- und THG-Szenario in Mio. t (Hohe Nachfrage, CO₂-Äquivalenzfaktor=mittlerer Wert)

Verglichen mit dem Basiszenario (Abbildung 4-3) sind für den Umwandlungsbereich in beiden Reduktions-szenarien deutliche CO₂-Minderungen festzustellen, während die Emissionen der anderen Treibhausgase in etwa konstant bleiben. Eine wesentliche Ursache hierfür ist der Einsatz von erdgasbefeuerten GuD-Kraftwerken und die niedrigere Kohleverstromung. Ein Vergleich der beiden Reduktionsszenarien (Abbildung 4-4) zeigt, daß die CO₂-Emissionen des Umwandlungsbereichs im THG-Szenario um ca. 5 Mio t höher liegen und die anderen Treibhausgasemission in etwa unverändert bleiben. Diese CO₂-Mehremissionen werden durch die Minderung von Treibhausgasen in anderen Sektoren kompensiert.

Gegenüber dem Basisfall ist für den *Verkehrssektor* in beiden Reduktionsszenarien eine ausgeprägte Abnahme der CO₂-Emissionen sowie mit Ausnahme von N₂O eine moderate Abnahme der anderen Treibhausgase festzustellen. Verglichen mit der Ausgangssituation von 1990 ist die Summe der Treibhausgasemissionen im CO₂-Szenario nahezu unverändert und im THG-Szenario etwas niedriger. Gegenüber dem CO₂-Szenario beträgt im THG-Szenario die Reduktion aller Treibhausgase –ausgedrückt als Äquivalent– ca. 4,7 Mio t.

Im Vergleich zum Basisfall liegen die CO₂-Emissionen des *Haushalts- und Kleinverbrauchssektors* mit 24 bis 25% deutlich niedriger, was ungefähr einer Menge von 50 Mio t CO₂ entspricht. Von allen Endverbrauchssektoren liegen die größten Einsparpotentiale (verbesserte Wärmedämmung, verstärkter Einsatz von Erdgas und Substitution von Kohleheizungen etc.) im Haushaltssektor. Absolut gesehen liegt die Reduktion der anderen Treibhausgase ebenfalls niedriger, allerdings nicht so ausgeprägt wie die des CO₂. Gegenüber dem CO₂-Reduktionsszenario wird im THG-Szenario etwas mehr CO₂ emittiert. Diese Mehremissionen werden durch die stärkere Minderung der anderen Treibhausgase (insbesondere CO) in etwa kompensiert.

4.5.3 Varianz von Nachfrage und CO₂-Äquivalenzfaktoren

Inwieweit die Bandbreiten von Nachfrage und CO₂-Äquivalenzfaktoren einen Einfluß besitzen, zeigt Tabelle 4-4. Aufgelistet sind die prozentualen Minderungen der Treibhausgasemissionen (inkl. CO₂) gegenüber 1990. Im Basisfall variiert die Minderung von –17% (hohe Nachfrage und unterer Wert für CO₂-Äquivalenzfaktor) bis –26% (niedrige Nachfrage und oberer Wert für CO₂-Äquivalenzfaktor). Die vergleichbare Minderung in den Reduktionsfällen beträgt –29% bis –33%. Die Varianz im Reduktionsfall ist aufgrund der Restriktionsvorgabe wesentlich kleiner. Die Ergebnisse zeigen, daß bei Einbeziehung anderer Treibhausgase, diese Unsicherheitsbereiche in die Betrachtungen miteinbezogen werden müssen. Die Angabe eines einzelnen Emissionsminderungswertes ist wenig aussagekräftig.

Tabelle 4-4: Treibhausgasminderungen für die Bandbreiten von Nachfragen und CO₂-Äquivalenzfaktoren

	Basisfall		Reduktionsfall	
<i>CO₂-Faktor</i>	<i>Niedrige Nachfrage</i>	<i>Hohe Nachfrage</i>	<i>Niedrige Nachfrage</i>	<i>Hohe Nachfrage</i>
Unterer Wert	-21%	-17%	-29%	-29%
Mittlerer Wert	-23%	-19%	-31%	-31%
Oberer Wert	-26%	-22%	-33%	-33%

4.5.4 Kosten der Treibhausgasminderung

Verglichen mit dem Basisfall betragen die jährlichen Mehrkosten in den Reduktionsfällen THG und CO₂ 5 bzw. 5,5 Mrd. DM (niedrige Nachfrage) und 14 bzw. 15 Mrd. DM für das Szenario mit der hohen Nachfrage. Die durchschnittlichen Reduktionskosten der Treibhausgasminderung für den Fall der niedrigen (bzw. hohen) Nachfrage liegen zwischen 53 (97) DM/tCO₂-Äquivalent im THG-Szenario (oberer Wert) und 63 (110) DM/tCO₂-Äquivalent im CO₂-Szenario. Ein Vergleich der Werte im THG- und CO₂-Fall, zeigt, daß die relative Differenz in einem Bereich von -4 bis -13 % (bzw. -2% bis -8%) liegt.

Die Grenzkosten oder marginalen Kosten (auch Schattenpreise genannt) liegen wesentlich höher als die Durchschnittskosten und sind in Abbildung 4-5 dargestellt. Wie bei den Durchschnittskosten besitzt die Nachfragevarianz auch bei den Grenzkosten einen entscheidenden Einfluß. Darüber hinaus ist es von großer Bedeutung, ob eine Restriktion auf die CO₂-Emissionen gesetzt wird oder auf andere Treibhausgase erweitert wird. Insbesondere im Reduktionsfall können die Grenzkosten im Mittel um knapp 20% (von 346 DM/t auf 283 DM/t) reduziert werden, wenn wie im THG-Szenario dem Modell ein größerer Spielraum bei der Auswahl von Treibhausgasminderungsmaßnahmen zur Verfügung steht.

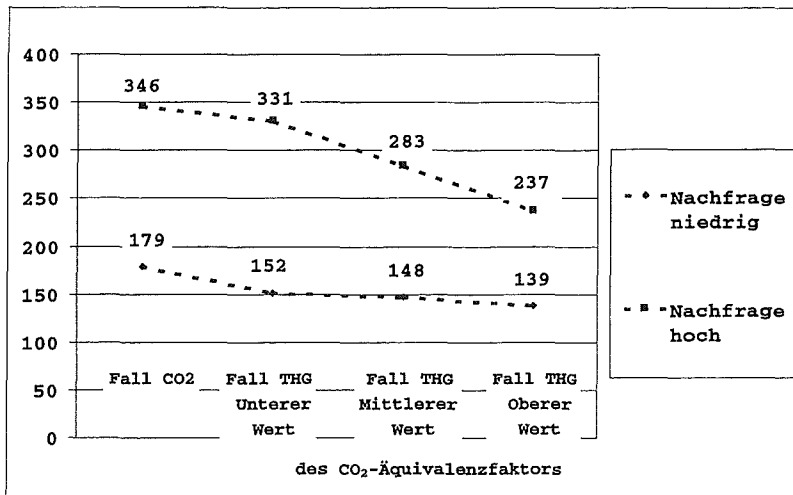


Abbildung 4-5: CO₂-Grenzkosten (DM/tCO₂) für das Jahr 2005

4.6 Fazit

Ziel der Analysen war es, die Auswirkungen von Nicht-CO₂-Treibhausgasemissionen auf eine auf CO₂ abgestimmte Minderungsstrategie zu untersuchen. Darüber hinaus galt es, verschiedene Sensitivitätsanalysen durchzuführen.

Im Basisfall, der im Sinne eines No-regret-Szenarios interpretiert werden kann, liegt die CO₂-Reduktion für das Jahr 2005 in einem Bereich von 12 bis 16%. Bezieht man die Treibhausgase CH₄, N₂O sowie CO über CO₂-Äquivalenzwerte (Betrachtungszeitraum 20 Jahre) in die Analysen mit ein, beträgt die Reduktion der Treibhausgase in der Summe 17 bis 26%. Die im CO₂-Reduktionsszenario vom Modell errechneten Minderungsmaßnahmen bewirken im Sinne eines Mitnahmeeffektes eine Reduktion aller Treibhausgase von 29 bis 33 %.

Eine auf eine Minderung aller Treibhausgase ausgerichtete Minderungsstrategie führt gegenüber einer „reinen,“ CO₂-Minderungsstrategie zu Kompensationseffekten zwischen den einzelnen Sektoren. Gemessen an den jährlichen Gesamtemissionen sind die emissionsseitigen Auswirkungen absolut gesehen relativ gering. Allerdings besitzen sie erhebliche Auswirkungen auf die Grenzkosten, die deutlich reduziert werden.

Die Analysen zeigen weiterhin, daß das Modell auf Nachfrageänderungen sehr sensitiv reagiert. Da die exogen vorgegebenen Nachfragegrößen einen stark prognostischen Charakter besitzen und daher naturgemäß mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sind, ist die Angabe einer Emissionsprojektion nur in Form einer Bandbreite aussagekräftig. Die Bandbreite von CO₂-Äquivalenzwerten ist aufgrund von Unsicherheiten erheblich und besitzt starken Einfluß auf das Modellergebnis. Die Ergebnisse können daher nur einen Trendcharakter besitzen.

Literatur

/BMU 1997/

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Klimaschutz in Deutschland – Zweiter Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenabkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn 1997

/Gebauer 1995/

P. H., Gebauer: CO₂-Äquivalenzfaktoren atmosphärischer Spurengase. Diplomarbeit, vorgelegt an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Juni 1995

/Martinsen et al. 1998/

D. Martinsen, P. Markewitz, M. Walbeck, P. Jagodzinski, D. Müller: Das IKARUS-Optimierungsmodell. In: Markewitz et al.: Modelle für die Analyse energiebedingter Klimagasreduktionsstrategien. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt Band 7, S. 57 – 138, Jülich 1998

/Markewitz, Martinsen 1997/

P. Markewitz, D. Martinsen: IKARUS-Minderungsszenarien für Deutschland. In: Modellinstrumente für CO₂-Minderungsstrategien. Hrsg. von J. Fr.Hake u. P. Markewitz. Umwelt – Systemanalysen des Forschungszentrums Jülich, Band 4200003, Jülich 1997

/Schafhausen 1998/

F. Schafhausen: Kyoto – und was kommt danach ? Energiewirtschaftliche Tagesfragen 48. Jg. (1998) Heft 1/2 S.11-16

5 Klimaschutzstrategien für Deutschland nach Kyoto

E. Läge, S. Molt, A. Voß

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)

Universität Stuttgart, Heßbrühlstr. 49a, D-70565 Stuttgart

5.1 Einleitung

Die Klimaschutzpolitik in unserem Land befindet sich in einer schwierigen Phase — und das nicht erst seit der Kyoto-Konferenz vom Dezember 1997. Auf der politischen Dringlichkeitsskala ist der Schutz des Klimas von den vorderen Plätzen verdrängt worden. Die Schaffung von mehr Arbeitsplätzen und die Sicherung des Wirtschaftsstandortes Deutschland im globalen Wettbewerb stehen im Vordergrund. Hinzu kommt, daß es auch von der klimawissenschaftlichen Seite keine neuen Erkenntnisse gibt, die drastische Maßnahmen zum Klimaschutz rechtfertigen. Im Gegenteil, als klimawissenschaftlicher Laie kann man den Eindruck gewinnen, daß die Frage nach der menschlichen Beeinflussung des Klimas heute kontroverser diskutiert wird als noch vor einigen Jahren. Das erklärte Ziel der Bundesregierung, die energiebedingten CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 um 25 % gegenüber 1990 zu reduzieren, wird zunehmend in Frage gestellt.

Dies geschieht zum einen mit Hinweis darauf, daß der seit 1990 zu verzeichnende Rückgang der energiebedingten CO₂-Emissionen primär Resultat des Zusammenbruchs und der Umstrukturierung der emissionsträchtigen ostdeutschen Wirtschaft gewesen ist (siehe Abbildung 5-1). In den alten Bundesländern haben dagegen die CO₂-Emissionen seit 1990 leicht zugenommen. Den Rückgang kann man also nicht in die Zukunft fortschreiben. Des weiteren zeigen Untersuchungen, daß mit den bisher beschlossenen Maßnahmen eine CO₂-Minderung von lediglich 15-17 % bis zum Jahr 2005 erzielt werden kann.

Nicht nur die Erreichbarkeit des 25 %-Minderungsziels wird in Frage gestellt, sondern auch, ob denn dieses Ziel von einer tragfähigen Grundlage abgeleitet worden ist. So muß gefragt werden, ob die negativen Wirkungen von Klimaschutzmaßnahmen auf volkswirtschaftliche Ziele wie Beschäftigung, Wettbewerbsfähigkeit und wirtschaftliches Wachstum ausreichend berücksichtigt sind. Im Zusammenhang mit der in Kyoto für die EU vereinbarte Emissionsminderung von 8 % für den Zeitraum 2008 bis 2012 für einen Korb von sechs Treibhausgasen (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆) und der Umsetzung in nationale Reduktionspflichten wird das derzeitige Minderungsziel, 25 % der CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 zu mindern, in Deutschland wieder thematisiert. Die Klimapolitik steht also, angesichts gesellschaftlich vordringlicher Probleme, wie der Schaf-

fung von Arbeit und der Sicherung des Wirtschaftsstandortes, vor neuen Rechtfertigungs- und Begründungszwängen.

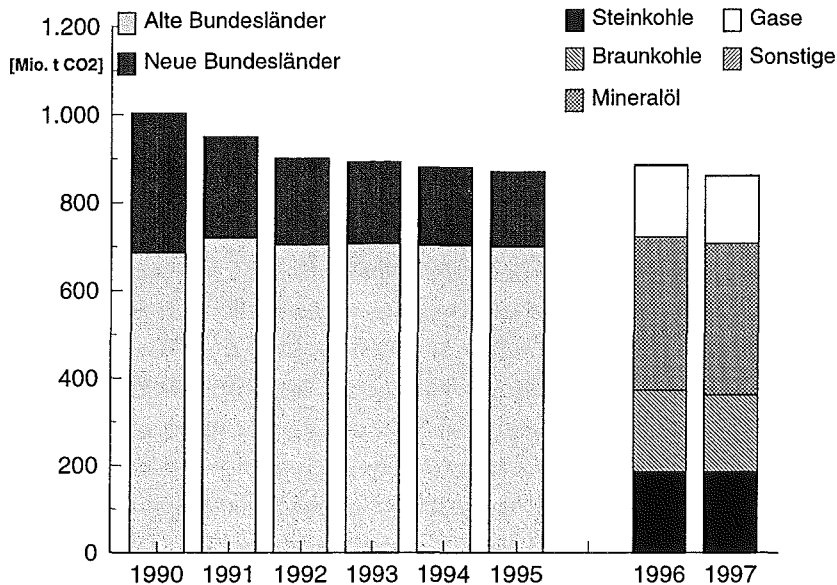


Abbildung 5-1: Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen in Deutschland von 1990 bis 1997

In Zukunft werden Kosteneffizienz, Vermeidung nationaler Sonderlasten, Ökonomieverträglichkeit an Bedeutung gewinnen. Dies gilt insbesondere im Zusammenhang mit der bevorstehenden Festlegung von nationalen Reduktionspflichten der Länder der EU. Hier ist darüber hinaus noch das Problem der gerechten Verteilung von Reduktionslasten zu lösen. Mit der Situationsbeschreibung sind aber auch neue Anforderungen an diejenigen beschrieben, die mit modellgestützten Analysen Entscheidungshilfen für die Klimapolitik bereitstellen wollen - ausreichend fundierte Antworten auf die neuen Fragen liegen derzeit noch nicht vor.

Im folgenden sollen einige erste Orientierungen zu den angesprochenen neuen Problemstellungen für die Ausgestaltung einer tragfähigen Klimaschutzpolitik gegeben werden. Angesprochen werden:

- die Auswirkungen nationaler politischer Rahmenbedingungen auf die Kosten und damit die Ökonomieverträglichkeit von Klimaschutzstrategien,
- die Auswirkungen veränderter Minderungsziele und von Zeitflexibilität bezüglich der Treibhausgasminderung,

- die Frage der Festlegung nationaler Reduktionspflichten im Rahmen des 8 %-Reduktionsbudgets der EU im Rahmen der Kyoto-Verpflichtungen sowie
- abschließend die Frage, ob es ggf. sogenannte *Hidden Benefits* einer Treibhausgas-minderung gibt, die in der Diskussion stärkere Beachtung finden sollten.

Diese Punkte sollen anhand modellgestützter Analysen diskutiert werden. Hierzu werden zunächst die Rahmenannahmen einer zukünftigen Entwicklung für Deutschland vorgestellt, auf denen die Modellrechnungen basieren. Darauf aufbauend werden die Auswirkungen alternativer Klimaschutzstrategien in Deutschland skizziert, die im weiteren auf ihre Effekte auf europäischer Ebene untersucht werden. Den Abschluß bilden erste Abschätzungen der *Hidden Benefits* einer Treibhausgas-minderung in Deutschland.

5.2 Rahmenannahmen der modellgestützten Analyse

Angesichts gegebener Risiken von Fehlentscheidungen wäre es aus Sicht von Entscheidungsträgern ideal, Informationen über die Entwicklung der Zukunft zu haben. Da die bislang erstellten Prognosen zur Entwicklung bestimmter Energiesysteme dem Anspruch der Vorhersage der Zukunft jedoch nicht gerecht wurden, stellt sich die Frage, auf welche Grundlage Entscheidungen über Eingriffe in ein System zu stellen sind.

Ziel der systematischen Zukunftsanalyse ist es, heutige Entscheidungen auf eine rationale Basis zu stellen. Systemzusammenhänge und -kausalitäten und damit Konsequenzen von Entscheidungs- und Handlungsmöglichkeiten sollen im Hinblick auf die Erreichung gegebener energie- und umweltpolitischer Ziele dargestellt werden. Vor dem Hintergrund der untersuchten Fragestellung bedeutet dies, effiziente Wege und Strategien zur Minderung der energiebedingten Treibhausgasemissionen aufzuzeigen.

Im Jahr 1994 machten die energiebedingten Kohlendioxidemissionen einen Anteil von 83,3 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland aus (vgl. Abbildung 5-2). Der zweitgrößte Anteil entfiel auf die Methanemissionen (CH₄) mit knapp 9,5 %. Die N₂O-Emissionen hatten 1994 einen Anteil von 6,3 % und die verbleibenden 3 Treibhausgasgruppen der HFC, PFC und SF₆ trugen gemeinsam 1 % zu den CO₂-Äquivalentemissionen in Deutschland bei. Im weiteren werden lediglich die energiebedingten CO₂-Emissionen ausgewiesen, wobei die CH₄- und N₂O-Emissionen in den vorgestellten Modellrechnungen mit berücksichtigt werden.

Den im Rahmen dieses Beitrages durchgeführten Modellrechnungen liegen folgende Rahmenannahmen bezüglich der ökonomischen und demographischen Entwicklung zugrunde (vgl. Tabelle 5-1).

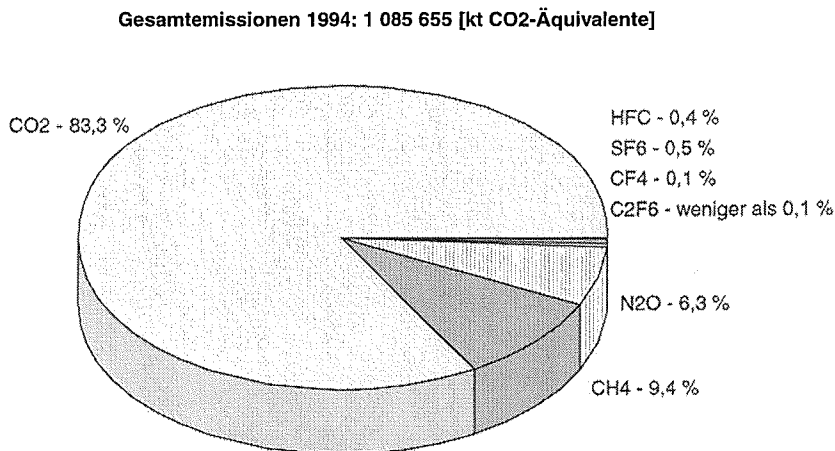


Abbildung 5-2: Anteile der Treibhausgasemissionen an den CO₂-Äquivalentemissionen im Jahr 1994 in Deutschland

Tabelle 5-1: Wesentliche Rahmenannahmen

Bevölkerungsentwicklung	2005	83,4 Mio.
	2020	81,2 Mio.
BIP-Wachstum	bis 2005	2,0 % / a
	nach 2005	1,8 % / a
Energieträgerpreisentwicklung	Importsteinkohle	50 % - Zunahme bis 2020
	Rohöl	80 % - Zunahme bis 2020
	Erdgas	70 % - Zunahme bis 2020

Ausgehend von einer Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1995 von rund 81,8 Mio. Einwohnern wird angenommen, daß nach einem Anstieg bis zum Jahr 2005 ein leichter Rückgang erfolgt. Als zusätzliche energiebedarfsbestimmende Faktoren werden in dieser Untersuchung neben der Bevölkerungsentwicklung das Wachstum des Bruttoinlandsprodukts (BIP) und die Entwicklung der Energieträgerpreise vorgegeben. Zusätzlich gelten für die heimischen Braun- und Steinkohlen nachstehende Mindestabnahmemengen, die aus den zugesicherten jährlichen Subventionen hergeleitet sind (vgl. Tabelle 5-2).

Tabelle 5-2: Energiepolitische Annahmen zur deutschen Kohlepolitik

	1990	1995	2000	2005	2010	2020
Steinkohle						
Mindestmenge in PJ	2089	1597	1120	700	530	300
Subventionen in Mrd. DM ₉₅			7,2	4,0	3,2	1,8
Braunkohle West						
Mindestmenge in PJ	905	911	830	810	690	450
Braunkohle Ost						
Mindestmenge in PJ	2238	797	720	640	550	350

Für die Bestimmung effizienter Strategien zur Treibhausgasminderung wird im Rahmen dieser Arbeit die Szenariotechnik verwendet. Ein Szenario umfaßt eine Quantifizierung der Vorstellungen einzuleitender Maßnahmen zur Treibhausgasminderung sowie Annahmen über die Entwicklung unsicherer Einflußfaktoren wie bspw. die Entwicklung der Energiepreise oder des zukünftigen Einsatzes der Kernenergie. Ein Szenario ist dabei jedoch nicht als abstrakte Vereinigung einzelner Zahlen zu sehen, sondern als Denkbild einer ganz bestimmten Zukunftsentwicklung. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse der einzelnen Szenarien lediglich als Basis für eine qualitative Interpretation und nicht als Prognose einer zukünftigen Entwicklung aufzufassen. Ziel ist die Identifikation von Entscheidungen, die trotz der eventuell großen Spannweiten aus heutiger Sicht richtig sind und die als *robuste* Entscheidungen bezeichnet werden. Unter Vorgabe der Rahmendaten werden daher für die Modellanalyse vier alternative Szenarien einer zukünftigen Entwicklung in Deutschland bis zum Jahr 2020 betrachtet (vgl. Tabelle 5-3).

In den drei Klimaschutzszenarien (KKK, KKA, LC) werden die Reduktionsziele einer 25 %-igen Verringerung der CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2010 bzw. einer 40 %-igen Verringerung bis zum Jahr 2020 betrachtet, jeweils auf das Emissionsniveau des Jahres 1990 bezogen. Zusätzlich wird im Szenario KKA untersucht, inwieweit sich Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie bis zum Jahr 2010 auf die Erreichung des Minderungsziels auswirkt.

Tabelle 5-3: Szenarien

Trend	Kohleschutzpolitik und konstante Kernenergie ohne Minderungsziel
KKK	Kohleschutzpolitik und konstante Kernenergie
KKA	Kohleschutzpolitik und Ausstieg aus der Kernenergie bis 2010
LC	Least-Cost, keine politischen Vorgaben bei der Kohle und Kernenergie

Das Trendszenario beinhaltet eine Fortschreibung der momentanen Situation und dient in erster Linie als Bezugsentwicklung für die anderen Szenarien. In diesem Szenario werden keine gesonderten Maßnahmen zur Minderung der Treibhausgasemissionen unterstellt.

5.3 Auswirkungen alternativer Klimaschutzstrategien in Deutschland

Das Trendszenario beschreibt die Entwicklung des Energiesystems der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen der getroffenen Annahmen, ohne Vorgabe eines Minderungszieles der Treibhausgasemissionen und soll als Vergleichsmaßstab für die Minderungs-szenarien dienen. Für dieses Trendszenario ergeben sich folgende Ergebnisse (vgl. Abbildung 5-3).

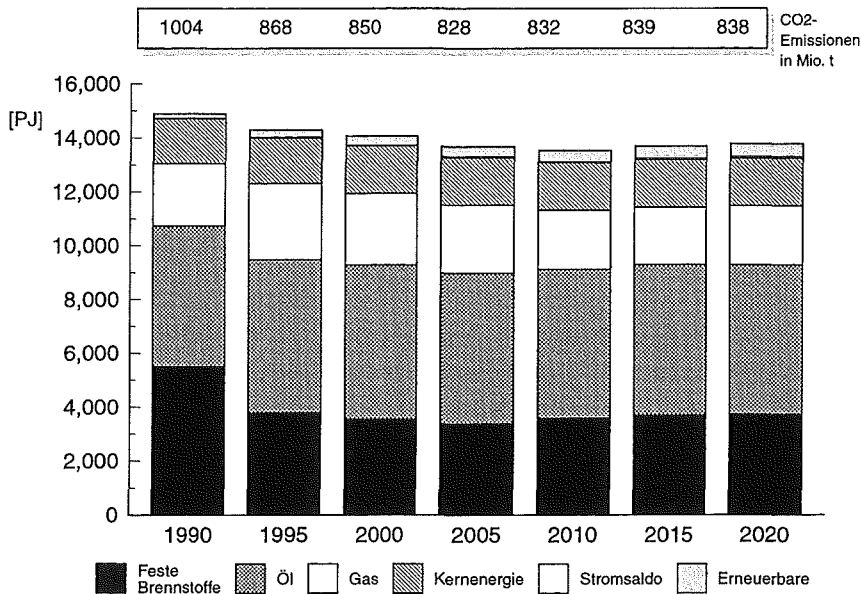


Abbildung 5-3: Entwicklung von PEV und Treibhausgasemissionen (Trend-Szenario)

Bis zum Jahr 2020 erfolgt ein leichter Rückgang des Primärenergieverbrauchs von rund 3,5 %. Dieser Rückgang ist in erster Linie bedingt durch die Verringerung des spezifischen Heizwärmebedarfs der Gebäude, durch die Effizienzverbesserungen bei den Wärmeerzeugungsanlagen und den Geräten der Stromanwendung sowie den angenommenen Effizienzverbesserungen der Fahrzeuge. In dem Betrachtungszeitraum von 1990 bis 2020 erfolgt keine wesentliche Änderung der Struktur der Primärenergieträger. So bleibt der Anteil der Kohlen bei rund 36 %, der Anteil der Mineralöle bei etwa 40 %, der Anteil der Gase bei ca. 20 % und der Anteil der Kernenergie bei rund 12 %. Über den Betrachtungszeitraum wird der Einsatz heimischer Stein- und Braunkohle jedoch auf die vorgegebene Mindesteinsatzmenge begrenzt und durch Importkohle ersetzt.

In Verbindung mit dem Rückgang des Primärenergieverbrauchs ist ein leichter Rückgang der CO₂-Emissionen zu erkennen. Bezogen auf das Jahr 1990 sinken die CO₂-Emissionen um gut 17,5 % bis zum Jahr 2005 und bleiben anschließend annähernd konstant.

In Abbildung 5-4 sind die Auswirkungen veränderter Minderungsziele und der Einfluß einer Zeitflexibilität auf die Gesamtkosten des Energiesystems dargestellt.

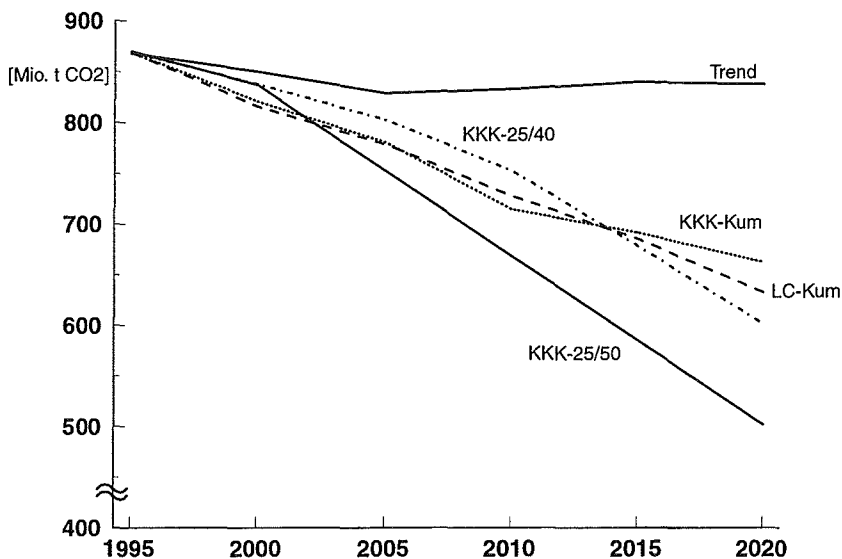


Abbildung 5-4: Auswirkungen veränderter Minderungsziele und Zeitflexibilität

In der Variante KKK-25/50 wurde untersucht, zu welchen Mehrkosten ein Reduktionsziel von 50 % im Jahr 2020 gegenüber dem ursprünglichen Ziel einer 40 %-igen Reduktion der Kohlendioxidemissionen führt. Die Vorgabe einer Zeitflexibilität bedeutet die Vorgabe eines Grenzwertes der kumulierten Emissionen und keine Vorgabe von Reduktionszielen für einzelne Bezugsjahre — dies ist in Variante KKK-Kum untersucht.

Unter den Randbedingungen der KKK-Fälle (Kohleschutzpolitik und konstante Kernenergie), wo die marginalen Kosten der CO₂-Minderung mit sich verschärfender Reduktionsanforderungen ansteigen ist es kostengünstiger in den ersten Perioden stärker zu mindern. Modelltechnisch ist dies begründet durch die Vermeidung sogenannter *lost opportunities*, und einer damit verbundenen vorzeitigen Umsetzung von Maßnahmen zur Treibhausgasminderung.

Das Szenario LC-Kum zeigt einen zeitlichen Verlauf der Minderung der ähnlich wie in KKK 25/40 ist, weist aber, bedingt durch den Wegfall der Kohle- und Kernenergie-

restriktionen sowie der Vorgabe einer Zeitflexibilität, um 118 Mrd. DM geringere Kosten aus.

Die Auswirkungen der Treibhausgasminderungen der verschiedenen Szenarien auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP) bezogen auf die Trendentwicklung in Deutschland bis zum Jahr 2020 ist in Abbildung 5-3 dargestellt. Danach ist mit einem Rückgang des Bruttoinlandsproduktes um 2,2 bis 3,8 % in den Fällen KKK und KKA im Jahr 2020 zu rechnen, bei einer CO₂-Minderung von 40 % gegenüber 1990. Auf der Ebene der Endenergie bedeutet dies einen Rückgang um 17 % im Szenario KKK bzw. 25 % im Szenario KKA gegenüber dem Trend in 2020. Dabei resultiert der verringerte Endenergiebedarf sowohl aus den technischen Maßnahmen zur rationellen Energieanwendung in den Nachfragesektoren als auch aus einem Absinken der nachgefragten Energiedienstleistungen durch makroökonomische Substitutionseffekte.

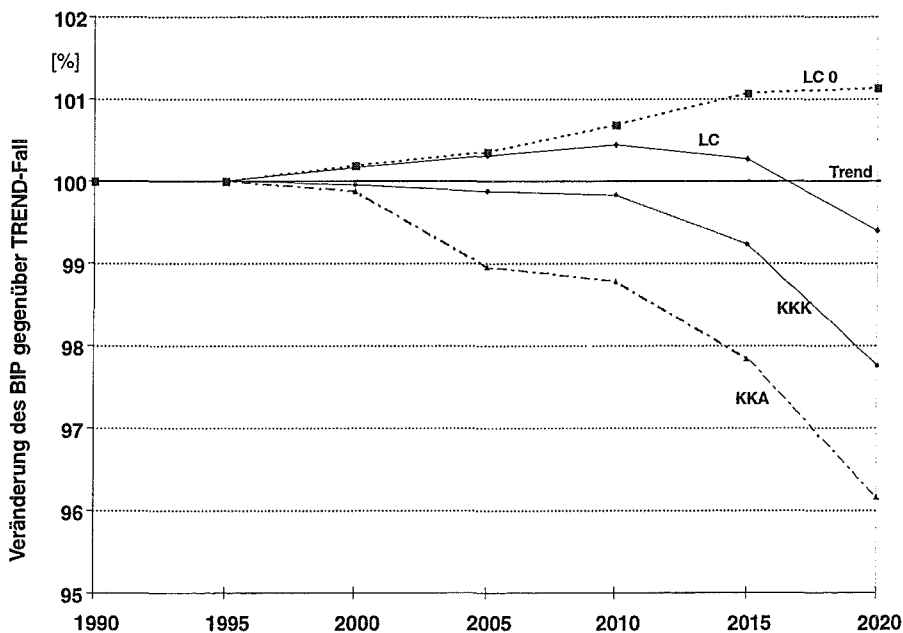


Abbildung 5-5: Auswirkungen alternativer Treibhausgasminderungsstrategien auf das BIP

Beim Abbau der politischer Restriktionen ohne ein CO₂-Minderungsziel (LC 0) wäre dagegen ein um 1% höheres BIP möglich, da der Verzicht auf die vergleichsweise teuren heimischen Kohlen die Kosten der Deckung des Energiebedarfes deutlich absinken. Wird jedoch auch für diesen Fall das Ziel einer 40 %-igen Minderung der CO₂-Emissionen vorgegeben (LC), dann treten die Wachstumsverluste erst nach dem Jahr 2010 auf, wenn zunehmend kostenintensivere Maßnahmen der Treibhausgasminderung zur Anwendung ge-

langen. Diese Ergebnisse zeigen den nationalen Spielraum auf, um nationale Klimaschutzziele mehr oder weniger ökonomieverträglich erreichen zu können.

5.4 Burden Sharing auf europäischer Ebene

Die national anzustrebenden Reduktionsziele stehen in enger Wechselwirkung mit den Vereinbarungen zur Treibhausgasminderung auf europäischer Ebene. Dies gilt insbesondere für die Frage nach einer gerechten Verteilung der im Rahmen des Kyoto-Protokolls eingegangenen Reduktionsverpflichtungen zwischen den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union: Für die Zeitperiode von 2008 bis 2012 sollen die Emissionen der EU von insgesamt 6 Treibhausgasen (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC, SF_6) im Mittel um 8 % gesenkt werden. Hierbei werden die Treibhausgasminderungen in Deutschland eine gewichtige Rolle spielen müssen. Allein für das wichtigste Treibhausgas, das CO_2 , entfallen knapp 1/3 der EU-weiten Emissionen auf Deutschland, das damit vor Großbritannien, Italien und Frankreich den größten Anteil an den europäischen Gesamtemissionen hat (vgl. Abbildung 5-6).

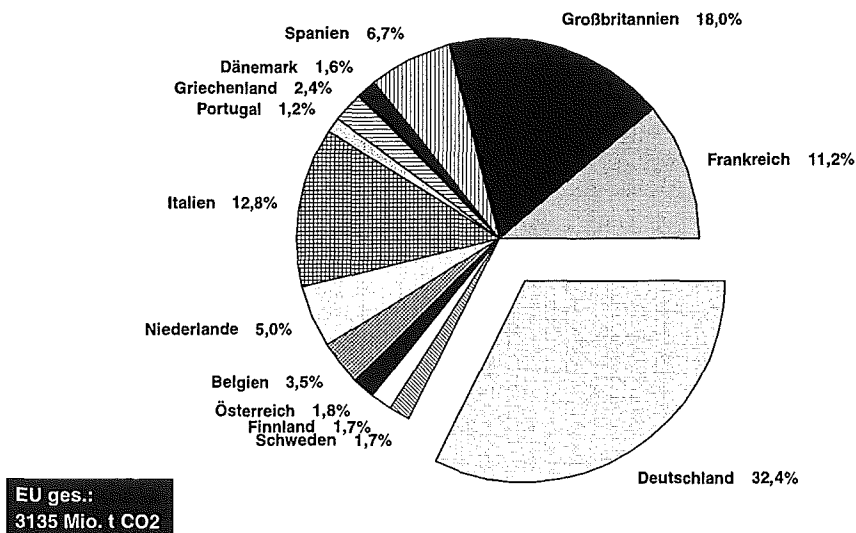


Abbildung 5-6: CO_2 -Emissionen der 13 EU-Ländern im Jahr 1990

Angesichts der anvisierten Minderungen auf europäischer Ebene stellt sich die Frage, wie eine gerechte Verteilung der Reduktionsverpflichtungen zwischen den Mitgliedstaaten erzielt werden kann. Dabei gibt es eine Vielzahl von Kriterien, nach denen man eine gerechte Verteilung der Lasten (das sogenannte *Burden Sharing*) festlegen kann.

"Gerechte" Reduktionsverpflichtungen können sich dabei auf identische Pro-Kopf-Emissionen, gleiche Emissionen je Einheit Bruttoinlandsprodukt oder gleiche Minderungskosten pro Kopf beziehen. Jeder dieser Maßstäbe führt zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen, hinsichtlich der Reduktionsanforderungen an die einzelnen Länder.

Der EU-Ministerrat hat im März 1997 nationale Minderungsziele vereinbart, die in der Summe die Verpflichtungen von Kyoto erfüllen. Auf der Länderebene ist dabei versucht worden, den unterschiedlichen Ausgangssituationen Rechnung zu tragen, so daß die Staaten mit wirtschaftlichem Nachholbedarf (wie z. B. Spanien, Portugal oder Griechenland) ihre Emissionen noch erhöhen dürfen. Die getroffenen Vereinbarungen sind in Abbildung 5-7 exemplarisch für die CO₂-Emissionen im Jahr 2010 dargestellt.

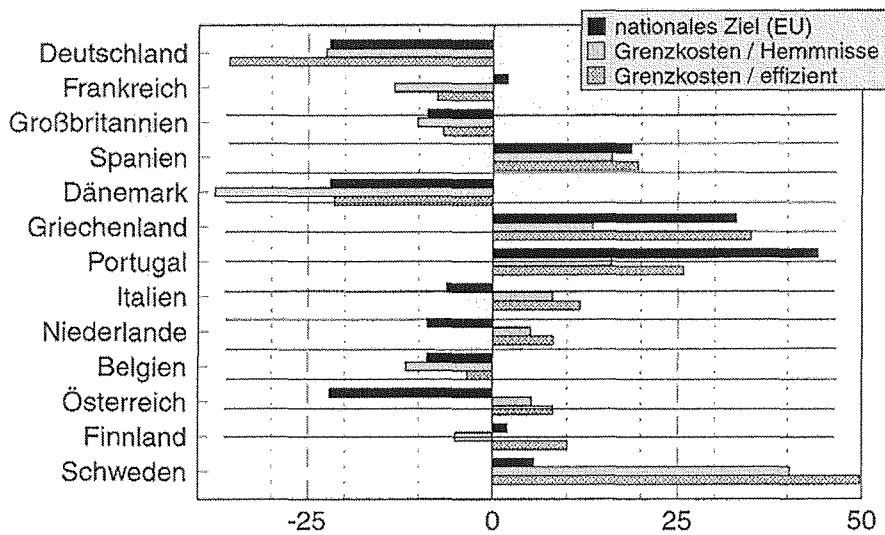


Abbildung 5-7: Vergleich der nationalen EU-Ziele (1990/2010) mit Reduktionsquoten bei gleichen Grenzkosten für zwei Energiepolitiksznarien für Deutschland

In Abbildung 5-7 werden die festgelegten Reduktionsquoten den Minderungsverpflichtungen gegenübergestellt, die sich nach dem Schlüssel identischer Grenzkosten der CO₂-Minderung in der EU ergeben. Die Analyse erfolgt für zwei alternative Energiepolitiksznarien in Deutschland: Im Szenario *Hemmnisse* wird ein Ausstieg aus der Kernenergie bis zum Jahr 2005 unterstellt, das Szenario *effizient* hat dagegen keine Vorgaben für den Einsatz heimischer Kohlen und der Kernenergie. Es zeigt sich, daß die jeweilige Ener-

giepolitik in Deutschland die Reduktionsnotwendigkeiten der anderen 12 Länder maßgeblich mitbestimmt. Im wesentlichen sind zwei Tendenzen zu erkennen:

- Eine kosteneffiziente CO₂-Minderung, im Sinne gleicher Grenzkosten der Emissionsminderung in allen Ländern, führt in der EU zu einer deutlich anderen Verteilung der nationalen Reduktionserfordernisse, als es den EU-Vereinbarungen vom März 1997 entspricht.
- Die nationale Politik bestimmt die Verteilung der Reduktionspflichten auf einzelne Länder maßgeblich mit. Die Kosten der CO₂-Minderung nach dem EU-Schlüssel sind naturgemäß höher, als bei einer effizienten Verteilung nach den Grenzkosten. Zudem gibt es einen wesentlichen nationalen Einfluß auf Kosten und Reduktionspflichten der übrigen Länder.

Die nationalen Rahmenbedingungen und die politischen Eingriffe bestimmen nicht nur die Reduktionskosten in einem Land, sondern im Rahmen einer EU-weiten kosteneffizienten Strategie auch die Reduktionserfordernisse und die Kosten der CO₂-Minderung. Beim Übergang von einer Least-Cost-Strategie zu energiepolitischen Vorgaben in Deutschland, die die heimische Braun- und Steinkohle schützen und auf die weitere Nutzung der Kernenergie verzichten, ergeben sich für die anderen EU-Länder zusätzliche Minderungen von 120 Mio. t CO₂/a (bei der Unterstellung EU-weiter identischer Grenzkosten der Minderung).

Die Zielfestlegungen in der EU vom März 1997 führen nicht zu einer effizienten Erreichung des 8 % Minderungsziels. Diese Kosten könnten durch eine andere Verteilung der Reduktionspflichten deutlich gesenkt werden, wovon die einzelnen Länder durchaus unterschiedlich betroffen wären. Der Kostenvorteil könnte durch Ausgleichszahlungen jedoch allen Ländern zugute kommen. Der Gesamtbetrag der Zielerreichung hängt allerdings sehr stark von der in Deutschland eingeschlagenen Energiepolitik ab. Bei einem Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland bis zum Jahr 2005 müßten innerhalb der EU jährlich etwa 7 Mrd. US\$₉₀ mehr aufgewendet werden als im Falle einer Least-Cost-Strategie notwendig wären (vgl. Abbildung 5-8).

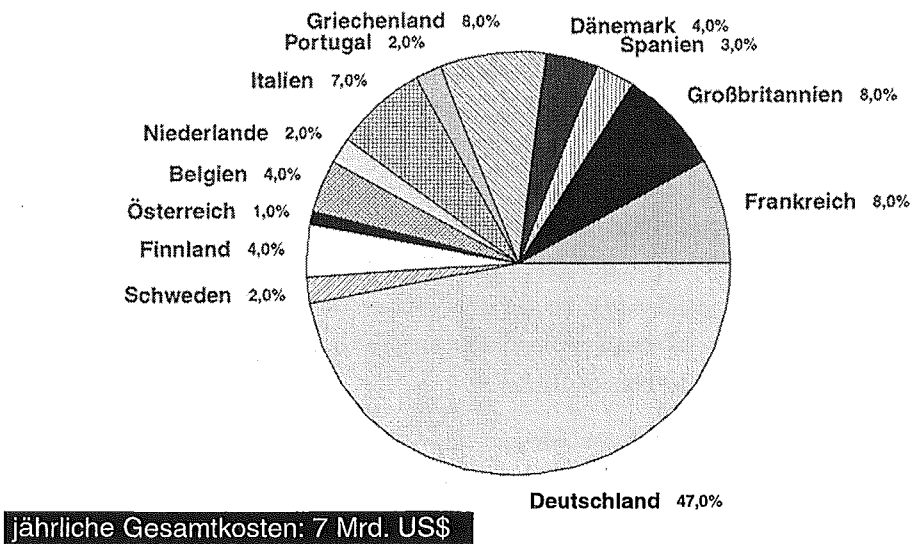


Abbildung 5-8: Verteilung der zusätzlichen CO₂-Minderungskosten verursacht durch politische Hemmnisse in Deutschland bei grenzkostenbasiertem „burden-sharing“ in der EU

Aufgrund der stark ansteigenden Minderungskosten in Deutschland, die sich bei einem Ausstieg aus der Kernenergie bei gleichzeitiger Mindestabnahme heimischer Braun- und Steinkohle ergeben, muß Deutschland jedoch diese Zusatzkosten nicht allein tragen, sondern nur 47 % davon. Die übrigen jährlichen Zusatzkosten verteilen sich auf diejenigen Länder, denen entweder in der EU Regelung eine Zunahme der Emissionen zugestanden worden ist (wie z. B. Griechenland, Spanien, Portugal) oder Länder, die über weitere kosteneffiziente Minderungsmaßnahmen verfügen (z. B. Frankreich, Italien, Großbritannien).

5.5 Hidden Benefits

Abschließend soll noch ein Aspekt angesprochen werden, der bisher in der Diskussion über die Treibhausgasminderung und ihren Kosten noch kaum Beachtung gefunden hat: die Hidden Benefits der Treibhausgasminderung. Die Minderung der CO₂-Emissionen geht mit einer Reduktion des Verbrauchs fossiler Energieträger einher. Dabei werden in der Regel auch die Emissionen weiterer Schadgase reduziert, wie z. B. von SO₂, NO_x und Staub. Eine erste größenordnungsmäßige Abschätzung der vermiedenen sonstigen Umwelt- und Gesundheitsschäden, die durch eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 40 % bis

zum Jahr 2020 in Deutschland entstehen, führt mit Hilfe des ECOSENSE Modells /Krewitt 1995/ zu den in Abbildung 5-9 dargestellten Ergebnissen.

Mortalität	
- Verkürzung der Lebenserwartung [kum. Lebensjahre]	70 000
Morbidität	
- Tage mit eingeschränkter Aktivität	2 500 000
- Fälle von chronischer Bronchitis bei Kindern	65 000
- Krankenhausaufnahmen wg. Atemwegserkrankungen	350
Ernteverluste	
- Weizen in [t]	150 000
- Kartoffeln in [t]	240 000
Materialschäden	
- Bedarf an Farbe zur Instandhaltung [m ²]	10 000 000
Vermiedene Schadenskosten	ca. 8,5 bis 16 10⁹ DM/a
(davon ca. 95 % durch Gesundheitsschäden)	

Abbildung 5-9: Beispiele von Hidden Benefits vermiedener Umwelt- und Gesundheitsschäden einer Treibhausgasminderung im Jahr 2020 in Deutschland

Es zeigt sich, daß die vermiedenen externen Kosten im Bereich von 8,5 bis 16 Mrd. DM/a liegen. Sie resultieren aus vermiedenen Ernteverlusten, Materialschäden oder Gesundheitsschäden. Die Größenordnung dieser Zahlenwerte legt nahe, daß in diesem Bereich genauere Abschätzungen notwendig sind, um eine eventuelle zweite Dividende des Klimaschutzes in die klimapolitische Diskussion miteinbringen zu können.

5.6 Fazit

Die Methoden der integrierten Systemanalyse können auch angesichts der veränderten energie- und umweltpolitischen Rahmenbedingungen weiterhin eine gewichtige Rolle zur Entscheidungsunterstützung in der Klimadiskussion spielen. Sie müssen hierfür jedoch erweitert werden, um den Fragestellungen einer europäischen und weltweiten Einbettung der nationalen Klimapolitik und ihrer volkswirtschaftlichen Kosten sowie der Diskussion um die Flexibilität der Minderungsziele gerecht zu werden.

Die so erweiterten Analyseinstrumente zeigen, daß kosteneffiziente Optionen zur Verfügung stehen, die sowohl die Erreichung der Kyoto Vereinbarungen innerhalb der EU

als auch die Umsetzung ambitionierter Ziele im nationalen Rahmen ermöglichen. Die zusätzlichen Kosten, die bei einem Verzicht auf kontrovers diskutierte Technologien in Deutschland entstehen, werden dabei möglicherweise nur zum Teil von der deutschen Volkswirtschaft selbst aufzubringen sein. Die Überlegungen für eine zukunftsfähige deutsche Energiepolitik müssen daher nicht zuletzt wegen der Liberalisierung der Energiemärkte um die Aspekte ihrer internationalen Einbindung erweitert werden. Darüber hinaus sollte die Diskussion um die Kosten und den Nutzen eines aktiven Klimaschutzes auch verstärkt diejenigen Effekte berücksichtigen, die als Hidden Benefits eine doppelte Dividende des Klimaschutzes darstellen können.

Literatur

/Krewitt 1995/

Krewitt, W.: ECOSENSE - an integrated tool for environment impact analysis. In: Umwelt-Informatik aktuell, Band 7, S. 192-200, Marburg : Metropolis Verlag, 1995

6 Zur gerechten Verteilung der Lasten des Klimaschutzes - Eine ökonomische Perspektive

Carsten Helm

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

Postfach 60 12 03, 14412 Potsdam

6.1 Einleitung

In Artikel 3 der Klimarahmenkonvention wurde vereinbart, daß der Schutz des Klimasystems auf der Basis der Gerechtigkeit und in Übereinstimmung mit den gemeinsamen aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten und Fähigkeiten der Vertragsstaaten erfolgen soll. Die Klimarahmenkonvention nennt jedoch keinerlei Kriterien, anhand derer die Gerechtigkeit unterschiedlicher Verhandlungsvorschläge bewertet werden könnte. Daher hat die Forderung nach Gerechtigkeit bis jetzt wenig Orientierung geliefert.

Dies überrascht kaum, denn Argumente, die auf Überlegungen zur Gerechtigkeit beruhen, werden oft mit großer Skepsis aufgenommen. Zwei der am häufigsten zu hörenden Einwände, die auch unter Ökonomen verbreitet sind, lauten wie folgt: „Gerechtigkeit ist lediglich ein Wort, daß heuchlerische Leute benutzen, um ihre Eigeninteressen durchzusetzen“, und „sie ist so hoffnungslos subjektiv, daß sie nicht wissenschaftlich analysiert werden kann“ (/Young 1994: xi/ eigene Übersetzung). In mancher Hinsicht scheinen die Verhandlungen über ein Klimaregime jene Einwände bestens zu bestätigen, denn fast jeder Akteur – gleich ob tiefziehender Inselstaat oder Erdölexporteur – stellt seinen Politikvorschlag als den einzig wirklich gerechten dar.

In diesem Aufsatz wird ein axiomatischer Gerechtigkeitsansatz dargestellt und es wird gezeigt, wie dieser profitabel für eine Analyse der gerechten Verteilung der Klimaschutzanstrengungen angewandt werden können.⁵ Insbesondere werden eine Reihe allgemeiner Gerechtigkeitskriterien eingeführt, die weitgehend als erstrebenswert anerkannt werden. Gerade aufgrund dieser breiten Zustimmung handelt es sich bei den einzelnen Kriterien jedoch eher um eine Art „Mindeststandards der Gerechtigkeit“, die zwar eine Vielzahl von Verteilungsweisen als „ungerecht“ ausschließen, aus denen aber keine eindeutige Lösung folgt. Bei gleichzeitiger Anwendung aller Gerechtigkeitsaxiome verbleibt jedoch für die Frage nach der gerechten Verteilung der Klimaschutzanstrengungen eine einzelne Lösung.

⁵ Es gibt eine Reihe aktueller, sehr guter Einführungen zur ökonomischen Theorie der gerechten Verteilung, insbesondere Young (1994), Moulin (1995), Brams und Taylor (1996), Roemer (1996) und Kolm (1997). Allerdings konzentrieren sich diese Beiträge zumeist auf Gerechtigkeitsaspekte auf nationaler oder individueller Ebene.

Zunächst sollen jedoch in Abgrenzung zu dem von mir gewählten Ansatz einige alternative Herangehensweisen an Fragen der Gerechtigkeit im Klimaregime diskutiert werden, wie sie insbesondere in den Bericht des International Panel on Climate Change /IPCC 1996/ Eingang gefunden haben.

6.2 Verschiedene Ansätze zur Analyse von Gerechtigkeitsfragen in der Klimapolitik

Der Klimawandel wirft eine Reihe von Gerechtigkeitsfragen auf, von denen die wichtigsten im Kapitel des IPCC-Bericht zu Gerechtigkeit und sozialen Aspekten wie folgt zusammengefaßt werden (/IPCC 1996, S.: 85/ eigene Übersetzung): internationale Gerechtigkeit beim Umgang mit den Folgen des Klimawandels und den damit zusammenhängenden Risiken, internationale Gerechtigkeit bei den Anstrengungen zur Begrenzung des Klimawandels, Gerechtigkeit und soziale Aspekte innerhalb der Länder, Gerechtigkeit internationaler Prozesse und intergenerationelle Gerechtigkeit.

Sicherlich ist jeder dieser Punkte sehr relevant und verdient eine ausführliche Analyse. Dies geht jedoch über den Rahmen dieses Aufsatzes hinaus, besonders da die Untersuchung der oben genannten Punkte unterschiedliche Methoden verlangen. Daher werde ich mich weitgehend auf die Frage nach der „Gerechtigkeit bei den Anstrengungen zur Begrenzung des Klimawandels“ beschränken, das heißt auf die Frage nach der gerechten Verteilung der Emissionsrechte und Vermeidungskosten, die sicherlich eine der wichtigsten und zugleich umstrittensten in den gegenwärtigen Verhandlungen ist (/IPCC 1996, S.: 103/. Dies ist besonders im Konflikt um die Einbeziehung der Entwicklungsländer in Vermeidungsanstrengungen deutlich geworden, der seit den Verhandlungen in Kioto an Intensität gewonnen hat.

Im IPCC-Bericht werden fünf allgemeine Ansätze unterschieden, sich dieser Frage zu nähern: Gleichstellung, Proportionalität, Priorität, klassischer Utilitarismus und Rawlsche Verteilungsgerechtigkeit (/IPCC 1996, S.: 86/ siehe ebenfalls /Young 1994, S.: 8/ sowie /Thompson, Rayner 1998/). Bei den letzten beiden Ansätzen geht es nicht so sehr um die Verteilungsweise für ein spezifisches Problem, sondern eher um die allgemeinere Frage nach der „gerechten sozialen Ordnung“.

Der klassische Utilitarismus geht von der Annahme einer sozialen Wohlfahrtsfunktion aus und befürwortet eine Verteilung, bei der die Summe der individuellen Wohlfahrt der Akteure maximiert wird – Bentham's Forderung nach dem größten Gut für die größte Anzahl –, das heißt

$$WG = U_1 + U_2 + \dots + U_n, \quad (1)$$

wobei – angewandt auf die internationale Ebene – WG die globale Wohlfahrt ist und U_i das Nutzenniveau der Bevölkerung in Land i . Ein häufiger Vorwurf gegen eine solche additive Wohlfahrtsfunktion ist, daß Verteilungsaspekte insofern vernachlässigt werden, als extrem unterschiedliche Nutzenallokationen durch denselben Wohlfahrtsindex WG repräsentiert würden, solange die Summe der Nutzenniveaus konstant bleibt. Dies impliziert jedoch keine Indifferenz gegenüber der Wohlstandsverteilung, denn der Grenznutzen von Wohlfahrtszuwächsen ist in der Regel in ärmeren Ländern größer. Läßt man die Produktionsseite der Volkswirtschaft für einen Moment außer Acht, dann verlangt die Maximierung der globalen Wohlfahrt sogar, daß der Grenznutzen in allen Ländern gleich ist – woraus sich eine sehr egalitäre Wohlfahrtsverteilung ergibt.

Ein zweiter Kritikpunkt gegen die soziale Wohlfahrtsfunktion des klassischen Utilitarismus ist, daß die additive Aggregation interpersonelle, kardinale Nutzenvergleiche verlangt, das heißt Aussagen nach dem Muster A's Nutzen aus dem Konsum des Gut x ist doppelt so hoch wie B's Nutzen aus dem Konsum von Gut y . Heutzutage vermeiden die meisten Ökonomen solche Urteile und ziehen ein ordinales Nutzenkonzept vor, das lediglich Aussagen verlangt wie: Akteur A zieht das Gut x dem Gut y vor.⁶

Rawls befürwortet auf der anderen Seite ein Verteilungsprinzip, demzufolge die am schlechtesten gestellte Gruppe der Gesellschaft so gut wie möglich gestellt werden sollte. Dieses Prinzip wird manchmal anhand der Maximin-Wohlfahrtsfunktion dargestellt:

$$WG = \min \{U_1, U_2, \dots, U_n\}. \quad (2)$$

Allerdings ist Rawls Ansatz eigentlich kein wohlfahrtstheoretischer, das heißt er orientiert sich nicht am subjektiven Wohlbefinden der Individuen, sondern an den zum Erlangen des Wohlbefindens nötigen Mitteln und Instrumenten, die als »Grundgüter« bezeichnet werden /Rawls 1971, S.: 83/. Daher läßt sich die Rawlsche Verteilungsgerechtigkeit nicht unmittelbar auf einzelne Probleme wie den Klimawandel anwenden, denn ihr geht es um die höher liegende Ebene der „gerechten sozialen Ordnung“. Allerdings hat Rawls selber argumentiert, daß sich sein für den nationalen Rahmen entworfenes „Unterschiedsprinzip“ – demzufolge Ungleichheiten nur gerechtfertigt sind, wenn sie die Situation der am schlechtesten gestellten Akteure der Gesellschaft verbessern – nicht auf die Ebene von Staaten anwenden läßt /Rawls 1993/.

Zusammenfassend beziehen sich sowohl die additive soziale Wohlfahrtsfunktion des klassischen Utilitarismus als auch die Rawlsche Verteilungsgerechtigkeit auf Fragen nach der „gerechten sozialen Ordnung“. Verteilungsfragen des Klimawandels müßten

⁶ Vergleiche jedoch Harsanyi's (1955) Verteidigung einer additiven sozialen Wohlfahrtsfunktion, die auf von Neumann-Morgenstern-Nutzenfunktionen beruht. Siehe ebenfalls Ng (1997) für eine aktuelle Diskussion kardinaler versus ordinaler Nutzenfunktionen.

demnach mit der internationalen Verteilung von Entwicklungsmöglichkeiten, die Umweltpolitik mit der Entwicklungspolitik verknüpft werden.

Ein interessantes Beispiel hierfür liefern Chichilnisky und Heal (1994). Sie charakterisieren das Niveau der Treibhausgasemissionen in der Atmosphäre als ein „privat produziertes öffentliches Gut“. Entsprechend hängt das Nutzenniveau $U_i(X_i, Q)$ der Staaten von dem Konsum privater Güter X_i und der Qualität Q der Atmosphäre ab. Ein Zusammenhang zwischen beiden besteht insofern als Vermeidungsanstrengungen, um die Qualität der Atmosphäre zu verbessern, zu geringerem privaten Konsum führen.⁷ Ferner modifizieren Chichilnisky und Heal die in Gleichung (1) gegebene soziale Wohlfahrtsfunktion durch Berücksichtigung länderspezifischer Wohlfahrtsgewichte λ_i , welche die marginale soziale Wohlfahrt von Nutzenzuwächsen in den einzelnen Ländern repräsentieren

$$W(X_1, \dots, X_n, Q) = \sum_{i=1}^N \lambda_i U_i(X_i, Q). \quad (3)$$

Aus der Maximierung von (3) (unter der Nebenbedingung der in Fußnote 3 spezifizierten Durchführbarkeitsbeschränkungen) folgt, daß in der Pareto-effizienten Allokation die Grenzvermeidungskosten invers proportional zum Grenznutzen der privaten Güter sein müssen – zumindest wenn keine (lump sum) Ausgleichszahlungen möglich sind. Da der Grenznutzen des Konsums in den armen Ländern allgemein als höher gilt, würde hieraus folgen, daß die Industriestaaten höhere Grenzvermeidungskosten auf sich nehmen sollten als die. Allerdings muß bedacht werden, daß die Grenzvermeidungskosten in den Entwicklungsländer gegenwärtig wesentlich geringer sind (vgl. /IPCC 1996/). Daher hängt das Ausmaß der Vermeidungsanstrengungen, welche die Entwicklungsländer unternehmen müßten, entscheidend von dem Verhältnis ihres Grenznutzens des Konsums zu dem in anderen Ländern ab – und dies ist extrem schwer zu bestimmen.

Es gibt eine Reihe von Gründen, eine ganzheitliche Perspektive zu wählen, wie bei den auf einer sozialen Wohlfahrtsfunktion basierenden Ansätzen. Insbesondere wurde in der Klimarahmenkonvention vereinbart, daß die unterschiedliche Fähigkeit der Staaten, für Klimaschutzmaßnahmen zu zahlen, berücksichtigt werden sollte – und die marginalen sozialen Wohlfahrtsverluste von Vermeidungsanstrengungen könnten hierfür als ein Indikator verwendet werden. Es gibt jedoch auch gute Argumente gegen einen solchen Ansatz. Insbesondere ist zu befürchten, daß Konflikte über eine „gerechte internationale Ordnung“ – zum Beispiel über die Spezifikation der Wohlfahrtsfunktion, die Wohlfahrtsgewichte λ_i und den Grenznutzen des Einkommens – eine Einigung über eine „gerechte Klimapolitik“ eher erschweren als erleichtern würden. Trotzdem wird jeder Lösungsvorschlag, ein-

⁷ Dieser Zusammenhang wird durch die Produktionsfunktion $Q_i = \Phi_i(X_i)$ ausgedrückt, wobei $\Phi'_i < 0$, $\sum_i Q_i = Q$, und die Grenzkosten C'_i invers zur Grenzproduktivität $C'_i(Q_i) = -1/\Phi'_i(X_i)$ sind.

schließlich des in den folgenden Abschnitten dargestellten, letztlich auch nach den Auswirkungen auf die globale Wohlfahrtsverteilung beurteilt werden.

Die anderen drei im IPCC genannten Kriterien lassen sich direkter auf die Verteilung gemeinsamer Ressourcen wie der Senkenkapazität der Atmosphäre für Treibhausgase anwenden, zumindest auf den ersten Blick.⁸ Gleichstellung besagt, daß alle Akteure gleich behandelt werden sollen. Das Kriterium der Proportionalität geht zurück auf Aristoteles und besagt, daß Lasten und Nutzen proportional zum Beitrag der Akteure verteilt werden sollten. Priorität meint schließlich, daß die Akteure mit dem größten Bedürfnis bevorzugt werden sollten /Young 1994, S. 8/.

Diese Gerechtigkeitsprinzipien sind jedoch relativ bedeutungslos ohne eine genaue Bestimmung der Perspektive beziehungsweise des Startpunkts, von dem aus sie angewandt werden sollen. So steht im IPCC-Bericht: „Parity is a formula for equal distribution of burdens or benefits“ /IPCC 1996, S.: 86/. Doch es ist natürlich ein wesentlicher Unterschied, ob der Nutzen aus der Senkenkapazität der Atmosphäre oder die Kosten der Emissionsreduktionen gleich verteilt werden sollen. Ähnlich lassen sich auch Proportionalität und Priorität an unterschiedlichen Kriterien festmachen, von der Betroffenheit durch Klimaschäden bis zur Bedeutung von Erdölexporten für das Volkseinkommen. Selbst die Unterscheidung der drei Kriterien hängt von der Perspektive ab, beispielsweise ist eine gleiche Pro-Kopf-Verteilung dasselbe wie eine länderspezifische Zuteilung proportional zur Bevölkerungszahl eines Landes.

Abbildung 6-1 macht dies noch einmal deutlich. Die Budgetlinie entspricht der globalen Zertifikatmenge, die zwischen den beiden Gruppen „Nord“ und „Süd“ nach dem Gerechtigkeitsprinzip der Gleichstellung verteilt werden sollen. Die niedrigeren maximalen Pro-Kopf-Zertifikate im Süden folgen aus der im Vergleich zum Norden höheren Gesamtbevölkerung. Allokation A ergibt sich, wenn alle Länder einen Anspruch auf gleiche Pro-Kopf-Emissionen haben. Allokation B ergibt sich, wenn alle Länder ihre gegenwärtigen Pro-Kopf-Emissionen um den gleichen Betrag verringern müssen. Obwohl beide Verteilungsmechanismen auf demselben Gerechtigkeitsprinzip der Gleichstellung beruhen, führt die Wahl verschiedener Ausgangspunkte zu völlig unterschiedlichen Ergebnissen.

6.3 Vorschläge für eine „gerechte“ Verteilung von Reduktionslasten

Zur systematischen Darstellung der Vorschläge für eine gerechte Verteilung der Klimaschutzmaßnahmen bietet es sich an, die Fragen einer gerechten Verteilung der Emissionsrechte von jenen substantieller finanzieller Transfers zu trennen (vgl. /IPCC 1996, S.: 106-110/). Die verschiedenen Vorschläge zur Verteilung der Emissionsrechte lassen sich zu-

⁸ Eigentlich wäre es angemessener von der Senkenkapazität der Biosphäre zu sprechen; in diesem Fall ginge es um die Verteilung von Nettoemissionsrechten.

meist zwischen den folgenden beiden Extremen einordnen: gleiche Pro-Kopf-Verteilung versus gleiche prozentuale Reduktionen. Oftmals wird eine dynamische Verteilungsweise befürwortet, die von einer am Status Quo angelehnten Position ausgeht und sich schrittweise einer gleichen Pro-Kopf-Verteilung annähert (z. B. /Cline 1992,S.: 353/ und /Simonis 1996/). Dies stellt einen Kompromiß zwischen Aspekten der Gerechtigkeit und der politischen Durchführbarkeit dar.

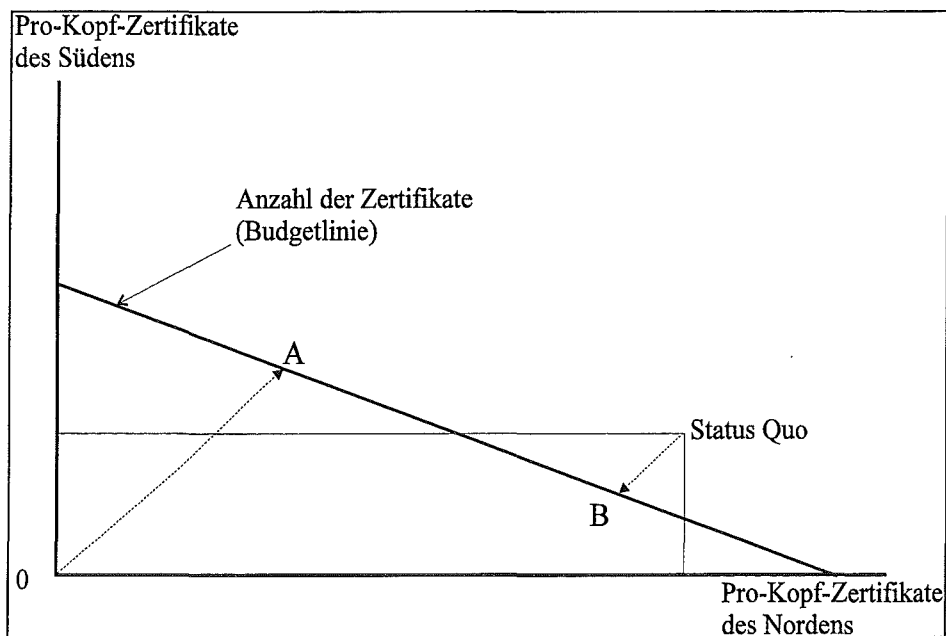


Abbildung 6-1: Die Bedeutung der Perspektive für die Anwendung des Gleichstellungsprinzips

Zur Verteilung der Vermeidungskosten durch zwischenstaatliche Transferzahlungen lassen sich die folgenden Ansätze unterscheiden:

Transfers sollen auf der Grundlage der Klimarahmenkonvention festgelegt werden. Von Bedeutung ist insbesondere der auch in der Ozonpolitik gewählte Grundsatz, daß die vollen vereinbarten Mehrkosten der Entwicklungsländer übernommen werden sollen.

Transfers sollen sich aus der Verteilung handelbarer Emissionszertifikate ergeben. Zahlungsverpflichtungen sollen sich aus der unterschiedlichen Verantwortlichkeit für das Umweltproblem ergeben. Hierzu zählen insbesondere das Verursacherprinzip und das Prinzip der historischen Verantwortung.

Zahlungsverpflichtungen sollen sich aus der unterschiedlichen Fähigkeit, für Klimaschutzmaßnahmen zu bezahlen, ergeben.

Oftmals berufen sich die Befürworter der jeweiligen Ansätze auf eines der fünf oben dargestellten Gerechtigkeitsprinzipien. Dies erfolgt jedoch zumeist ad hoc, zur Unterstützung des eigenen Vorschlags und selten in einer systematischen Analyse (siehe hierzu /Grubb et al. 1992/ und /Shue 1995/ und /IPCC 1996/).

Im Gegensatz hierzu werde ich nun die Fruchtbarkeit eines axiomatischen Gerechtigkeitsansatzes für die Fragen der Klimapolitik untersuchen. Dieser basiert auf fünf allgemeinen Gerechtigkeitsaxiomen, die vor allem in der ökonomischen Theorie der Gerechtigkeit große Akzeptanz besitzen. Wie im letzten Abschnitt dargestellt ist allerdings nicht nur die Formulierung der Axiome, sondern auch die Wahl der Ausgangsposition eine normative Entscheidung, die der Rechtfertigung bedarf. Dies soll im nächsten Abschnitt geschehen.

6.4 Die Wahl der Perspektive

Eine zentrale Annahme zur hier gewählten Perspektive wurde bereits eingangs erläutert: Ich betrachte die Verteilungsweise des Klimaregimes weitgehend unabhängig von der (Un)Gerechtigkeit herrschender globaler Wohlstandsunterschiede. Im Gegensatz hierzu haben einige Autoren explizit für eine Ausgestaltung der Klimaschutzmaßnahmen plädiert, die den Süden begünstigt (z.B. /Simonis 1996/). Mit dem in diesem Aufsatz gewählten Ansatz soll die Legitimation solcher Forderungen nicht verneint werden. Allerdings erscheint es mir wichtig zu unterscheiden, ob die Rechtfertigung der geforderten Transferzahlungen in der Ungerechtigkeit der globalen Wohlfahrtsverteilung oder in dem Problem des Klimawandels begründet ist. Umgekehrt wird die Vernachlässigung übergeordneter Aspekte der sozialen Gerechtigkeit dann inakzeptabel, wenn die abgeleiteten Lösungsvorschläge die Ungerechtigkeit der globalen Wohlfahrtsverteilung weiter verstärken.

Indem ich mich auf die Frage nach der gerechten Verteilung der Emissionsreduktionslasten beschränke, abstrahiere ich von anderen wichtigen Gerechtigkeitsaspekten – insbesondere den Folgen des Klimawandels. In einigen Fällen können Emissionen tatsächlich soweit reduziert werden, daß es zu keinen Umweltschäden kommt. Im Prinzip wird dieses Ziel im internationalen Regime zum Schutz der Ozonschicht verfolgt, und auch das im europäischen Regime zur Kontrolle des Sauren Regens gewählte Konzept der „Critical Loads“ strebt langfristig danach, Emissionen auf ein Niveau zu reduzieren bei dem es zu keinen signifikanten Umweltschäden mehr kommt. Für den Bereich des Klimawandels wird es jedoch mit Sicherheit zu signifikanten Schäden kommen. Es ist nicht meine Absicht, die Bedeutung eines gerechten Umgangs mit diesen Folgekosten des Klimawandels zu verneinen, sondern ich nehme lediglich an, daß diese und andere Gerechtigkeitsaspekte

getrennt von der fairen Verteilung der Lasten von Emissionsreduktionen analysiert werden können.⁹

Schließlich verlangt der hier gewählte Ansatz der fairen Verteilung eine Spezifikation der Ansprüche an die gemeinsame Ressource, hier also an der Senkenkapazität der Atmosphäre. Für Verteilungsfragen von Erbschaften, die manchmal zur Illustration der Theorie der fairen Verteilung herangezogen werden, sind solche Ansprüche im Testament festgelegt. Für den Klimawandel ist dies jedoch nicht der Fall und es müssen normative Kriterien herangezogen werden. Diesbezüglich ist der gleichen Pro-Kopf-Verteilung der Ansprüche, die dem Gerechtigkeitsprinzip der „Ressourcengleichheit“ entspricht, besondere Aufmerksamkeit zuteil geworden. Dies gilt auch im Zusammenhang mit dem Klimawandel, wo die Senkenkapazität der Atmosphäre oftmals als ein globales Allgemeingut betrachtet wird, gleichsam als „vom Himmel gefallenes Manna“. So ist die gleiche Pro-Kopf-Verteilung der am häufigsten genannte Vorschlag für die Klimapolitik (IPCC 1996, S.: 106/ siehe auch /Shue 1995/).

Der Haupteinwand hiergegen ist, daß eine Pro-Kopf-Verteilung von Emissionsrechten zwar aus der ex ante Perspektive gerecht sei, aber im Ergebnis, also ex post, zu einer ungerechten Verteilung der Reduktionslasten führen würde. So wird argumentiert, daß es im Falle handelbarer Emissionsrechte zu einem beträchtlichen Nord-Süd-Ressourcentransfer käme /Grubb et al. 1992/, und bei nicht-handelbaren Emissionsrechten würden die zusätzlichen Reduktionskosten im Norden aufgrund der Effizienzverluste die Höhe der Transfers sogar noch übersteigen. Hierbei gehen fast alle Autoren davon aus, daß sich aus der anfänglichen Verteilung von Emissionsrechten quasi automatisch die Verteilung der Vermeidungskosten ergibt. Dies ist jedoch keineswegs der Fall, wenn man die Möglichkeit zusätzlicher Transferzahlungen berücksichtigt, wie es der folgende Vorschlag vorsieht.

6.5 Die Wahl der Gerechtigkeitsaxiome

Der hier vorgestellte axiomatische Ansatz folgt dem in der ökonomischen Theorie üblichen ordinalen Nutzenkonzept. Demnach wird die Gerechtigkeit einer Verteilung nicht direkt an der Menge von Gütern, sondern an dem mit diesen Gütern verbundenen Nutzen gemessen. Ebenso verzichten die folgenden Gerechtigkeitsaxiome vollständig auf interpersonelle und kardinale Nutzenvergleiche. Insgesamt werden fünf fundamentale Kriterien herangezogen, um die Gerechtigkeit eines Allokationsmechanismus für Allgemeingüter zu beurteilen.

⁹ Hierzu bemerkt der IPCC-Bericht: „There are few, if any, ethical systems in which it is acceptable for one individual knowingly to inflict potentially serious harm on another and not accept any responsibility in helping or compensating the victim or to pay in some other way“ (IPCC 1996: 101). Diese würde angesichts der ungleichen Verteilung gegenwärtiger und historischer Emissionen bedeuten, daß die Schadenskosten des Klimawandels im wesentlichen vom Norden getragen werden müßten.

6.5.1 Effizienz

Eine Verteilung gilt als effizient oder Pareto-optimal, wenn niemand besser gestellt werden kann, ohne jemand anderes schlechter zu stellen. Manchmal wird dies auch als Kriterium der Einstimmigkeit bezeichnet. Dies verdeutlicht bereits, daß das Pareto-Kriterium nicht mehr ist als der kleinste gemeinsame Nenner, das einzige unstrittige normative Argument, auf das sich die ökonomische Profession einigen konnte.

Da bei einer Pareto-inferioren Verteilung die Möglichkeit ausgelassen würde, jemanden besser zu stellen, ohne jemanden anderes zu schaden, scheint mir Effizienz auch als kleinster gemeinsamer Nenner für die Suche nach einer gerechten Verteilung der Lasten des Klimaschutzes sinnvoll zu sein. Wenn Ausgleichszahlungen möglich sind, folgt hieraus eine Verteilung der Emissionsreduktionen, bei der die marginalen Vermeidungskosten, d.h. die Kosten für die letzte vermiedene Einheit CO₂, in allen Ländern gleich sind. Dies ist ein weitreichendes Ergebnis, denn es schreibt die globale Verteilung der Emissionen vor. Nachdem der Kuchen maximiert wurde, gilt es nun ihn aufzuteilen – und zwar so gerecht wie möglich.

6.5.2 Das Kriterium der Neidfreiheit

Das wohl prominenteste Gerechtigkeitskriterium innerhalb der ökonomischen Theorie ist die Neidfreiheit /Foley 1967/, so sehr, daß Gerechtigkeit manchmal als Neidfreiheit plus Effizienz definiert wurde /Varian 1974/. Bei gleichen Ansprüchen an eine gemeinsame Ressource gilt eine Verteilung dann als neidfrei, wenn jeder Akteur seinen Anteil mindestens als ebenso wertvoll empfindet wie den irgend eines anderen, das heißt niemand das Bedürfnis spürt, mit dem Anteil eines anderen zu tauschen.

Allerdings ist die Menge der neidfreien Verteilungen von Emissionsrechten und begleitender Kompensationszahlungen recht groß, zumindest wenn man das Verteilungsproblem auf zwei Akteure beschränkt: Es gibt eine Reihe verschiedener Verteilungen, bei denen der Norden den Süden für einen größeren Anteil an Pro-Kopf-Zertifikaten durch Ausgleichszahlungen kompensiert, ohne daß einer von beiden die Pro-Kopf-Zertifikate und Kompensationszahlungen des anderen präferieren würde.

6.5.3 Das Kriterium der individuellen Rationalität

Das Kriterium der individuellen Rationalität geht auf Steinhilber (1948) zurück und verlangt, daß jedem Akteur zumindest der Nutzen aus dem Konsum des ihm fairer Weise zustehenden Anteils, das heißt aus dem Konsum seiner Ansprüche an der gemeinsamen Ressource, garantiert werden soll. Demnach sollte kein Akteur im Zuge einer Reallokation der Ausgangsverteilung verlieren. Andere verbreitete Namen für dieses Kriterium sind Fair-

share-guaranteed und Akzeptierbarkeit, weil man in der Regel einer Reallokation nicht zustimmen, wenn man hierdurch schlechter gestellt wird als mit dem einem als Minimum zustehenden Anteil.

Auf das Klimaproblem angewandt läßt sich das Kriterium der individuellen Rationalität formal ausdrücken als

$$U_i(Z_i) + M_i \geq U_i(FZ_i), \quad (4)$$

das heißt zu jedem Zeitpunkt muß der Nutzen der einem Akteur i in der effizienten Allokation zugeteilten Zertifikate $U_i(Z_i)$ durch monetäre Transferzahlungen M_i soweit ausgeglichen werden, daß er mindestens so groß ist wie der Nutzen aus dem Konsum seines fairen Anteil an der globalen Zertifikatmenge $U_i(FZ_i)$.¹⁰

Nun ist der Nutzen, den ein Akteur aus einer bestimmten Menge von Zertifikaten hat, nichts anderes als die Kosten der Vermeidungsmaßnahmen, die er ohne die ihm zugestandenen Zertifikate hätte unternehmen müssen. Somit läßt sich die obige Ungleichung konkretisieren zu

$$M_i \geq C_i(Z_i) - C_i(FZ_i), \quad (5)$$

wobei $C_i(Z_i)$ und $C_i(FZ_i)$ die Vermeidungskosten sind, um die Emissionen vom Business-as-usual-Pfad auf das Niveau der Zertifikate Z_i beziehungsweise FZ_i zu reduzieren.¹¹ Zusammenfassend verlangt das Kriterium der individuellen Rationalität, daß jene Länder, die in einer effizienten Allokation weniger Zertifikate als ihren fairen Anteil erhalten, für die ihnen dadurch entstehenden Vermeidungskosten zumindest vollständig entschädigt werden müssen. Umgekehrt sollen jene Länder, die in einer effizienten Allokation mehr Zertifikate bekommen als ihren fairen Anteil, nicht höhere Entschädigungen zahlen als die Vermeidungskosten, die sie durch die ihnen zusätzlich zugestandenen Zertifikate sparen. Anders ausgedrückt soll kein Akteur auf dem Weg von der ursprünglichen zur effizienten Verteilung verlieren.

¹⁰ Hierbei nehme ich an, daß Kompensationszahlungen durch ein einzelnes Gut (Geld), in dem der Nutzen linear ist, möglich ist. Diese Repräsentation der Präferenzen durch eine quasilineare Nutzenfunktion folgt aus der Annahme, daß die Senkenkapazität exogen vorgegeben ist und die Nachfrage nach einem Anteil hieran nur von ihrem relativen Preis – das heißt ob diese billiger sind als Emissionsreduktionen in entsprechender Höhe – nicht aber vom verfügbaren Einkommen abhängt.

¹¹ $U_i(Z_i) = C_i(0) - C_i(Z_i)$ und $U_i(FZ_i) = C_i(0) - C_i(FZ_i)$.

6.5.4 Das Kriterium der Ressourcen- und Populationsmonotonität

Das Kriterium der Ressourcen- und Populationsmonotonität legt Schranken fest, wie der Nutzen der einzelnen Akteure auf eine Veränderung der Größe der gemeinsamen Ressource oder der Anzahl der Anspruchsteller reagiert. Ressourcenmonotonität verlangt für den Fall des Wachstums der gemeinsamen Ressource – hier der global verfügbaren Emissionsrechte von Z_G auf Z_G' –, daß jeder Akteur zumindest so gut gestellt werden sollte wie aus dem Konsum der kleineren Ressource /Roemer 1986/:

$$Z_G' \geq Z_G \Rightarrow U_i(Z_i') + M_i' \geq U_i(Z_i) + M_i \quad (6)$$

Für den Klimawandel und viele andere Umweltprobleme ist dieses Kriterium in der Tat von hoher politischer Relevanz. Die beste Einschätzung der Schadstoffaufnahmefähigkeit der Umwelt ist in der Regel unsicher und muß regelmäßig dem neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisstand angepaßt werden. Zudem werden langfristige Umwelt- und Reduktionsziele oftmals nur schrittweise angestrebt. In beiden Fällen verändert sich die Größe der aufzuteilenden gemeinsamen Ressource und die hiermit einhergehenden Wohlfahrtseffekte sollten sich für alle Akteure in dieselbe Richtung auswirken.

Gemäß dem Kriterium der Populationsmonotonität soll bei einem Anwachsen der Zahl der berechtigten Anspruchsteller an der gemeinsamen Ressource von N auf N' kein Akteur besser gestellt werden als zuvor /Chichilnisky, Thomson 1987/:

$$N' \geq N \Rightarrow U_i(Z_i') + M_i' \leq U_i(Z_i) + M_i \quad (7)$$

Ähnlich der Ressourcenmonotonität basiert auch das Kriterium der Populationsmonotonität auf dem ethischen Argument, daß aus gemeinsamen Eigentum ein Mindestmaß an Solidarität folgt, nämlich daß jeder dazu beitragen sollte, die legitimen Ansprüche neuer Anspruchsteller zu befriedigen.

6.5.5 Das Stand-alone-Kriterium

Aus den beiden Monotonitätsaxiomen läßt sich der Stand-alone-Nutzen $U_i(Z_G)$, das heißt der Nutzen eines Akteurs aus dem Konsum der gesamten Ressource Z_G /Moulin 1992/, als Obergrenze für das Nutzenniveau ableiten, das ein einzelner Akteur aus der fairen Aufteilung einer gemeinsamen Ressource erhalten darf. Dies läßt sich leicht zeigen, indem man beispielsweise annimmt, daß es nur einen einzelnen Akteur gibt. Dieser würde per Definition seinen Stand-alone-Nutzen erhalten. Das Kriterium der Populationsmonotonität verlangt nun, daß der Nutzen dieses Akteurs nicht zunimmt, wenn die Anzahl der Akteure mit legitimen Ansprüchen an der gemeinsamen Ressource wächst, das heißt er darf nicht mehr

bekommen als seinen Stand-alone-Nutzen. Zu demselben Ergebnis kommt man auch mit dem Kriterium der Ressourcenmonotonität /Helm 1998/.

Angewandt auf den Klimawandel kann dies formal ausgedrückt werden als

$$U_i(Z_i) + M_i \leq U_i(Z_G), \quad (8)$$

Mit der obigen Spezifizierung der quasilinearen Nutzenfunktion folgt hieraus

$$M_i \leq C_i(Z_i) - C_i(Z_G), \quad (9)$$

Während das Kriterium der individuellen Rationalität eine Untergrenze für die Höhe der Kompensationszahlungen festgelegt hat, bestimmt das Stand-alone-Kriterium eine Obergrenze. Demzufolge soll kein Land höhere Kompensationszahlungen M_i erhalten als die Vermeidungskosten, die es beim Erhalt der globalen Zertifikatmenge PG hätte.

Allgemeiner formuliert folgt aus den Monotonitätskriterien, daß kein Akteur aus der Begrenztheit der Schadstoffaufnahmekapazität der Atmosphäre profitieren sollte. /Moulin 1992, S: 1333/ rechtfertigt das Stand-alone-Kriterium mit dem Argument, daß „fair division conveys the idea of no subsidization: the presence of other agents who are willing to pay higher monetary transfers than me for consuming the resources should not turn to my advantage“. Dieses Argument erscheint besonders überzeugend, wenn die höhere Zahlungsbereitschaft mit Anstrengungen zusammenhängt, ein alle Akteure betreffendes Problem wie den Klimawandel zu begrenzen.

6.6 Zur fairen Verteilung der Lasten des Klimaschutzes

Für sich alleine genommen erscheinen weder das Stand-alone-Kriterium noch das der individuellen Rationalität als allzu strikt. Trotzdem ergeben sich bereits aus der Kombination nur dieser beiden Kriterien weitreichende Konsequenzen für die Verteilung der Lasten des Klimaschutzes. Solange die Ansprüche des Südens an Emissionsrechten FZS höher sind als seine Emissionen im Business-as-usual-Szenario, müßte er natürlich keine Vermeidungsanstrengungen unternehmen, um seine Emissionen auf das Niveau der ihm zustehenden Emissionsrechte zu beschränken, das heißt $CS(FZS) = 0$. Nimmt man realistischer Weise an, daß die globale Emissionsmenge nur schrittweise reduziert wird, ist dies sicherlich bei einer gleichen Pro-Kopf-Verteilung der Zertifikate der Fall; aber es reicht aus, wenn die Verteilungsregel nicht zu stark hiervon abweicht. Da der faire Anteil eines Landes (FZ_i) immer kleiner sein muß als die globale Zertifikatmenge ZG , gilt auch $CS(ZG) = 0$. Somit lassen sich das Kriterium der individuellen Rationalität (5) und das Stand-alone-Kriterium zusammenfügen zu

$$C_s(Z_s) \leq M_s \leq C_s(Z_s) \quad \text{or} \quad M_s = C_s(Z_s), \quad (10)$$

Solange die Business-as-usual-Emissionen des Südens geringer sind als sein Emissionsrechteanteil, gibt es somit eine einzige Lösung, die das Effizienzkriterium und die beiden obigen Gerechtigkeitsaxiome erfüllt. Der Norden müßte sämtliche Vermeidungskosten des Südens ersetzen. Aber letzterer dürfte auch nicht mehr verlangen und müßte den bei ihm aus Effizienzgründen stattfindenden Reduktionsmaßnahmen zustimmen. Es sei bemerkt, daß diese Lösung auch neidfrei ist, weil weder der Süden die Zertifikate und Kompensationszahlungen des Nordens präferieren würde noch umgekehrt.

Wie sollte nun aber die Verteilungsweise aussehen, wenn die Emissionen des Südens im Business-as-usual-Pfad seine Ansprüche an Emissionsrechten übersteigen? Innerhalb der ökonomischen Theorie genießt Zuteilung von Eigentumsrechten mit einer anschließenden Allokation über Wettbewerbsmärkte eine besonders prominente Position als Verteilungsmechanismus gemeinsamer Ressourcen (z.B. /Young 1994, S.: 161/). Dieser Mechanismus gewährleistet nicht nur Effizienz, sondern er erfüllt auch die Gerechtigkeitskriterien der individuellen Rationalität und der Neidfreiheit (z.B. /Moulin 1990/). Aufgrund der anfänglich sehr großen Unterschiede der Pro-Kopf-Emissionen im Süden und Norden würde die Marktallokation jedoch gegen das Stand-alone-Kriterium beziehungsweise die Kriterien der Ressourcen- und Populationsmonotonität verstoßen. Nichtsdestotrotz gewinnt die Marktlösung an Überzeugungskraft, je mehr sich der Norden und Süden in ihren Pro-Kopf-Emissionen und Vermeidungskosten annähern. Doch wann genau sollte dieser Übergang erfolgen?

Würde die Marktallokation beginnen sobald die Business-as-usual-Emissionen des Südens die Höhe seiner Erstausrüstung mit Zertifikaten erreicht haben, könnte der Süden immer noch Zertifikate an den Norden verkaufen, bis sich die Grenzvermeidungskosten weltweit angeglichen hätten. Da der Zertifikatspreis bei perfekten Märkten den (steigenden) Grenzkosten der letzten vermiedenen Einheit entspräche, würde dem Süden ein der Produzentenrente ähnlicher Gewinn zufallen. Dies wäre jedoch wieder ein Verstoß gegen das Stand-alone-Kriterium. Daher liegt eine Verteilungsweise nahe, bei der der Süden das Minimum aus der Wettbewerbsverteilung und dem Stand-alone-Nutzen erhält.

Es läßt sich nun zeigen, daß dieser WESA-Mechanismus (WESA = Walrasian Mechanism with the Stand Alone utility as an upper bound) zusätzlich zu den in der Wettbewerbsallokation berücksichtigten Gerechtigkeitsaxiomen auch das Stand-alone-Kriterium erfüllt sowie unter gewissen Regularitätsannahmen die Kriterien der Ressourcen- und Populationsmonotonität /Helm 1998/. Formal ergibt sich aus dem WESA-Mechanismus, daß jeder Akteur die Emissionsrechte in der Wettbewerbsverteilung Z_i erhalten sollte und die Kompensationszahlungen nach folgender Regel verteilt werden sollten

$$M_i(Z_i^*) = \min \left\{ U_i(Z_g) - U_i(Z_i), (FZ_i - Z_i)p + \frac{\sum_{i \in A} [(FZ_i - Z_i)p - (U_i(Z_g) - U_i(Z_i))]}{|N \setminus A|} \right\}$$

wobei p der Zertifikatspreis ist, N die Menge der Akteure, $A = \{i \in N: M_i = U_i(Z_g) - U_i(Z_i)\}$ und $|N \setminus A|$ die Kardinalität der Menge $N \setminus A$ angibt.

Demnach teilt der WESA-Mechanismus die gemeinsame Ressource nach dem Effizienzkriterium und unterscheidet für die Bestimmung der Kompensationszahlungen zwischen zwei Gruppen:

- Mitglieder der Menge A erhalten Kompensationen bis sie genau das Niveau ihres Stand-alone-Nutzens erhalten,
- und Mitglieder der Menge $N \setminus A$ erhalten (oder zahlen) ihre Kompensationen im Walrasianischen Gleichgewicht und bekommen zusätzlich einen gleichen Pro-Kopf-Anteil der Differenz zwischen den Kompensationszahlungen, die Mitglieder der Menge A im Walrasianischen Gleichgewicht erhalten würden und den Kompensationszahlungen, die diese zum Erreichen des Stand-alone-Nutzens benötigten.

Die Wahl einer gleichen Pro-Kopf-Basis, um die über den Stand-alone-Nutzen hinausgehenden Kompensationen von A nach $N \setminus A$ zurückzuverteilen, kann damit gerechtfertigt werden, daß diese Mittel durch eine kostenlose Dienstleistung der Mitglieder von A entstehen, und gleiche Akteure in gleicher Weise hiervon profitieren sollten. Formal läßt sich diese Rückverteilungsregel aus dem Kriterium der Neidfreiheit ableiten /Helm 1998/.

Es soll noch einmal betont werden, daß der WESA-Mechanismus eine exogene Vorgabe der Ansprüche FZ_i an der gemeinsamen Ressource verlangt. Beispielsweise könnten diese auch auf der Basis gleicher Nettoemissionsrechte – also nach Berücksichtigung der Senken – spezifiziert werden. Ebenso wäre es möglich, Ansprüche in der Form historischer Emissionsrechte zu formulieren. Hierbei würde das Stand-alone-Kriterium immer noch eine Obergrenze bilden, aber der Zeitpunkt, ab dem der Süden für seine Vermeidungsmaßnahmen selbst zahlen müßte, würde hinausgeschoben.

6.7 Schlußfolgerung

Ausgehend von einigen allgemeinen, eher mild klingenden Gerechtigkeitskriterien wurde ein konkreter Vorschlag für die Verteilung zukünftiger Emissionen und Reduktionskosten im Klimaregime abgeleitet. Dieser sieht vor, daß der Süden zunächst vollständig für seine Vermeidungsanstrengungen, die er aufgrund des Effizienzkriteriums unternehmen muß, entschädigt wird. In vielerlei Hinsicht ähnelt dieser Lösungsvorschlag dem internationalen Regime zum Schutz der Ozonschicht, das allgemein für seine Fairneß gelobt wurde. Dort

wurden nämlich Länder mit geringen Emissionen vollständig für ihre zusätzlichen Vermeidungskosten entschädigt (vgl. /Biermann 1998/).

Allerdings ist die genaue Umsetzung des hier gemachten Lösungsvorschlags keineswegs einfach, denn er verlangt Informationen über die Vermeidungskosten der Länder, da diese Einfluß auf die Höhe der Kompensationszahlungen haben. Aus einer politischen Perspektive kann dies jedoch auch als Gelegenheit betrachtet werden, denn es öffnet den Verhandlungspartnern einen gewissen Spielraum.

Der naheliegendste Umsetzungsvorschlag ist vielleicht, in einer ersten Phase mit „Joint Implementation“ zu beginnen um anschließend zu einem System handelbarer Zertifikate überzugehen. Interessanter Weise hat dies durchaus Ähnlichkeiten mit dem Kioto-Protokoll, das für die OECD-Länder ein System handelbarer Zertifikate vorsieht, während für das Verhältnis zwischen Norden und Süden ein der gemeinsamen Umsetzung sehr ähnlicher „Clean Development Fund“ kreiert wurde.

Nicht jeder mag die hier formulierten Vorschläge für eine gerechte Verteilungsweise als gerecht empfinden. Zum einen dürfte das daran liegen, daß ich die Betrachtung des Klimaregimes explizit von der darüberliegenden Ebene der globalen Wohlstandsverteilung getrennt habe. Dies war notwendig für eine axiomatische Vorgehensweise, und ich denke, daß in dem vorliegenden Fall die Zerlegung des Problems in seine Einzelteile auch zu einem besseren Blick auf das ›Gesamte‹ beitragen kann. Man kann jedoch durchaus argumentieren, daß dem Süden aufgrund globaler Wohlstandsunterschiede eher mehr zugestanden werden sollte als in der hier vorgeschlagenen Lösung.

Ähnlich mögen manche mit den vorgestellten Gerechtigkeitskriterien nicht einverstanden sein. In diesem Fall könnte der axiomatische Ansatz zumindest dazu beitragen, die Diskussion auf jene strittigen Kriterien zu fokussieren. Zumindest aber sollte deutlich geworden sein, daß man durchaus mehr über Gerechtigkeit sagen kann als es Elbert Hubbard einmal provokativ formuliert hat: „Equity, simply a matter of the length of the judge's ears“.

Literatur

/Biermann 1998/

F. Biermann: Weltumweltpolitik zwischen Nord und Süd. Die neue Macht der Entwicklungsländer. Nomos-Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, 1998

/Brams, Taylor 1996/

S. J. Brams, A. D. Taylor: Fair Division. From Cake Cutting to Dispute Resolution, Cambridge University Press, Cambridge (MA), 1996

/Chichilnisky, Heal 1994/

G. Chichilnisky, G. Heal: Who should abate carbon emissions? An international viewpoint, *Economic Letters* 44: 443-449, 1994

/Chichilnisky, Thomson 1987/

G. Chichilnisky, W. Thomson: The Walrasian mechanism from equal division is not monotonic with respect to variations in the number of consumers, *Journal of Public Economics* 32: 119-124, 1987

/Cline 1992/

W. Cline: *The Economics of Global Warming*, Institute for International Economics, Washington, 1992

/Foley 1967/

D. Foley: Resource allocation in the public sector, *Yale Economic Essays* 7(1): 45-98, 1967

/Grubb et al. 1992/

M. Grubb, J. Sebenius, A. Magalhaes, S. Subak: Sharing the burden, in I. M. Mintzer, ed., *Confronting Climate Change. Risks, Implications, and Responses*, Cambridge University Press, Cambridge (UK), 305-322, 1992

/Harsanyi 1995/

J. Harsanyi: Cardinal welfare, individualistic ethics, and interpersonal comparisons of utility, *Journal of Political Economy* 63: 309-321, 1955

/Helm 1998/

C. Helm: A General Mechanism for the Fair Division of Common Property Resources with an Application to Climate Change, Paper presented at Annual Conference of the European Economic Association, 2.-5., Berlin, September 1998

/IPCC 1996/

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), *Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge (UK), 1996

/Kolm 1997/

S.-C. Kolm: *Modern Theories of Justice*, MIT Press, Cambridge (MA), 1997

/Moulin 1990/

H. Moulin: Fair division under joint ownership, *Social Choice and Welfare* 7: 149-170, 1990

/Moulin 1992/

H. Moulin: An application of the shapley value to fair division with money, *Econometrica* 60(6): 1331-1349, 1992

/Moulin 1995/

H. Moulin: *Cooperative Microeconomics. A Game-theoretic Introduction*, Princeton University Press, Princeton, 1995

/Ng 1997/

Y.-K. Ng: A case for happiness, cardinalism, and interpersonal comparison, *The Economic Journal* 107: 1848-1858, 1997

/Rawls 1971/

J. Rawls: *A Theory of Justice*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1971

/Rawls 1993/

J. Rawls: The law of peoples, in S. Shute and S. Hurley, eds., *On Human Rights. The Oxford Amnesty Lectures 1993*, Basic Books, New York, 41-82

/Roemer 1988/

J. E. Roemer: The mismatch of bargaining theory and distributive justice, *Ethics* 97: 88-110, 1988

/Roemer 1996/

J. E. Roemer: *Theories of Distributive Justice*, Harvard University Press, Cambridge, (MA), 1996

/Shue 1995/

H. Shue: Ethics, the environment and the changing international order, *International Affairs* 71(3): 453-461, 1995

/Simonis 1996/

U. E. Simonis: „Steuern, Joint Implementation, Zertifikate. Zum Instrumentarium der Weltumweltpolitik“, in: ders. (Hrsg.): Weltumweltpolitik. Grundriß und Bausteine eines neuen Politikfeldes, 102-118, Berlin, 1996

/Steinhaus 1984/

H. Steinhaus: The problem of fair division, *Econometrica* 16(1): 101-104, 1948

/Thompson, Rayner 1998/

M. Thompson, S. Rayner: Cultural Discourses, in: S. Rayner, E. L. Malone et al.: Human Choice and Climate Change, Battelle Press, 1: 265-343, 1998

/Varian 1974/

H. R. Varian: Equity, envy, and efficiency, *Journal of Economic Theory* 9: 63-91, 1974

/Young 1994/

H. P. Young: Equity in Theory and Practice, Princeton University Press, Princeton, 1994

7 Zur Verteilung der Kyoto-Reduktionspflichten in der EU

Christoph Böhringer

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)

Universität Stuttgart, Heßbrühlstr. 49a, D-70565 Stuttgart

und

Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH (ZEW)

Postfach 103443, D-68034 Mannheim

e-mail: boehring@zew.de

7.1 Problemstellung

Auf der dritten Vertragsstaatenkonferenz in Kyoto hat sich die EU verpflichtet, ihren Ausstoß an Treibhausgasen¹² zwischen 2008 und 2012 um insgesamt 8% gegenüber dem Emissionsniveau von 1990 zu senken. Gemäß Art. 4 des Kyoto-Protokolls wollen die EU-Mitgliedsstaaten als Bubble dieses Ziel gemeinsam erreichen. Im Rahmen der europäischen Klimapolitik mußte daher geklärt werden, wie das EU-weite Minderungsziel intern zwischen den Mitgliedsstaaten aufgeteilt werden soll. Hierbei sollte das Prinzip der gerechten Lastenverteilung wesentliche Richtlinie sein (EU 1997). Auf der Tagung des EU-Umweltministerrats am 16./17. Juni 1998 in Luxemburg wurde die EU-interne Lastenverteilung zu der von der EU in Kyoto eingegangenen Reduktionsverpflichtung um acht Prozent festgelegt (siehe Tabelle 7-1).

Tabelle 7-1: Lastenverteilung der Kyoto-Reduktionsverpflichtung innerhalb der EU (EWWE 1998)

Land	Minderungsverpflichtung in % gegenüber 1990	Land	Minderungsverpflichtung in % gegenüber 1990
Luxemburg	-28	Frankreich	0
Deutschland	-21	Finnland	0
Dänemark	-21	Schweden	+4
Österreich	-13	Irland	+13
Vereinigtes Königreich	-12.5	Spanien	+15
Belgien	-7.5	Griechenland	+25
Italien	-6.5	Portugal	+27
Niederlande	-6	EU-15	-8

Beim Vergleich der länderspezifischen Minderungspflichten fallen die zum Teil drastischen Unterschiede zwischen einzelnen Mitgliedsstaaten auf. Zur Erklärung der Differenzierung führt der EU-Ministerrat zwar zahlreiche Kriterien an, doch sind diese wenig präzise und

¹² Es handelt sich dabei um CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs und SF₆.

nicht gewichtet (EU 1997). Es stellt sich die Frage, inwieweit der gegenwärtige EU-Beschluß zu den internen Minderungsverpflichtungen tatsächlich einer gerechten Lastenverteilung entspricht bzw. wie weit er von einer solchen entfernt ist.

7.2 Analyseinstrumentarium

Maßnahmen zur Begrenzung des Treibhausgasausstoßes wie zum Beispiel Emissionssteuern oder Emissionszertifikate lösen Anpassungsreaktionen in Produktion und Konsum aus. Für die verteilungspolitische Analyse gilt es diese zum Teil gegenläufigen Allokationseffekte wirtschaftspolitischer Maßnahmen für die Volkswirtschaft in ihrer Gesamtwirkung zu quantifizieren. Ökonomische Modelle vom Typ des Allgemeinen Gleichgewichts sind anerkanntermaßen zur Simulation der mittel- bis langfristigen Auswirkungen auf Produktions- und Konsumstrukturen, Beschäftigung und funktionale Einkommensverteilung sowie auf aggregierte wirtschaftspolitische Indikatoren, wie z. B. das Bruttoinlandsprodukt oder die Außenhandelsbilanz geeignet /Böhringer 1996/. Ein geschlossener, totalanalytischer Ansatz gewährleistet methodische Konsistenz bei der Berücksichtigung von Wechselwirkungen (sog. *spill-over*- und *feed-back*-Effekte) auf nationalen und internationalen Märkten. Die mikroökonomische Fundierung von Verhaltenshypothesen für zentrale Wirtschaftssubjekte erlaubt eine plausible Ergebnisinterpretation.

Die Reaktionen der europäischen Volkswirtschaften auf Emissionsbegrenzungen stellen ein wichtiges Problem für die Ableitung von fairen Minderungsverpflichtungen dar. Sie führen nämlich typischerweise dazu, daß *ex ante* Kriterien für eine gerechte Lastenverteilung *ex post* nicht mehr zutreffen. Will man im Rahmen von Modellsimulationen eine gerechte Aufteilung von Minderungsverpflichtungen bestimmen, so muß die Lastenregel Anpassungsreaktionen automatisch berücksichtigen, d. h. modellendogen sein.¹³

Zur Simulation der ökonomischen Auswirkungen von EU-Klimapolitiken wird ein Mehrländer-/Mehrsektoren-Modell für die Europäische Union mit expliziter Darstellung der Produktions- und Konsumstrukturen sowie ihrer Verknüpfung über bilaterale Handelsströme eingesetzt /Böhringer, Ferris, Rutherford 1998/.¹⁴ Im Modell lassen sich länderspezifische Minderungspflichten endogen bestimmen, die zu gleichen prozentualen Wohlfahrtsveränderungen in den einzelnen EU-Mitgliedsstaaten führen.¹⁵

Die einzelnen Ländermodule des Modells sind identisch aufgebaut:

- Auf der Produktionsseite werden fünf Energiesektoren (Erdöl, Gas, Mineralölprodukte, Kohle und Strom) unterschieden, was eine differenzierte Betrachtung der Schadstoffintensitäten und Substitutionsmöglichkeiten alternativer Energieträger er-

¹³ Rose und Stevens (1996) sprechen in diesem Zusammenhang von *outcome-based* Lastenregeln.

¹⁴ Handelsbeziehungen mit der übrigen Welt sind mittels aggregierter Angebots- und Nachfragefunktionen für Ex- und Importe abgebildet.

¹⁵ Zur Implementierung der endogenen Lastenregel vgl. Böhringer, Harrison und Rutherford (1998).

möglichst. Bei der Darstellung der Nichtenergiesektoren berücksichtigt das Modell branchenspezifische Unterschiede in Faktorintensitäten, dem Grad an Faktorsubstitutionsmöglichkeiten und Preiselastizitäten der Güternachfrage, um den Strukturwandel in der industriellen Produktion als Folge von Emissionsbeschränkungen analysieren zu können.

- Geschachtelte Kostenfunktionen mit konstanten Substitutionselastizitäten (CES) beschreiben die Substitutionsmöglichkeiten in der heimischen Produktion zwischen Kapital, Arbeit, Energie- und Materialinputs (KLEM). Das Materialaggregat setzt sich in allen Sektoren aus nichtenergetischen Inputs zusammen, die in einem fixen Einsatzverhältnis zueinander stehen. Innerhalb des Energieaggregats werden die Substitutionsmöglichkeiten zwischen verschiedenen Energieträgern über CES-Funktionen beschrieben. Die flexible KLEM-Spezifikation von Technologien erlaubt eine umfassende Darstellung der Substitutionsmöglichkeiten in der Produktion, einschließlich der Energieträgersubstitution innerhalb des Energieaggregats (*fuel switch*) und der Substitution zwischen Energie und anderen Produktionsfaktoren (Energieeinsparung). Die Konsummöglichkeiten der Haushalte werden durch geschachtelte CES-Funktionen wiedergegeben, die auf unterschiedlichen Ebenen die Substitutionsmöglichkeiten zwischen Nichtenergiegütern und Energiegütern abbilden.
- Primärfaktoren der Produktion sind Arbeit und Kapital. Das Arbeitsangebot ist durch die Nachfrage nach Freizeit elastisch, wobei die Wahlentscheidung zwischen Freizeit und Arbeit konsistent mit einer empirisch beobachtbaren Elastizität des Arbeitsangebots sind. Die Kapitalstöcke entwickeln sich in Abhängigkeit von den Abschreibungen und der Investitionstätigkeit. Hinsichtlich der (intersektoralen, internationalen) Mobilität der Faktoren können unterschiedliche Annahmen getroffen werden, um kurzfristige- und langfristige Anpassungsreaktionen der Volkswirtschaft an geänderte wirtschaftspolitische Rahmenbedingungen zu unterscheiden. Standardmäßig werden funktionierende Wettbewerbsmärkte für Faktoren unterstellt, auf denen flexible Preise für den Ausgleich von Angebot und Nachfrage sorgen. Es ist aber möglich, Markthemmnisse in Form von Mengen- oder Preisadministrierungen zu integrieren, was zu Marktungleichgewichten zwischen Angebot und Nachfrage führen kann.
- Der Staat sorgt für die Bereitstellung öffentlicher Güter (Bildung, allg. Verwaltungsleistungen, Investitionen der öffentlichen Hand etc.) und einen Transfer von Sozialleistungen (Zahlungen der Kranken-, Renten-, Arbeitslosen-versicherung etc.). Die damit verbundenen Ausgaben müssen über Steuern (inkl. Sozialabgaben) gedeckt werden.
- Im Außenhandel werden inländische und ausländische Produkte der gleichen Kategorie als unvollkommene Substitute in Import und Export betrachtet werden (sog. Armington-Annahme). Die inländische Nachfrage nach Importen ergibt sich aus dem Ko-

stenminimierungskalkül von Unternehmen und Haushalten. Die Exporte einer Industrie leiten sich aus der Zielsetzung ab, die Produktionsgewinne aus inländischem Absatz und Exportabsatz zu maximieren. Über den Planungszeitraum muß sich ein außenwirtschaftliches Gleichgewicht einstellen, da längerfristig internationale Forderungen bzw. Verbindlichkeiten beglichen werden müssen. Ein flexibler Wechselkurs sorgt dafür, daß sich Importe und Exporte (inkl. internationaler Kapitalflüsse) über den Zeithorizont wertmäßig ausgleichen.

Wie bei angewandten Gleichgewichtsanalysen üblich, wird das Modell auf der Basis eines gleichgewichtigen Referenzpfades "kalibriert". Dabei werden die Parameter der funktionalen Formen zur Beschreibung der Produktionsmöglichkeiten und Präferenzen aus gegebenen Daten für Mengen, Preise und Elastizitäten so bestimmt, daß die numerische Lösung des kalibrierten Gleichgewichtsmodells gerade die Ausgangswerte repliziert. Bei der Erstellung des Ausgangdatensatzes spielen die Projektionen zur künftigen wirtschaftlichen Entwicklung eine entscheidende Rolle, da hierdurch implizit festgelegt wird, inwieweit zukünftige Emissionsminderungsverpflichtungen für die einzelnen Länder bindend werden. Für die ökonomische Referenzentwicklung werden im Auftrag der EU erstellte Projektionen verwendet (EC 1996).

7.3 Politiksznarien und Simulationsergebnisse

In den simulierten Politiksznarien werden zwei unterschiedliche Schlüssel zur internen Verteilung der EU-weiten Minderungsverpflichtung betrachtet. Beim Szenario DIFF erfolgt die Zuteilung von nationalen Minderungspflichten gemäß dem EU-Ministerratsbeschluß vom Juni 1998. Im Szenario ENDOG werden Minderungspflichten so bestimmt, daß es zu einer *gerechten* Lastenverteilung der EU-Länder in Form eines gleichen prozentualen Verlusts an Einkommen gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Emissionsrestriktionen kommt (sog. horizontale Gerechtigkeitsregel vgl. /Rose, Stevens 1996/). In beiden Fällen werden Emissionssteuern auf nationaler Ebene in einer Höhe erhoben, die in 2010 die Erreichung der Minderungsverpflichtungen gewährleisten. Das Aufkommen aus der Emissionssteuer wird als Pauschaltransfer an die Haushalte in den jeweiligen Länder zurückgegeben.

Wegen fehlender Datengrundlagen beschränkt sich die Emissionsbilanzierung in den modellgestützten Simulationen auf CO₂. Andere auf globaler Ebene wichtige Treibhausgase - v.a. CH₄ und N₂O - fallen auf EU-Ebene kaum ins Gewicht, sodaß eine Reduzierung auf die CO₂-Problematik im EU-Zusammenhang zulässig erscheint. Weiter ist anzumerken, daß im Simulationsmodell wegen der beschränkten Verfügbarkeit von konsistenten Input-Output-Tabellen lediglich 7 EU-Länder explizit abgebildet werden. Es handelt sich dabei um Deutschland, Dänemark, Spanien, Frankreich, Italien, die Niederlande und das Vereinigte Königreich. Die Aussagekraft der Simulationsergebnisse auf EU-Ebene ist jedoch gewährlei-

stet, da die im Modell erfaßten Länder den weitaus größten Teil der gegenwärtigen und zukünftig prognostizierten CO₂-Emissionen in der EU verursachen.

Tabelle 7-2 enthält die simulierten inframarginalen und marginalen Vermeidungskosten sowie die prozentuale Emissionsminderung gegenüber 1990 bzw. 2010. Die inframarginalen Kosten werden als prozentuale Einkommensverluste gegenüber der *business as usual* Entwicklung ohne Emissionssteuern angegeben.

Die Simulationsergebnisse zeigen, daß eine der horizontalen Gerechtigkeitsregel entsprechende Lastenverteilung differenzierte Minderungsziele erfordert. Allerdings unterscheidet sich die (horizontal) *gerechte* Differenzierung erheblich von den Vorgaben des EU-Minsterratsbeschlusses (siehe Tabelle 7-2C). Der EU-Vorschlag zur internen Lastenverteilung berücksichtigt offensichtlich nur unzureichend wesentliche gesamtwirtschaftliche Kostendeterminanten von nationalen Emissionsrestriktionen im europäischen Binnenmarkt. Konkret tragen im DIFF-Szenario Deutschland, Dänemark, das Vereinigte Königreich und Italien überdurchschnittlich hohe Kosten, während die Niederlande, Frankreich und Spanien unterdurchschnittlich belastet werden. Die Unterschiede in den länderspezifischen Kosten zur Erreichung des Kyoto-Ziels in 2010 sind auf zahlreiche Faktoren wie Unterschiede in den effektiven Minderungsanforderungen, unterschiedliche länderspezifische Energiesteuern-/subventionen, abweichende Energiestrukturen (Kohlenstoffintensitäten in Produktion und Konsum), verschiedene Positionen im internationalen Handel (Außenhandelsstrukturen), etc. zurückzuführen. Aus Tabelle 7-2D wird ersichtlich, daß die gesamtwirtschaftlichen Minderungskosten sehr stark von der effektiven Minderungsverpflichtung abhängen: Dänemark und Deutschland haben gegenüber der Referenzentwicklung in 2010 die höchsten Minderungsverpflichtungen, was sich in hohen Kosten niederschlägt, da – *ceteris paribus* – die Substitution von Kohlenstoff in Produktion und Konsum mit Ansteigen der prozentualen Minderungsanforderung schwieriger bzw. teurer wird.

Für eine verursachungsgenaue Interpretation der Kosten wäre es hilfreich, den Gesamteffekt in verschiedene Einzeleffekte (Partialwirkungen) zu zerlegen. Böhringer und Rutherford (1999) zeigen zum Beispiel wie sich die Wohlfahrtskosten von Emissionssteuern in eine heimische und internationale Komponente zerlegen lassen, wobei erstere die Effekte auf den heimischen Märkten ohne Berücksichtigung von internationalen Preiseffekten (konstante *terms of trade*) erfaßt und letztere die Rückwirkungen auf den internationalen Märkten (Veränderung der internationalen Preise bzw. der damit einhergehenden Wohlfahrtseffekte) quantifiziert.

Die Simulationsergebnisse für die endogene Lastenregel weisen darauf hin, daß die Minderungsverpflichtungen der einzelnen EU-Länder in einem erheblich schmaleren Korridor liegen, als durch den EU-Minsterratsbeschluß vorgegeben wird. Die EU-Annahmen zur Referenzentwicklung rechtfertigen unter Berücksichtigung zentraler volkswirtschaftlicher Anpassungsprozesse also keine drastische Differenzierung der Minderungsziele bei Anwendung

horizontaler Gerechtigkeitsregeln (Tabelle 7-2D). Insbesondere ist festzuhalten, daß im Rahmen einer gerechten Lastenverteilung die Reduktionsanforderungen an Deutschland und Dänemark deutlich gesenkt werden sollten, während Spanien, Frankreich und die Niederlande erheblich höhere Reduktionsvorgaben in Kauf nehmen müßten.

Tabelle 7-2: Wohlfahrtseffekte, marginale Minderungskosten und Emissionsreduktionen

A. Inframarginale Kosten in 2010 (Wohlfahrtskosten in % Einkommensverlust gegenüber Referenz)

	DIFF	ENDOG
Deutschland	-0.77	-0.49
Dänemark	-0.93	-0.49
Spanien	-0.06	-0.49
Frankreich	-0.13	-0.49
Italien	-0.67	-0.49
Niederlande	-0.17	-0.49
Vereinigtes Königreich	-0.69	-0.49

B. Marginale Vermeidungskosten in 2010 CO₂-Steuern in \$US₉₅ je Tonne CO₂)

	DIFF	ENDOG
Deutschland	78	51
Dänemark	89	52
Spanien	22	91
Frankreich	29	109
Italien	99	71
Niederlande	39	81
Vereinigtes Königreich	84	62

C. Prozentuale Emissionsminderung gegenüber 1990

	DIFF	ENDOG
Deutschland	21.0	15.2
Dänemark	21.0	10.6
Spanien	-15.0	0.9
Frankreich		13.5
Italien	6.5	1.8
Niederlande	6.0	17.5
Vereinigtes Königreich	12.5	8.8

D. Prozentuale Emissionsminderung gegenüber 2010

	DIFF	ENDOG
Deutschland	20.5	14.7
Dänemark	29.5	20.2
Spanien	5.9	18.9
Frankreich	6.5	19.1
Italien	18.3	14.2
Niederlande	12.7	23.3
Vereinigtes Königreich	16.6	13.0

7.4 Schlußfolgerungen

Die Einigung auf gerechte Lastenverteilungsregeln ist zentral für den Erfolg der globalen Klimapolitik. Nur dann, wenn wichtige Emittentenländer die ihnen zugewiesenen Reduktionspflichten im internationalen Vergleich als fair ansehen, werden sie entsprechende Klimabkommen ratifizieren und damit zum Inkrafttreten rechtlich bindender Klimaprotokolle beitragen. Die EU hat mit ihrer in Kyoto angekündigten Bubble-Lösung eine Vorreiterrolle in Hinblick auf die Festlegung internen Reduktionsverpflichtungen übernehmen müssen. Die Verteilung der internen Reduktionslasten sollte sich dabei explizit an einer gerechten Lastenregel orientieren (EU 1997). Die mit Hilfe eines problemgerechten Modells der europäischen Volkswirtschaft durchgeführten Simulationen stellen jedoch die Fundierung der gegenwärtigen Lastenverteilung durch (horizontale) Gerechtigkeitskriterien in Frage. Legt man als ökonomische Referenzentwicklung die Projektionen der EU zugrunde, dann weichen unter Berücksichtigung der von Emissionsrestriktionen ausgelösten wirtschaftlichen Anpassungsprozessen gerechte Reduktionsverpflichtungen erheblich vom Vorschlag des jüngsten EU-Ministerratsbeschlusses im Juni 1998 ab. Konkret müssen Länder wie Deutschland und Dänemark überdurchschnittlich hohe Minderungsziele erreichen, während Spanien, Frankreich und die Niederlande zu geringe Reduktionspflichten übernehmen. Es bleibt abzuwarten, wie sich Länder mit überdurchschnittlich hohen Lasten im EU-Diskurs verhalten werden, wenn sich in einigen Jahren die eigenen Reduktionsverpflichtungen als sehr ambitioniert bzw. kostspielig herausstellen sollten.

Die in den Politikszenerarien simulierten Kosten von Emissionsverpflichtungen sind in Höhe und Verteilung stark abhängig von der Referenzentwicklung, welche festlegt, in welchem Maße Reduktionsziele für die jeweiligen Ökonomien in der Zukunft bindend werden.¹⁶ Vor diesem Hintergrund ist ein Konsens über die Referenzentwicklung zwischen verschiedenen Vertragsstaaten eine grundlegende Voraussetzung für die Diskussion von gerechten Minderungsverpflichtungen.

¹⁶ Vgl. Böhringer, Jensen und Rutherford (1998) zur Bedeutung alternativer Energie- bzw. Wirtschaftsprojektionen für die Höhe und Verteilung der Kosten von Emissionsminderungsstrategien innerhalb der EU.

Referenzen

/Böhringer 1996/

Böhringer, C. (1996), Allgemeine Gleichgewichtsmodelle als Instrument der energie- und umweltpolitischen Analyse, Verlag Peter Lang, Frankfurt a. Main.

/Böhringer, Rutherford 1999/

Böhringer, C. and Rutherford, T.F. (1999), The Kyoto Protocol: Domestic Policy Impacts and International Spill-Overs, *Discussion Paper*, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) / Department of Economics at the University of Colorado: Mannheim / Boulder.

/Böhringer, Harrison, Rutherford 1997/

Böhringer, C., Harrison, G.W. and Rutherford, T.F. (1997), Sharing the Burden of Carbon Abatement in the European Union, *Working Paper*, Ministry of Business, Denmark; latest version available at:

[HTTP://WWW.GAMS.COM/PROJECTS/DK/MOBIDK.HTM](http://www.gams.com/projects/dk/mobidk.htm).

/Böhringer, Jensen, Rutherford 1997/

Böhringer, C., Jensen, J. and Rutherford, T.F. (1997), The Costs of Carbon Abatement in Six EU Countries: Implications of Alternative Baseline Energy Projections, *Working Paper*, Ministry of Business, Denmark; latest available at:

[HTTP://WWW.GAMS.COM/PROJECTS/DK/OSLO.PDF](http://www.gams.com/projects/dk/oslo.pdf)

/Böhringer, Ferris, Rutherford 1998/

Böhringer, C., Ferris, M. and Rutherford, T.F. (1998), Alternative CO₂ Abatement Strategies for the European Union, in BRADEN. J. and PROOST. S., eds., *Climate Change, Transport, and Environmental Policy*, London: Edward Elgar Publishing.

/EC 1996/

EC (1996), Energy in Europe – European Energy to 2020 – A Scenario Approach, Brussels, 1996 .

/EU 1997/

EU (1997), Community strategy on climate change: Council Conclusions. Press release 6309/97, Brussels, 3 March 1997.

/EWWE 1998/

EWWE (1998), Environment Watch Western Europe, 19.6.1998:10

/Koschel, Schmidt 1998/

Koschel, H. and T.F.N. Schmidt 1998, Climate Change Policy and Burden Sharing in the European Union, *ZEW Discussion Paper* No. 98-12, Centre for European Economic Research, Mannheim.

/Rose, Stevens 1996/

Rose, A., B. Stevens: Equity Aspects of the Marketable Permits Approach to Global Warming Policy, Paper presented at the 7th Annual Conference to the European Association of Environmental and Resource Economics, June 1996, Lisbon, Portugal.

8 Climate Change Policy and Burden Sharing in the European Union - Applying alternative equity rules to a CGE-framework

Tobias F.N. Schmidt, Henrike Koschel

Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH (ZEW)

8.1 Abstract

The objective of this paper is to present different equity rules that can be applied to the initial allocation of greenhouse gas entitlements and to analyse the potential impacts of these rules EU-wide as well as on the level of member states. The methodological framework used in the empirical part of the paper is based on the GEM-E3 model, a multi-country and multi-sectoral computable general equilibrium model for fourteen EU-member states. The major finding of the paper is that being *ex ante* favoured with respect to the initial allocation of permits might not hold *ex post*, i.e. when trade of permits and actual emission reductions are carried out. The reason can be found in the economic interdependence of European countries: If countries with large economies lose too much due to a relatively small initial endowment with permits, smaller and/or poorer countries are affected considerably by external trade spillovers. This might outweigh the positive effect the latter realized *ex ante* due to a more 'fair' initial allocation of permits. The outcome emphasizes the importance of a consideration of full general equilibrium effects across countries.

Zusammenfassung

In dem Beitrag werden alternative Kriterien einer Zuteilung von Emissionsrechten im Rahmen einer europaweiten Klimaschutzpolitik diskutiert und hinsichtlich ihrer quantitativen Auswirkungen auf nationaler und EU-Ebene miteinander verglichen. Die empirische Untersuchung basiert auf einem sektoral disaggregierten, angewandten allgemeinen Gleichgewichtsmodell für vierzehn EU-Mitgliedsstaaten. Wesentliches Ergebnis der gesamtwirtschaftlichen Analyse ist, daß sich eine *ex ante* verteilungspolitische Besserstellung bestimmter Länder bei der Zertifikate-Erstaussgabe *ex post* ins Gegenteil verkehren kann. Dieser Effekt spiegelt die enge wirtschaftliche Kopplung der EU-14 Länder wider: Die hohe Kostenbelastung großer Volkswirtschaften unter bestimmten Allokationsschemata kann in wirtschaftlich relativ schwächeren Ländern so starke negative Rückwirkungen auslösen, daß dort positive Wohlfahrtseffekte aus der Primärallokation überkompensiert werden.

Acknowledgement

This research is based on two modelling projects financed by the JOULE-II programme of the European Commission (DGXII). We are indebted to Pantelis Capros, Takis Georgakopoulos (both NTUA-Athens), Stef Proost, Denise Van Regemorter (both CES at the Catholic University of Leuven), and Klaus Conrad (University of Mannheim) who are co-developers of the model GEM-E3. Nevertheless, we take responsibility for all errors and omissions that might have remained.

8.2 Introduction

The recent developments in climate change policy reveal once more the importance of the burden sharing issue in fleshing out an internationally binding commitment to reduce greenhouse gas emissions. The heterogeneity of interests involved stems from national and/or sectoral differences in wealth, the current stage of development, the energy intensity of production and/or consumption, the resource allocation, and so on. The debate on how to allocate the burden entailed by climate protection revolves around international and regional commitment efforts. For the climate change policy of the European Union (EU) this issue arises on both levels. At the Kyoto Conference in December 1997, the EU as a whole voted for a 15% reduction of greenhouse gas emissions in industrialized countries to be reached in 2010.¹⁷ This decision was preceded by deliberations about the EU-internal allocation of burdens. Considering the standstill on the international level, the EU-internal consensus is exceptional as even the burden sharing issue was solved at least for the first 10%.¹⁸

On both levels, regionally and internationally, pollution permits are often considered to be the most appropriate policy instrument for an efficient implementation of reduction targets for global pollutants. While the international trade of pollution permits equalizes marginal costs of emission reduction across countries and, therefore, provides an efficient solution, the initial allocation of permits enables various opportunities to tackle the equity aspect.

This paper deals with both efficiency and equity, whereas the main emphasis lies on the latter. The objective is to review and analyse the potential impacts of different equity rules applied to the EU-internal burden sharing.

The first part of the paper (Sections 8.3 and 8.4) gathers and discusses the principle concepts and alternatives of the equity issue from a methodological point of view and refers to the initial allocation of pollution rights in particular. The second part of the paper applies a selection of equity rules to a given EU reduction target (10% reduction of CO₂ by 2010 based on 1990 emissions) (Section 8.7) and assesses the potential impacts with respect to welfare and other macro-economic aggregates on both EU-wide and national levels (Section 8.8). All

¹⁷ Finally, the EU agreed on an 8% reduction to be realized between the years 2008 to 2012.

¹⁸ See EC(1997) for the country specific obligations the Council of Ministers has agreed on.

simulations are undertaken with the computable general equilibrium model GEM-E3. The final section (Section 8.11) draws some conclusions.

8.3 Equity and efficiency

An effective protection of global common goods requires an international agreement whereby countries commit themselves to emission reductions on a more or less voluntary basis. As countries will not be willing to cooperate if they feel that the international sharing of economic costs of the global warming policy is unfair, international agreements should be based on equity criteria that are accepted by all negotiators. In general, international equity issues arise in view of substantial differences between countries, e.g. in terms of population, wealth and consumption, purchasing power, emissions of greenhouse gases in the past, present and future, or vulnerability to climate change /Banuri et al. 1996, p. 91/. The choice of the equity rule has significant consequences for the distribution of the costs of environmental protection amongst countries.

No political consensus on who should pay for abatement of CO₂ at the international level has been developed yet. As equity issues are not a topic of economic theory, equity principles have to be based on ethical and normative judgements. However, studying the potential impacts of different burden sharing mechanisms might give some insights that could contribute significantly to reach an international consensus.

As long as the theoretical conditions for an efficient allocation prevail, economic efficiency, defined in terms of Pareto-optimality, is neutral with respect to distributional issues. The economically efficient allocation of emission reductions is independent of how the total costs of these reductions are shared between countries, or which equity rule is applied. Empirical analysis supports the theoretical finding of the independency of the Pareto-optimal emissions trajectory from the initial allocation of emission rights.

/Manne, Richels 1995, p. 23/, for instance, note that "the rules for the allocation of emission rights imply that there will be wealth transfers, but empirically we have found that the general equilibrium effects of these transfers are too small to influence the overall level of emissions. In this sense, our results are consistent with the Coase Theorem - the proposition that wealth transfer effects are too small to influence the Pareto-optimal level of provision of a public good (the mean global temperature)".

Conflicts between efficiency and equity principles in global warming policy arise only in the absence of international lump-sum transfers. According to /Tinbergen 1952, pp. 27 ff./, each policy that is supposed to address both efficiency and equity needs two policy instruments: one instrument for dealing with allocative objectives, e.g. a tax or permit system, and a second for implementing equity issues, e.g. compensation payments or transfers. In this sense, transfers are not only interpreted as financial transfers, e.g. redistribution of tax revenues, but can also be in terms of an initial free-of-charge allocation of emission permits.

According to this, the IPCC report /Banuri et al. 1996/ makes a distinction between proposals for distributing abatement costs including international transfers and proposals for fair distribution of emissions separated from any substantive financial transfers.

Under a non-cooperative approach without compensation payments, the initial distribution of emission constraints determines simultaneously both the allocation of emission reductions as well as the distribution of costs. Given the assumption that the international authority has full information concerning national abatement cost functions, a cost-efficient international allocation of emission reductions can be implemented. But even if efficiency of resource allocation is ensured, the resulting distribution of burden sharing might be perceived as unfair as it "does not address the tendency toward national self-interest, the ability of nations to pay the cost, or international political balance" /Rose 1990, p. 927/. On the other hand, an equitable allocation of emission constraints is very likely to be inefficient from a global point of view.

Under a cooperative approach, an overall emission reduction target, which is defined for the whole group of the contractual partners, is implemented by a common economic instrument, such as an international CO₂ tax or an international tradable permit system. Here, efficiency and equity aspects can be addressed separately and treated as complementary principles. Whereas the allocation/price mechanism of the economic instrument leads to an efficient allocation of emission reductions, equity concepts are used to determine how the tax revenue is distributed or how the permits are allocated initially across countries.

Even if the literature provides different classifications of principles for burden sharing, the "examination of international equity issues is still in its infancy" /Banuri et al. 1996, p. 85/. /Banuri et al. 1996, p. 104/, for example, distinguish between procedural and consequentialist equity; the first has to do with participation, process and treatment before the law, the second refers to the outcome of decisions, i.e. the distribution of burdens and benefits. The latter is split in five categories: parity (all claimants receive equal shares of burdens or benefits), proportionality (distribution of burdens or benefits in proportion to the contributions of claimants), priority (those with the greatest needs should be put first), classical utilitarianism (distribution in order to achieve the greatest good for the greatest number), and Rawlsian distributive justice (equal distribution unless an unequal distribution operates to the benefit of the least advantaged).

In the following, different mechanisms for burden sharing, mainly provided by /Rose, Stevens 1996/ and /Rose 1990/, are presented and discussed regarding their implications for the international distribution of costs and benefits of global warming policy. Table 8-1 summarizes the criteria and translates them into operational rules for global warming policy in general and tradable permits in particular. Keeping in mind that economic efficiency and equity issues can be separated in economic theory, the listed principles of burden sharing can also be used to determine reimbursement rules in the case of a CO₂ tax.

First of all, Rose and Stevens classify the equity criteria according to whether they are defined in terms of the initial allocation of emission rights ('allocation-based') or in terms of traditional welfare economics ('outcome-based').

Allocation-based rules are related directly to the distribution of emission rights or to the distribution of gross abatement costs. Within a model framework, allocation-based rules are reflected by each country's initial endowment of emission rights according to the applied equity criterion. The distribution of emission rights may represent an initial stock of tradable permits in case of a cooperative implementation of the global reduction target (i.e. subsequent trading of permits between countries is allowed) or the final allocation of national emission levels in case of a non-cooperative solution (i.e. countries implement given reduction targets independently).

In contrast to allocation-based rules, outcome-based rules take into account the incidence of costs and benefits, i.e. the net welfare change due to global warming policy. Outcome-based rules are defined in terms of the relation of net welfare to sub-criteria such as GDP or GDP per capita. Modelling this rule is more complex as for each country one has to set the net welfare level, the equity rule being simulated demands. Then, the model is solved either for the corresponding initial permit allocation, taking into account the international trading of emission permits (in case of a cooperative implementation of the global reduction target), or for the corresponding final allocation of national emission levels (in case of a non-cooperative implementation of the global reduction target).

Table 8-1: International equity criteria for sharing the costs and benefits of a global warming policy

Criterion	Basic Definition	General Operational Rule	Operational Rule for
outcome-based equity criteria			
Horizontal	All nations should be treated equally	Equalize net welfare change across nations (net cost of abatement as proportion of GDP equal for each nation)*	Distribute permits to equalize net welfare change (net cost of abatement as proportion of GDP equal for each nation)*
Vertical	Welfare changes should vary inversely with national economic well-being	Progressively share net welfare change across nations (net cost proportions inversely correlated with per capita GDP)*	Progressively distribute permits (net cost proportions inversely correlated with per capita GDP)*
Compensation	No nation should be made worse off	Compensate net losing nations	Distribute permits so that no nation suffers a net loss of welfare
Rawls's Maximin	Maximization of the welfare of the worst-off nations	Maximize the net benefit to the poorest nations	Distribute largest proportion of net welfare change to poorest nations
allocation-based equity criteria			
Ability to Pay	Mitigation costs should vary inversely with national economic well-being	Equalize abatement costs across nations (gross abatement costs as proportion of GDP equal for each unit)**	Distribute permits to equalize abatement costs (gross costs of abatement as proportion of GDP equal for each nation)**
Egalitarian	All people have an equal right to pollute and to be protected from pollution	Equalize per capita emissions across countries (in contemporary or historical form)	Distribute permits in proportion to population or historical responsibilities
Sovereignty	All nations have an equal right to pollute and to be protected from pollution	Allocation of emission reductions in a proportional manner across all nations, i.e. equal percentage emission reductions	Distribute permits in proportion to emissions
Market Justice	The market is fair	Make greater use of markets	Distribute permits to highest bidder
Consensus	The international negotiation process is fair	Seek a political solution promoting stability	Distribute permits in a manner that satisfies the (power weighted) majority of nations

* Net costs equal to the sum of: mitigation benefits - abatement costs + permit sales revenues - permit purchase costs. ** Gross cost refers to abatement costs only. Source: Rose and Stevens (1996, p. 3), modified.

8.4 Operationalisation of equity rules

8.4.1 Outcome-based equity criteria

Horizontal equity calls for an equal treatment of all nations in terms of welfare outcome. /Rose and Stevens 1996, p. 11/ distinguish two different operational versions of the horizontal equity concept:

- The share of net welfare to GDP is equalized across nations. This implies that countries with a relatively larger share of global GDP receive a relatively greater share of global net welfare.
- The share of net welfare to population is equalized across countries. Consequently, the largest share of global net benefits is distributed to those countries with the largest share of global population.
- A third operational rule of horizontal equity can be defined as follows:
- The share of net welfare to GDP per capita is equalized. This implies that countries with a relatively larger share of global GDP per capita receive a relatively greater share of global net welfare.

According to the *vertical equity* rule, the abatement costs of a global warming policy are progressively shared across countries. This means, the country's net welfare is inversely related to the GDP. Countries with a relatively lower GDP (and thus, as a rule, with lower CO₂ emissions) receive a relatively bigger share of global net benefit (i.e. have to bear relatively less costs) than countries with a relatively higher GDP. Thus, "vertical equity expresses greater concern for the disadvantaged" /Rose 1990, p. 930/. Examples for vertical equity at the interpersonal level are progressive income taxes.

The *compensation criterion* is based on the concept of Pareto-optimality. This allows a policy to be introduced only if no individual or group of individuals is worse off. The net losers have to be compensated by the net winners, so that no country suffers a negative net benefit. The concrete design of the compensation scheme requires the application of other equity criteria such as the horizontal or vertical equity principle.

Furthermore, there are two additional outcome-based equity concepts, the *basic needs approach* and the *Rawlsian Maximin rule* (see /Banuri et al. 1996, p. 104/). The basic needs approach grants countries the right to emit the minimum levels of greenhouse gases that safeguard the meeting of their citizen's basic needs. Basic needs can be defined as minimum consumption levels needed to support full participation in society, depending on regional characteristics such as climate. The basic needs approach can be seen in relation to the Rawlsian approach. Taking over the Rawlsian concept of intergenerational equity on an international context, the Rawlsian Maximin rule says that "the welfare of the worst-off individual is to be

maximized before all others" /Rose 1990, p. 931/. This implies that this equity concept should be used to improve the position of the poorest countries. Accordingly, /Rose, Stevens 1996, p. 14/ operationalise this rule by redistributing any positive net benefits for the three industrialized nations in their sample to the three poorest nations. Ultimately, by giving preference to the disadvantaged group, the Rawlsian criterion is closely connected to the vertical equity principle and the egalitarian rule.

8.5 Allocation-based equity criteria

The *ability-to-pay criterion*, or more generally spoken, the principle of comparable burdens, is based on the claim that "allocation should affect all countries similarly or involve 'comparable burdens' or 'sharing the effort equally'" /Banuri et al. 1996, p. 105/. Several more or less complex, operational rules of this criterion are discussed in the literature (they reach from 'equal monetary abatement costs' to more general measures of ability-to-pay). Rose and Stevens (1996) operationalise this criterion very simply by choosing an initial allocation of emission rights inversely to the proportions of the GDP.

The *egalitarian criterion* suggests that all human beings should be entitled to an equal share of the global atmospheric resource. The egalitarian rule can take two forms: equal contemporary entitlements and equal historical stock entitlements.

The first implies that the share of emissions to population is equalized, i.e. each human being should have equal rights in terms of per capita emissions. As emission rights (e.g. tradable permits or tax revenues) are distributed in proportion to each nation's current population, countries with per capita emissions below the average will gain an excess entitlement, whereas countries with per capita emissions above will have a deficit.

The second form takes 'cumulative historical emissions', i.e. emissions that have been cumulated over a period of time, as a reference point for per capita entitlements /Rose 1990, p. 929/ and /Krumm 1995, p. 46/ and /Banuri et al. 1996, p. 105/. The second form is based on the principle of *historical responsibilities*. It takes into account that greenhouse gas emissions are stock pollutants and that the global stock, the atmosphere, is finite. From an equity point of view, it might be reasonable that not the current emissions determine the responsibility for paying, but rather the emissions which have been built up by a country in the past. Actually, there is a broad consensus in the literature that industrialized countries have made excessive use of their rights to emit CO₂ in the past whereas developing countries are in credit. The principle of historical responsibilities is not restricted to egalitarianism, but can be used, for instance, to determine cut backs from current emission levels in direct proportion to historical, cumulative emissions.

The *sovereignty criterion* "represents the basic rights of national entities, often focused on territorial integrity" /Rose 1990, p. 930/. In the case of climate change, the sovereignty rule implies equal percentage cuts of current or base year emissions. According to their baseline

emission levels, countries have to undertake emission reduction measures on a different scale. The sovereignty rule is closely connected to the proportionality rule, which - as nations are burdened in proportion to their contribution to damage caused - is related to the polluter-pays principle. The sovereignty rule reflects in some respects the claim for keeping the 'status quo' allocation, as it is fully equivalent to an initial allocation of emission rights in proportion to current emissions.

Another 'status quo' rule suggests allocating emission rights proportionally to national GDP, i.e. nations with a larger share in global GDP will be better off than nations with lower shares /Krumm 1995, pp. 44/. Those who defend the 'emissions per GDP' criterion argue that economic activities are necessarily connected with the emission of pollutants. Thus, an allocation of emission rights that differs too much from the actual 'status quo' emission scheme might limit global production and could lead to significant reductions in global welfare. Obviously, this argument does not hold if an international reallocation of emission rights is enabled, as the equity rule restricts production of richer countries not in general but due to financial losses caused by side payments. Even so, as will be shown later in our empirical part of the paper, by considering full general equilibrium effects, this argument may have some compellingness.

Following the literature, both criteria, the sovereignty rule and the 'emissions per GDP' rule, are discussed rather as starting points in model analysis but not as serious concepts for international, global burden sharing. Accordingly, Bertram (1996, p. 468) states, that "there is general agreement in the literature that simply 'grandfathering' emission quotas on the basis of current emissions, or on the basis of present GDP, could not provide the basis of a workable international agreement, because it would impose heavy costs on non-OECD countries, while enabling OECD countries to capture rents from the shortage of atmospheric carbon storage capacity for which they themselves have been responsible through high past emissions".

While this assessment might be true for the scientific literature, it contradicts what can be found in practical policy. Neither the agreement of the Council of Ministers of the European Union on how to allocate the Kyoto-targets in greenhouse gas emissions between countries nor the national commitments in SO₂ reduction stated in the Helsinki-Protocol of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution coincide with this general agreement: In both cases, the total burden is shared closely to sovereignty principles. However, the application of the sovereignty criterion might be assessed less critically if an international agreement concerns OECD countries or EU-member states only where differences in economic development are comparably small.

Under the *market justice regime* the emissions are allocated initially according to the 'willingness-to-pay'. In contrast to the burden sharing regimes discussed above, the initial allocation of permits under this rule would have to be based rather on auctioning than on grandfathering. Analogously to an international tax, the international authority, which is responsible

for collecting the permit proceeds, can use an international equity rule to reimburse the revenues to the countries.

The *consensus criterion* "arises from the implications that the outcome of the political or diplomatic process is just" /Rose 1990, p. 930/. /Rose, Stevens 1996, p. 16/, for example, operationalise this criterion by estimating weights for distributing the total amount of permits as a linear combination of each country's share of global population and its share of global GDP. The underlying principle claims that nations with concentrated economic and political power should have a greater deal of influence in the decision making process.

8.6 Mixed systems

Apart from single-criterion proposals for a 'fair' distribution of emissions, a number of mixed systems have been presented in literature. Combining different equity rules might support the agreement of all countries to participate. Krumm (1995, p. 49) proposes a linked system of emissions per historical emissions, emissions per GDP and emissions per population; Welsch (1993) suggests a combination of population and current emission factors. Nevertheless, even if countries agree upon a combination of different criteria, the determination of the weight factors and their change over time remain a major subject for negotiation.

In practice, a mix of several equity concepts (namely the proportionality, historical responsibilities and ability-to-pay approach) was chosen in the Framework Convention on Climate Change. The same is supposed to hold for the burden sharing proposal of the EC-Council of Ministers given in March 1997. The following chapter will address this aspect in more detail.

Model simulations indicate that the speed of transition from the status quo situation to an allocation according to an internationally accepted equity rule, e.g. equal per capita emission rights, has significant influences on the international distribution of costs. Manne and Richels (1995), for example, analyse two alternative burden sharing rules which differ alone in the speed of transition from one equity principle to another and compare the impacts. Under the 'standard' allocation scheme, carbon rights are initially distributed among regions in proportion to their 1990 level of emissions (status quo). Gradual changes in these shares over time lead to a distribution in proportion to 1990 population levels by 2030 ('quicker' transition to egalitarian rule). Under the 'status quo' allocation, the gradual transition to equal per capita emission rights is slowed down and is realized not before 2200 ('slower' transition to egalitarian rule). Under the quicker transition scenario, the burden would fall on the more industrialised regions (OECD and former Soviet Union), whose share in global CO₂ emissions fall from 66% in 1990 to 22% in 2030, whereas the less industrialised countries (China and the rest of the world) would win. However, a slower transition leads to a preferential treatment of industrialised countries, which would still allow them to emit 60% of total CO₂ emissions in 2030.

8.7 The burden sharing issue in the EU context

The burden sharing issue of climate change protection arises on the global level as well as on the regional or national level. This aspect is of particular interest with respect to the decision of the EU to vote for a 15 per cent reduction of greenhouse gas (GHG) emissions in the industrialised countries by the year 2010 at the Kyoto Conference in December 1997. For the EU this goal is supposed to be reached coordinated according to a political consensus of burden sharing. In March 1997, the Council of Ministers agreed on an allocation of 10% between the EU-member states. Table 8- shows the national GHG reductions the Council decided on.

Table 8-2: The burden sharing proposal of the Council of Ministers (based on 1990 emissions, to be realized in 2010)

	Allocation of a 10 % reduction in the EU
Austria	-25
Belgium	-10
Denmark	-25
Germany	-25
Finland	0
France	0
Greece	30
Ireland	15
Italy	-7
Luxemburg	-30
Netherlands	-10
Portugal	40
Sweden	5
Spain	17
United Kingdom	-10
EU-15	-10

As the Council announces, this allocation takes into account a wide range of criteria such as cost-effectiveness, differences in starting points, economic development, economic structures or resource bases /EC 1997/. The proposal considers expectations about growth and technical progress (in both energy efficiency and productivity). Analysing the potential impacts of this proposal is therefore difficult, as the model framework used might be based on other assumptions concerning efficiency, growth, and so on.

To enable a comparison of the impacts of alternative equity rules on the EU-level, the equity rules analysed are kept as simple as possible. Three allocation-based criteria are evaluated with the GEM-E3 model: sovereignty, ability-to-pay and the egalitarian principle.

Supposed that a given EU-wide emission target (e.g. 90% of the EU-wide CO₂ emissions, normalised to 100) should be realized by an EU-wide permit scheme, then the figures in the columns of the following Table 8-3 indicate how many permits should be allocated to a country under a particular equity rule. The particular operational criteria used are given in the table as well.

Table 8-3: Allocation-based burden sharing in the EU

	Sovereignty (uniform reduction rate)	Consensus (Proposal of Council of Ministers)	Egalitarianism (equal per capita emissions)	Ability-to-pay (inverse GDP per capita)
Austria	2.2	1.8	2.2	5.7
Belgium	3.9	3.9	2.9	3.3
Germany	23.9	19.7	17.8	0.1
Denmark	2.3	1.9	1.5	9.9
Finland	1.2	1.3	1.4	12.2
France	14.9	16.4	16.1	0.1
Greece	1.4	2.0	2.9	10.1
Ireland	0.8	1.0	1.0	39.1
Italy	13.6	13.9	16.7	0.1
Netherlands	3.1	3.0	4.2	1.5
Portugal	0.6	0.9	2.9	13.8
Spain	6.8	8.7	11.2	0.5
Sweden	2.9	3.4	2.4	3.6
United Kingdom	22.4	22.1	16.6	0.1
EU-14	100.0	100.0	100.0	100.0

Source: EUROSTAT(1994), EC(1997), own calculations.

As the table records, the burden-sharing proposal of the Council of Ministers fits in between the sovereignty and the egalitarian principle with a tendency to sovereignty. The following analysis, therefore, refrains from this particular consensus rule and emphasises more principal rules like sovereignty, egalitarianism and ability-to-pay.

Table 8-4 depicts the equity rule based allocations for a 10% reduction of EU-wide CO₂ emissions in terms of the national CO₂ emissions in 1990. The corresponding figures of the Council of Ministers proposal have been given in Table 8- already.

Table 8-4: Net permit allocation (difference to 1990 emissions in %)

	Sovereignty (uniform reduction rate)	Egalitarianism (equal per capita emissions)	Ability-to-pay (invers GDP per capita)
Austria	-10.0	-8.1	138.8
Belgium	-10.0	-33.5	-23.9
Germany	-10.0	-33.0	-99.7
Denmark	-10.0	-41.4	287.6
Finland	-10.0	5.4	793.9
France	-10.0	-2.6	-99.3
Greece	-10.0	84.6	542.3
Ireland	-10.0	15.9	4275.7
Italy	-10.0	10.7	-99.1
Netherlands	-10.0	24.8	-56.2
Portugal	-10.0	345.8	2019.1
Spain	-10.0	48.9	-93.5
Sweden	-10.0	-25.1	9.3
United Kingdom	-10.0	-33.4	-99.5
EU-14	-10.0	-10.0	-10.0

Source: EUROSTAT(1994), EC(1997), own calculations.

As indicated by Table 8-4, the amount of permits received differs considerably with respect to the equity rule chosen. Under the ability-to-pay rule Germany, France, Italy, Spain and the United Kingdom would potentially suffer with respect to the initial allocation of permits. These countries would get only a small amount of permits free-of-charge. Belgium and the Netherlands receive at least a part of the emission rights they actually would need to maintain their economic activity. The winners are low-income countries, in particular Ireland and Portugal. Under the egalitarian principle, the number of countries that contribute to the actual burden of the EU-wide emission target increases. While Austria, Belgium, Germany, Denmark, France, Sweden and the United Kingdom are discriminated with respect to the 1990 emissions, the remaining EU countries obtain more rights than needed on the 1990 basis. The sovereignty criterion gives the same reduction share to each country, i.e. each nation receives 90% of the emissions in 1990.

With respect to these allocations, the potential burden of a country (or a sector) is alleviated or reinforced. If a country gets more permits than it would actually need, the sale of these permits to other countries makes it better off (all other things being equal). If a country receives much less than it would actually need to keep its economic activity, it is obligated to either buy additional permits from other countries and/or to reduce its emissions significantly. According to the equity rules used for the initial allocation of permits, the reallocation through

international trade establishes an international transfer system that favours some countries and puts others at a disadvantage.

8.8 Simulation of an EU-wide permit scheme under alternative equity rules

The emphasis of this study lies on the analysis of the potential impacts of alternative equity rules given a particular emission target. It is not intended to contribute to the political discussion of equity and distributional fairness in general. The analysis approaches the subject from a rather positive way of thinking. Hence, the issue of concern is: If one would choose a particular initial allocation, what would be the impact for the member states and for the EU as a whole?

The analysis is based on simulation results obtained with the computable general equilibrium model GEM-E3. GEM-E3 is a computable general equilibrium model that considers the economies of 14 EU-member states (EU-15 except Luxembourg) explicitly. The national country models are linked through bilateral trade flows. Production is distinguished by 18 sectors or products; a representative household consumes 13 consumption categories. The economic model is enlarged by an environmental module that covers emission computation, transboundary air pollution and environmental damage calculation of a set of pollutants including CO₂, SO₂, NO_x, VOC and tropospheric ozone. A more detailed description of the model structure is given in the Appendix.¹⁹

8.9 Definition of policy scenario and instrument

The policy goal imposed throughout the simulations is an EU-wide reduction of 1990 CO₂ emissions by 10 per cent in 2010. This reduction will take place by implementing an EU-wide scheme of tradable permits for CO₂ emissions in 2001. The goal is reached gradually (linear) within the following 10 years. The allocation-based rule refers to the initial allocation of permits.

It is worthwhile to explicitly mention some of the features of the permit market specified in the model:

- While international burden sharing uses different equity criteria, grandfathering (sovereignty) is used on the country level throughout all simulations. Hence, if the amount of permits given to a country covers only x per cent of the emissions in 1990, all polluters receive permits to this extent only, i.e. x per cent of their emissions in 1990 (uniform rate of reduction within the country).
- If a country obtains more permits than it actually requires (i.e. the amount of permits available exceeds the 1990 emissions), all polluters receive permits free-of-charge to

¹⁹ See also Capros et al. (1997a) or Conrad and Schmidt (1997).

the extent of their needs (actual emissions). The rest (which is the total national share minus national emission) remains with the government. This amount is supplied and sold at the international permit market. The receipts are kept by the government to reduce public deficit.

- Irrespective of the initial allocation, all polluters decide on the basis of their individual costs (marginal costs) whether to abate emissions and sell permits, to emit to the extent of the permits obtained (and keep them) or to emit more and buy additional permits. According to this decision, polluters supply or demand permits at the international market.
- The specification considers opportunity costs of holding permits, i.e. polluters take into account that even those permits that they have received free-of-charge by the initial allocation are costly as they could be sold on the market to other polluters if abatement measures are undertaken. Hence, the decision in production and consumption does not take into account the rents obtained due to the free-of-charge allocated permits. The rents a sector receives are passed on to demand by reducing the output price appropriately. The permit transactions of households are covered by the energy sectors, i.e. they are modelled similar to value added taxes with lump-sum refunding.
- In any case, free trade of permits between sectors and countries guarantees a cost-minimizing implementation of the EU-wide reduction target. The efficiency of the instrument (equalized marginal costs) is (theoretically) not affected by the burden sharing issue.

8.10 Simulation results of alternative allocation rules

The presentation of results starts with a discussion of the EU-wide effects of the three allocation rules. All simulation results presented hereafter refer to the year 2010, i.e. to the economic and environmental situation when the emission target is fully implemented.

This target is uniform in all cases: 10% reduction of CO₂ in 2010 based on 1990 emissions. The goal is reached by reducing the 10% compared to 1990 plus the emission growth that is linked to the economic growth within the period 1990 to 2010. For the EU an emission growth rate of 8% is assumed.²⁰ Hence, the actual reduction effort that has to be undertaken is 18%.

Table 8-5 shows the economic impacts of the three allocation principles. In terms of the EU-wide economic welfare, the sovereignty criterion is preferable. Expressed in per cent of the GDP, a positive welfare effect of 0.32% is obtained. The egalitarian rule gives a smaller but still positive effect of 0.17%. The ability-to-pay allocation reduces EU economic welfa-

²⁰ Pre-Kyoto Study (Capros et al. 1997b, EIS 1997).

re. A loss of 0.50 (as percentage of the GDP) is indicated. Including the welfare effect that is induced by higher environmental quality improves the overall welfare effect, but the signs do not change; the welfare effect of the ability-to-pay allocation remains negative.

Table 8-5: Macro-economic impacts of alternative burden sharing allocations for EU-14

	Sovereignty	Egalitarianism	Ability-to-pay
Gross domestic product	-0.80%	-0.73%	-0.42%
Employment*	-787	-683	85
Private investment	-0.18%	-0.33%	-1.01%
Private consumption	-0.10%	-0.61%	-2.64%
Exports in volume	-5.73%	-4.37%	0.16%
Imports in volume	-0.72%	-1.55%	-4.54%
Intra trade in the EU	-5.74%	-4.38%	0.15%
GDP deflator in factor prices	4.14%	2.30%	-5.28%
Marginal abatement cost**	230.5	213.9	165.1
Economic welfare***	0.32%	0.17%	-0.50%
Economic and environmental welfare***	0.49%	0.33%	-0.34%

* in thousand employed persons

** in ECU'85/tC (ton of carbon)

*** as percentage of GDP

The impacts on welfare can be explained by changes in the components of utility, i.e. consumption and leisure. While the allocations under sovereignty and egalitarianism lead to a decrease in both employment (which is equivalent to an increase in leisure) and consumption, more work has to be supplied for less consumption in the ability-to-pay allocation. Hence, utility is decreasing. The negative impact on the GDP is highest under sovereignty and lowest under ability-to-pay. The variation in GDP is linked mainly to changes in foreign trade. The GDP deflator in the EU increases by 4.1% in the sovereignty rule as all countries are affected in the same way. Due to the price increase, extra-EU exports are decreasing by more than 5.7%. In contrast, the GDP deflator decreases in the case of the ability-to-pay allocation. As it will be shown below, this drop in prices is induced by those countries which are only partly compensated by the allocation rule, i.e. which are characterized by a high GDP per capita. The different development in prices explains why the extra-EU exports remain on a higher level in the ability-to-pay case than in the sovereignty allocation. Nevertheless, the price increase under the sovereignty rule realizes a reduction in EU-extra imports as the output effect dominates the substitution effect. This holds for the egalitarian rule as well.

The permit prices (marginal abatement costs) obtained at the end of the reduction period vary considerably between allocation rules. The permit price is highest under the so-

sovereignty allocation (230 ECU/tC or 63 ECU/tCO₂)²¹ and lowest under ability-to-pay (165 ECU/tC or 45 ECU/tCO₂). The outcome under the egalitarian regime is almost 214 ECU/tC (or 59 ECU/tCO₂). This ranking is striking, as the welfare effects are inversely related to the permit prices, i.e. a higher permit price leads to a better outcome in terms of welfare. To explain this effect, a country-specific analysis has to be undertaken.

Table 8-6 locates the sources of the EU-wide negative welfare impact in the ability-to-pay allocation: negatively affected are Germany, France, Italy, the Netherlands, Spain and the United Kingdom. The egalitarian allocation reveals negative economic welfare effects for Denmark and the United Kingdom, while applying the sovereignty rule generates positive welfare effects for all countries, even though the permit price is highest in the latter one. Receiving more permits under a particular rule is not equivalent to a more positive or less negative impact on welfare. Austria, Finland, Ireland and Sweden would prefer the sovereignty allocation, even though they would receive less permits in the initial allocation than under sovereignty. The reason can be found in the interdependence of the EU economies: Negative impacts on the economic performance of big countries affect the smaller countries through international trade.²²

The EU-wide emission reduction in 2010 corresponds to the policy target by definition, as the endogenous permit prices match the exogenous total supply of permits (90% of 1990 emissions) and the endogenous demand of permits (i.e. the actual emissions). The actual reduction effort including both the target related to 1990 plus the growth of emissions induced by economic growth, lies for all countries (and allocation rules) within the range of 13% to 23% (based on the emissions of 1990). The net contribution of countries to the common goal is usually much lower, depending on the growth that is assumed to take place in the different countries if no policy would take place.²³ The effects of the policy on emissions of other pollutants are not shown in the table, as the reductions are nearly stable throughout all three cases: EU-wide the actual reductions account for nitrooxide (NO_x) around 14%, for sulfur dioxide (SO₂) around 25%, for volatile organic compounds (VOC) around 9% and for particulates (PM) around 28% of the emissions in 1990.

Looking at the country-specific development of CO₂ emissions and the underlying emission reductions gives no clear answer to the welfare changes obtained under a particular rule. The reduction in Germany, for instance, is almost inelastic to the allocation rule, but welfare is highest under sovereignty and lowest (even negative) under ability-to-pay. While Austria or Belgium reduce more under sovereignty than under ability-to-pay, they realize a lower welfare impact under the former. For Greece and Portugal this relation is the other way round.

²¹ tC: ton of carbon, tCO₂: ton of carbon dioxide.

²² This will be made more obvious later on.

²³ As mentioned before, the growth assumptions follow the estimates given by the Pre-Kyoto Study of Capros et al. (1997b).

Hence, there is no clear relation between the burden a country obtains and the actual reduction effort undertaken.

Table 8-6: Welfare effect and emission reduction in the EU-member states

	Economic welfare*			CO ₂ emissions**		
	Sovereignty	Egalitarianism	Ability-to-pay	Sovereignty	Egalitarianism	Ability-to-pay
Austria	0,62%	0,62%	0,56%	-15,60%	-14,79%	-12,27%
Belgium	0,65%	0,26%	0,39%	-3,71%	-3,88%	-0,91%
Germany	0,36%	0,08%	-0,56%	-25,73%	-25,92%	-25,58%
Denmark	0,27%	-0,03%	0,34%	-6,66%	-7,74%	-3,42%
Finland	0,18%	0,19%	0,16%	16,81%	17,63%	20,26%
France	0,40%	0,40%	-0,36%	-9,90%	-9,16%	-9,34%
Greece	0,10%	0,13%	0,25%	16,83%	17,57%	19,89%
Ireland	1,29%	1,24%	1,00%	4,61%	5,45%	8,03%
Italy	0,26%	0,27%	-0,58%	1,36%	2,07%	1,37%
Netherlands	0,18%	0,22%	-0,10%	9,38%	10,09%	11,00%
Portugal	0,06%	0,10%	0,22%	38,21%	39,01%	41,34%
Spain	0,38%	0,37%	-0,72%	18,99%	19,76%	18,63%
Sweden	0,47%	0,31%	0,43%	14,15%	14,39%	17,18%
United Kingdom	0,17%	-0,29%	-1,28%	-17,23%	-18,39%	-20,00%
EU-14	0,32%	0,17%	-0,50%	-10,00%	-10,00%	-10,00%

* as percent of GDP

** observed in 2010 based on 1990

The weakness of this relation is driven by the cost-minimizing behaviour of firms and households, as the principal decision of reducing emissions or keeping (or buying) permits is not altered by the amount of free-of-charge permits obtained (opportunity costs, see above). But receiving fewer permits free-of-charge reduces the ability to use these rents for output price reductions. In this case, prices remain on high levels. Hence, the less permits a country receives initially, the more the distortionary impacts of the permit scheme resemble those of emission taxes. For countries that are affected considerably (i.e. those who receive little), an international permit scheme might be even worse than a national emission tax, as the refunds are going abroad in the former, while they are kept and spent within the country in the latter.

This mechanism explains the situation indicated by the simulation results. Germany, France, Italy, Spain and the United Kingdom receive almost no permits free-of-charge in the ability-to-pay allocation. The Netherlands get less than 50% of the 1990 emissions. All six countries show a welfare loss as no compensation due to free-of-charge permits is available. The increase in output prices leads to a sharp decrease in domestic demand. As Table 8-7 indicates, private consumption falls in particular in those countries which lose in terms of welfare (from 0.88% in the Netherlands to 5.37% in the United Kingdom). The same holds for the decrease in investment, which ranges from 0.44% in the Netherlands to 1.82% in the United Kingdom.

Table 8-7: Impacts on private consumption and private investment

	Consumption			Priv. Investment		
	Sovereignty	Egalitarianism	Ability-to-pay	Sovereignty	Egalitarianism	Ability-to-pay
Austria	0.64%	0.67%	0.65%	-0.30%	-0.19%	0.06%
Belgium	0.37%	-0.55%	-0.08%	-0.23%	-0.50%	-0.15%
Germany	-0.13%	-1.09%	-3.12%	-0.25%	-0.56%	-1.18%
Denmark	-0.34%	-1.63%	0.16%	-0.21%	-0.57%	0.09%
Finland	-0.24%	-0.19%	-0.11%	-0.21%	-0.17%	-0.08%
France	0.03%	0.14%	-2.46%	-0.41%	-0.34%	-1.00%
Greece	-0.24%	-0.16%	0.18%	0.18%	0.21%	0.30%
Ireland	1.91%	1.89%	1.56%	-0.13%	-0.04%	0.14%
Italy	-0.26%	-0.19%	-2.11%	-0.16%	-0.11%	-0.90%
Netherlands	-0.23%	-0.06%	-0.88%	-0.18%	-0.14%	-0.44%
Portugal	-0.68%	-0.56%	-0.18%	-0.84%	-0.74%	-0.40%
Spain	0.05%	0.05%	-3.46%	-0.12%	-0.09%	-1.68%
Sweden	0.34%	-0.24%	0.58%	-0.28%	-0.37%	0.09%
United Kingdom	-0.33%	-1.95%	-5.37%	0.25%	-0.40%	-1.82%
EU-14	-0.10%	-0.61%	-2.64%	-0.18%	-0.33%	-1.01%

Due to the drop in demand, domestic production for domestically produced goods and imports fall. Hence, there are two opposite effects on prices in the disadvantaged countries: The prices increase due to the purchase of permits but decrease due to the loss in demand. As the deflator of the GDP depicted in Table 8-8 indicates, the latter overcompensates the former effect in the welfare losing countries.

The price depression observed under the ability-to-pay allocation in the rich (and big) countries boosts exports (both intra- and extra-EU, see Table 8-9), which alleviates the negative effect on the GDP in the rich countries to some extent. In comparison to the trade effects of the sovereignty rule (drop of intra-EU trade by 5.74%, see Table 8-5), the differences in national price levels in the ability-to-pay allocation stimulate intra-EU trade (small increase by 0.15%). Nevertheless, the welfare impact is less positive even in some of those countries that are favoured by the allocation rule due to the spill-over effects originating from the dominating big countries.

The drop in demand in the rich countries under the ability-to-pay rule explains the differences in permit prices. Compared to the other allocation rules, production and domestic demand decrease in these countries due to the higher burden they have to carry. This loss in economic activity leads to a significant reduction of CO₂-emissions. The output effect in the rich (and big) countries reduces the emission reduction effort to be reached (directly) by the endogenous permit price. Hence, even though the emission target is the same for all allocation rules, the permit price can be lower in the ability-to-pay rule.

Table 8-8: Development of the GDP-deflator

	GDP-deflator		
	Sovereignty	Egalitarianism	Ability-to-pay
Austria	4.68%	4.11%	1.76%
Belgium	5.11%	2.28%	0.11%
Germany	3.94%	0.86%	-6.24%
Denmark	4.24%	1.10%	1.56%
Finland	3.49%	2.82%	0.60%
France	4.74%	4.29%	-5.45%
Greece	5.28%	4.68%	2.53%
Ireland	6.76%	5.84%	2.46%
Italy	3.97%	3.51%	-5.22%
Netherlands	2.01%	1.58%	-3.08%
Portugal	1.86%	1.45%	-0.50%
Spain	5.51%	4.72%	-8.30%
Sweden	5.00%	3.12%	2.00%
United Kingdom	3.51%	-0.52%	-9.30%
EU-14	4.14%	2.30%	-5.28%

Table 8-9: Impacts on foreign trade

	Exports			Imports		
	Sovereignty	Egalitarianism	Ability-to-pay	Sovereignty	Egalitarianism	Ability-to-pay
Austria	-4.53%	-4.21%	-3.11%	-1.97%	-1.75%	-1.12%
Belgium	-3.70%	-3.04%	-2.39%	-2.23%	-2.56%	-1.72%
Germany	-4.38%	-2.43%	2.18%	-1.84%	-2.40%	-3.22%
Denmark	-3.86%	-2.49%	-2.93%	-2.76%	-3.23%	-1.61%
Finland	-3.20%	-2.93%	-2.07%	-1.66%	-1.46%	-0.92%
France	-5.22%	-5.09%	1.95%	-2.23%	-1.96%	-3.14%
Greece	-5.29%	-5.04%	-4.40%	-1.99%	-1.79%	-1.02%
Ireland	-4.71%	-4.23%	-2.77%	-1.73%	-1.38%	-0.58%
Italy	-4.30%	-4.14%	1.64%	-2.77%	-2.53%	-3.75%
Netherlands	-1.59%	-1.54%	-0.37%	-1.24%	-1.04%	-1.05%
Portugal	-1.46%	-1.49%	-1.09%	-1.83%	-1.67%	-0.74%
Spain	-5.90%	-5.53%	4.07%	-2.70%	-2.53%	-5.03%
Sweden	-4.86%	-3.77%	-3.39%	-2.57%	-2.53%	-1.24%
United Kingdom	-3.14%	-0.73%	4.70%	-1.24%	-2.23%	-4.01%
EU-14	-5.73%	-4.37%	0.16%	-0.72%	-1.55%	-4.54%

8.11 Conclusion

Allocating the burden between parties is at the focus of interest in the international negotiation process on climate protection. As the review of equity rules exhibits, the range of principles and preferences that can be applied is wide. With respect to the self-interest of nations it is, therefore, no surprise that international agreements are difficult to attain. For a comparable

homogenous group of countries like the EU, the choice of the operational rule is less decisive. Nevertheless, the simulations undertaken with an EU-wide tradable permit scheme indicate that, even within the EU, the burden sharing issue matters. The ability-to-pay rule, which favours the poorer and puts the richer countries at a disadvantage, implies higher overall welfare costs for the EU than the sovereignty rule, where permits are grandfathered with respect to a uniform reduction rate. Certainly, this effect is linked to the weights given to the country-specific welfare. For the above computations no inequality aversion is applied, i.e. weights are uniform. On the other hand, the analysis of national impacts gives an insight that is not biased by this kind of evaluation: If big countries (i.e. countries that are powerful in terms of economic activity) are affected considerably, the interconnection of countries through bilateral trade might make the underlying burden sharing rule less attractive even for those countries which are favoured by the particular equity rule in terms of the initial allocation. This is the case for Austria, Finland, Ireland and Sweden under the ability-to-pay allocation. These countries would prefer an allocation according to the sovereignty rule, even though they would receive less permits in the initial allocation.

With respect to economic and environmental welfare, the sovereignty rule seems to be the most acceptable for an implementation of an EU-wide permit system. All countries show a positive welfare effect and the overall EU benefit is greater than under egalitarianism and ability-to-pay.

Another, more technical insight of the analysis is linked to the differences in permit prices observed. As the initial allocation of permits might hit domestic demand (and therefore production) considerably, emissions drop due to a reduction in output. The interaction of prices and volumes generates a much lower permit price under the ability-to-pay allocation than under sovereignty or egalitarianism. Hence, the evaluation of full general equilibrium effects seems to be crucial for a consistent assessment of alternative equity rules.

Appendix: Structure of the GEM-E3 model

The following brief description of the model is limited to the analytical specification. For data requirements and parameterization of both the economic model and the environmental module, see /Capros et al. 1997a/ or /Schmidt 1998/.

A.1 Production

The technology of a cost minimizing industry is characterized by nested CES cost functions. Figure 8-1 gives an overview of the nesting.

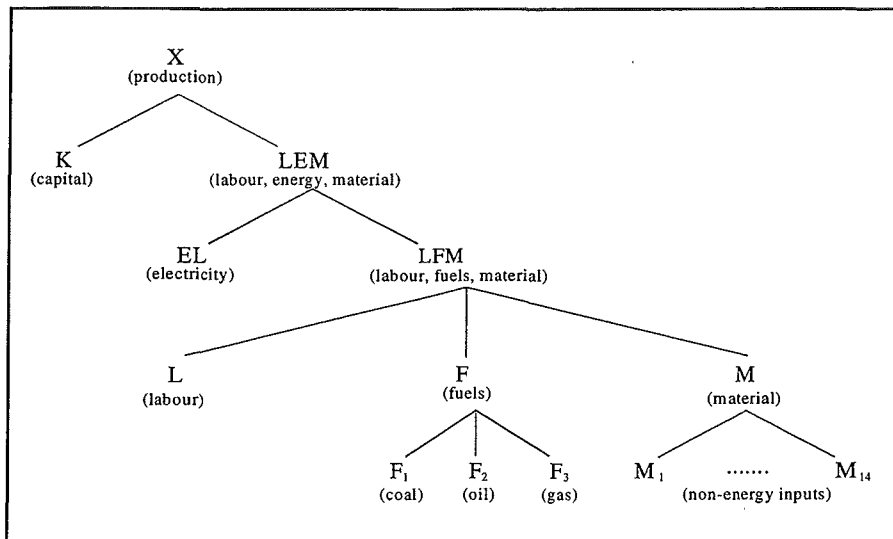


Figure 8-1: The nested production and factor price scheme

Using the dual formulation, the cost function $C(X, PK, PLEM, g)$ represents the first stage of the problem of the firm in which output X is produced given the input prices for capital, PK , and the labour/energy/material aggregate, $PLEM$, respectively. The price diminishing technical progress g is specified by exponential (exogenous) rates of diminution. This type of technical change considers autonomous (costless) energy efficiency improvements. Profit maximization under constant returns-to-scale (in the long-term) implies marginal revenues equal to marginal costs, which explains the output price PX of domestic production in terms of a CES unit cost function:

$$PX = PX(PK, PLEM, g) \quad (1)$$

Applying Shephard's Lemma yields the factor demand functions for K (capital) and LEM (aggregate labour, energy and materials).

Capital input as derived from (1) is the desired capital stock, say K_{des} . In the GEM-E3 model, however, we treat capital as a quasi-fixed stock over the current year at a level from the end of the previous year, say K_{-1} . Hence, the derived demand function for K can be used to determine an endogenous *ex post* price of capital based on a rate of return which the industry has earned *ex post*.

$$PK_{post} = PX \cdot f\left(\frac{X}{K_{-1}}, g\right) \quad (2)$$

PK_{post} is the endogenous shadow price of capital which clears the market for fixed K_{-1} . This price is used to calculate capital income $PK_{post} \cdot K_{-1}$ in period t .²⁴

Given an *ex ante* price of capital $PK_{ante} = PI \cdot (r + \delta)$, the factor demand function for K can be employed to determine the desired stock of capital K_{des} , where PI is the price of investment goods, r is the rate of return on risk-free government bonds (in the standard version of the model exogenously given) and δ is the rate of replacement.

Net investment I_{net} with 'adjustment' is given by

$$I_{net} = m(K_{des} - K_{-1}) \quad (3)$$

Finally, the capital stock for the next period is

$$K = I_{br} + (1 - \delta)K_{-1}, \quad (4)$$

where $I_{br} = I_{net} + \delta \cdot K_{-1}$ (gross investment).

Next, we specify a CES price function for the aggregate *LEM*:

$$PLEM = PLEM(PEL, PLFM, g), \quad (5)$$

where *PEL* is the price of electricity (*EL*) and *PLFM* an aggregation of the prices of labour (*L*), other fuels (*F*) and material (*M*).

One level further down of the nesting the unit cost function for the *LFM* aggregate has to be specified:

$$PLFM = PLFM(PL, PF, PM, g) \quad (6)$$

Again, we derive the *LFM* and *EL* aggregates as well as the price-dependent composition of the *LFM* aggregate from Shephard's Lemma. This yields the input coefficients for labour, the material aggregate and the fuels aggregate.

The final level is given by a CES-composition of these aggregates. The fuels aggregate consists of three fuel inputs (1,2,3: solid fuels, liquid fuels, natural gas), whereas the material aggregate considers fourteen non-energy inputs (5-18: (agriculture, ferrous and non-ferrous metals, chemical products, other energy intensive industries, electrical goods, transport equipment, other equipment goods industries, consumer goods industries, building and construction, telecommunication services, transports, services of credit and insurances, other

²⁴ It is easy to check that our calculation of PK_{post} is equivalent to calculating it from the zero profit condition.

market services, non-market services). The fourth sector (4) is the electricity sector specified already in equation (5).

$$PF = PF(P\tilde{Y}_1, P\tilde{Y}_2, P\tilde{Y}_3, g) \quad (7)$$

$$PM = PM(P\tilde{Y}_5, \dots, P\tilde{Y}_{18}, g) , \quad (8)$$

where $P\tilde{Y}_i$ denotes the price of domestic supply PY_i plus indirect taxes.²⁵

Again applying Shephard's Lemma yields the derivation of the input coefficients. By multiplying the input coefficient of the aggregates by the coefficients of their sub-inputs, one obtains the overall input coefficients a_i with respect to the domestically produced supply. These input coefficients depend on relative prices of inputs.

A.2 The foreign trade specification

The Armington approach is applied to the modelling of intra-industry foreign trade between the EU-member countries: domestically produced goods and imports from different countries are imperfect substitutes. Imposing a CES-structure for the domestic supply Y_c in country c composed by domestic production (for domestically demanded goods) XD_c and imports IM_c gives the following unit cost function.²⁶

$$PY_c = \left(c_x \cdot PXD_c^{1-\sigma_x} + (1 - c_x) \cdot PIM_c^{1-\sigma_x} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_x}} , \quad (9)$$

where $\sigma_x > 0$ is the elasticity of substitution, c_x a distribution parameter and PY_c , PXD_c , and PIM_c are the corresponding prices of Y_c , XD_c , and IM_c (price of aggregated imports is in national currency of country c). From this cost function we derive both the share of domestic production (for domestically demanded goods) and the share of imports in total supply (again by applying Shepard's Lemma).

If the model determines total domestic supply, then we have to allocate aggregate import demand, derived from (9), to the 14 (considered) EU-member states and to the rest of the world (*row*) who contribute to this aggregate import demand. Thus, considering a specific good, the imports of country c consist of the exports of the other 13 countries in that good. Therefore, the demands for the 18 goods are also distinguished by place of production. Specifying a CES import unit cost or price function yields (Shepard's Lemma) a matrix of bilateral trade flows $IMP_{c,k}$ with 14 x 15 import demand functions by good and place of production (15 = *row*), where $IMP_{c,c} = 0$.

²⁵ See also equation (9).

²⁶ Note that XD_c is the production for the domestic market only.

$$PIM_c = \left(\sum_{k=1}^{15} c_{m,k} \cdot PIMP_{c,k}^{1-\sigma_m} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_m}}, \quad c = 1, \dots, 14, \quad (10)$$

where $PIMP_{c,k}$ is the price of imports coming from country k in currency of country c . As there are import taxes and duties (t_{dut}), it is $PIMP_{c,k} = (1 + t_{c,k,dut}) \cdot PEX_{k,c} \cdot e_c / e_k$, where all exchange rates are in national currency per ECU and $PEX_{k,c}$ is equal to the price of domestic supply in country k including subsidies, if applicable, i.e. $PXD_k = (1 + t_{k,sub}) \cdot PX_k$. Given the price index PIM_{row} and the exchange rates $e_{row,c}$, the fifteen prices PIM_c can be calculated.

The country specific imports $IMP_{c,k}$ have to match the export demand by definition, i.e.

$$EXP_{k,c} = \frac{IMP_{c,k} \cdot e_k}{e_c} \quad (11)$$

Aggregation yields the export demand in country c .

$$EXP_c = \sum_k EXP_{c,k} \quad (12)$$

Without price discrimination on the suppliers' side, domestically produced goods are supplied at the same price, no matter what the origin of demand is (i.e. domestic demand or exports).²⁷ Hence, the equations (9) to (12) and the corresponding prices $PXD_c = PEX_c = (1 + t_{c,sub}) \cdot PX_c$ describe the entire system of foreign trade.

To determine the import demand of the rest of the world (row), we proceed as in equations (9) and (10) by choosing the index row instead of c . Assuming fixed world market prices PX_{row} and exogenously given output levels of the rest of the world X_{row} , yields the import demand functions of the rest of the world.²⁸

As the nominal exchange rates are assumed to be exogenous, the current account is not balanced. Depending on the scenario to be simulated, the current account might increase or decrease and even change the sign.²⁹

²⁷ Another model version incorporates a constant elasticity of transformation (CET). There, suppliers (i.e. firms) maximize their profits by selling their products to different markets with different prices (see Schmidt 1998).

²⁸ One of these world prices serves as the numéraire.

²⁹ Other model versions with constraints on the current account are available but were not used for the study presented above.

A.3 Consumer demand and labour supply

The behaviour of consumers is assumed to perform a two-stage budgeting procedure: an intertemporal allocation of lifetime wealth endowment between present and future consumption of goods and leisure, and an intratemporal allocation of total consumption of goods into durable and non-durable goods. Figure 8-2 shows the household's allocation problem.

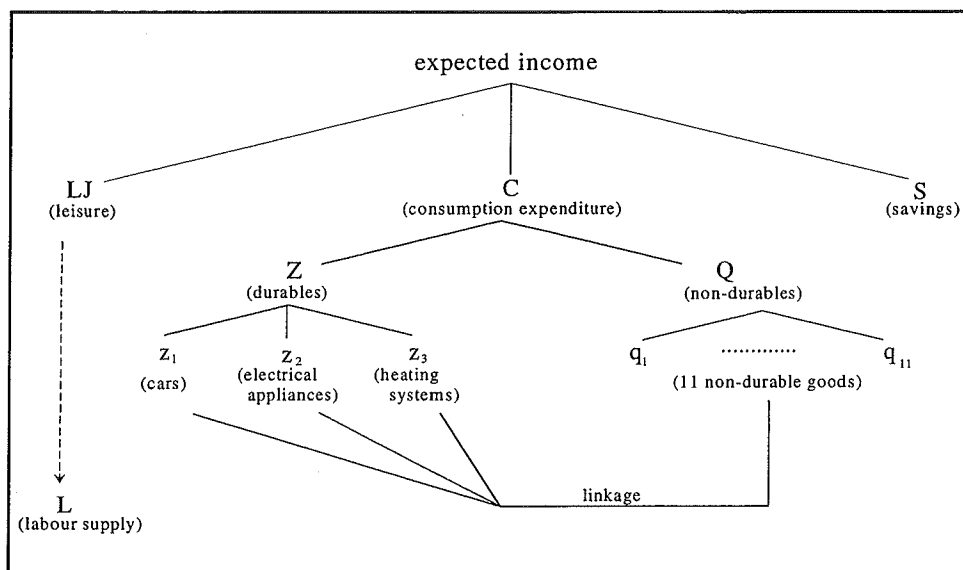


Figure 8-2: The household allocation scheme

The representative household determines an allocation of his resources between present and future consumption by maximizing an intertemporal utility function subject to an intertemporal budget constraint:³⁰

$$\max_{C_t, LJ_t} \sum_t (1+s)^{-t} (\beta_c \ln(C_t - C_0) + \beta_{LJ} \ln(LJ_t - LJ_0)) \quad (13)$$

$$\text{s.t. } WT = \sum_t (1+r)^{-t} (PC_t \cdot C_t + PLJ_t \cdot LJ_t),$$

where WT is present value of wealth. C_t is private consumption in volume, C_0 its subsistence level, LJ_t is leisure (in volume) and LJ_0 its subsistence level, s is the subjective discount rate and r is the nominal interest rate. The price of leisure is $PLJ = (1 - t_{hss} - t_{fss}) \cdot (1 - t_{hdir}) \cdot w^{nom}$, where t_{hdir} is the marginal direct tax rate for labour income and t_{hss} and t_{fss} are the contribution

³⁰ β_c and β_{LJ} are normalized so as to sum to one.

rates of employers and employees to social security. Under myopic expectations and the assumption of constant and equal growth rates for inflation and the nominal wage rate, the Fisher relation can be used to reduce the demand functions for consumption and leisure to the following formulas:³¹

$$C = C_0 + \frac{s}{r_r} \left(\beta_c \frac{1}{PC} \right) (Y_{disp} + PLJ \cdot LJ - PC \cdot C_0 - PLJ \cdot LJ_0) \quad (14)$$

$$LJ = LJ_0 + \frac{s}{r_r} \left(\beta_{LJ} \frac{1}{PLJ} \right) (Y_{disp} + PLJ \cdot LJ - PC \cdot C_0 - PLJ \cdot LJ_0), \quad (15)$$

where r_r is the real long-term interest rate which is assumed to be constant in the standard version of the model.³²

The last equation is implicit in LJ and has to be solved for LJ . Labour supply is given by the remaining time resources, i.e. total time resources minus leisure demand. In the standard neo-classical version of the model, the wage rate serves to match labour demand of firms and leisure demand of households.

The savings of households can then be determined by $S = Y_{disp} - PC \cdot C$.

Two types of consumption expenditure are distinguished: the expenditure for non-linked, non-durable goods (e), which is allocated on the second stage of the consumer decision problem and the expenditure for the use of durables (this covers capital costs and demand for linked non-durables associated with the use of durables).

Demand for linked non-durables and demand for services from durables have to be reconciled with investment demand for modifying the stocks of durables towards their optimal levels. We, therefore, employ a restricted expenditure function with stocks of durables as quasi-fixed goods. The expenditure function is derived from the Stone-Geary utility function, which underlies the linear expenditure system.

$$e = e(p_1, \dots, p_m; u; Z_1, Z_2) = \sum_{i=1}^m p_i \cdot Q_{0,i} + u \cdot \prod_{j=1}^2 (Z_j - Z_{0,j})^{\gamma_j} \cdot \prod_{i=1}^n \left(\frac{p_i}{\beta_i} \right)^{\beta_i}, \quad (16)$$

where we denote the prices of consumption categories p_i by small letters to indicate that they do not directly match prices of products $P\tilde{Y}_i$. The variable u is the utility level, $Q_{0,i}$ is the minimum required quantity of good i , $Z_{0,j}$ is the minimum required quantity of a durable good j , and $\sum p_i \cdot Q_{0,i}$ is 'subsistence expenditure'. The expenditure minimizing demand for non-

³¹ See Schmidt (1998) for a complete representation of the derivation.

³² The long-term interest rate is endogenised if the constraint of a balanced current account is imposed (other version of the model).

durable goods, given utility u and the stocks of the durables, can be derived by partial differentiation of the expenditure function pertaining to the prices:

$$Q_i = Q_{0,i} + \frac{\beta_i}{p_i} \left(e - \sum_{i=1}^m p_i \cdot Q_{0,i} \right), \quad i = 1, \dots, m \quad (17)$$

The desired stocks of durables and the *ex post* service prices of durables can be derived in an analogous way as used for the restricted cost function approach. With an exogenous *ex ante* user cost of durables p_{Z_j} , the desired stock follows from

$$\begin{aligned} \frac{\partial e(\cdot, \tilde{Z}_j)}{\partial Z_j} &= -p_{Z_j}, \quad i.e. \\ \tilde{Z}_j &= Z_{0,j} + \frac{\gamma_j}{p_{Z_j}} \left(e - \sum_{i=1}^m p_i \cdot Q_{0,i} \right) \end{aligned} \quad (18)$$

Purchases of new durables under partial adjustment restrictions ($0 < \tilde{m}_j \leq 1$) are:

$$I_{Z_j}^{net} = \tilde{m}_j \cdot (\tilde{Z}_j - Z_{-1,j}) \quad (19)$$

We finally obtain the total consumer expenditures $PCE \cdot CE$ including both non-durables and the services from durables:

$$PCE \cdot CE = \sum_{i=1}^m p_i \cdot Q_i + \sum_{j=1}^3 p_{Z_j} \cdot (Z_{-1,j} + I_{Z_j}^{net}) \quad (20)$$

As some non-durable goods such as fuels and power are linked to the stock of durables, we use a composition of these goods into a linked part and into a disposable part. The idea behind such a composition is that demand for gasoline (Q_G) is linked to the use of the stock of automobiles (Z). Or, in algebraic terms, $Q_G = \alpha_{G,Z} \cdot Z + \tilde{Q}_G$, where $\alpha_{G,Z}$ is yearly gasoline consumption per unit of purchase price of the car and $\tilde{Q}_G$ is gasoline consumption from fast driving or bad maintenance of the car.³³ The latter is considered to be a part of the non-linked non-durables and is therefore not further specified. The user concept for durables implies a cost price p_Z of the services of, for example, an automobile which includes the user cost of capital ($PI(r + \delta)$) plus the cost of gasoline, i.e. $\tilde{p}_Z = PI(r + \delta) + \alpha_{G,Z} \cdot p_G$. The introduction of a tax on CO₂ or NO_x will increase the price of gasoline. Hence, the user cost of an already purchased car will increase while the demand for new cars will decline.

³³ For more details see Conrad and Schröder (1991).

For a guess-estimation of the parameters $Q_{0,i}$, β_i and γ_i , we make use of the properties of a linear expenditure system. From guess-estimates of n income elasticities one obtains the n parameters β_i and from guess-estimates of n direct price elasticities one obtains the n parameters $Q_{0,i}$, given the β_i 's (and similarly for the parameters of the durables).

A.4 Demand, supply and model closure

Since our demand system determines consumption goods by categories and our system of investment functions determines investment demand by destination, transition matrices are required to transform demand into deliveries from the industries. Therefore, the final demand has to be seen as the result of the transition matrix of the type (branches $\times$ categories) multiplied by the consumption categories. Similar to the matching of consumption categories to products, an investment matrix with fixed technical coefficients serves to compute investment demand by origin (products) from investment demand by destination (branches) as evaluated from the investment behaviour in (5) and (6), together with investment for replacement and decay, i.e. $\delta \cdot K_{-1}$.

The national accounting identity which expresses that the private gross domestic production from both the flow of cost approach and the flow of product approach should be equal, is satisfied if and only if total saving, involving income distribution and fiscal policy relationships, equals total investment. Following Walras' Law, this market ($n+1$) is in equilibrium if an equilibrium price vector has been found for the other n markets (supposing that the demand, supply and price functions are specified according to the needs of an Arrow-Debreu economy). Therefore, the saving-investment identity ($I=S$) and the corresponding global shadow price of capital (mobility of (new) capital between sectors but not across countries is assumed) is automatically given.

A.5 The environmental module in GEM-E3

The scope of the environmental issue considered is limited to the primary pollutants nitrooxides (NO_x), sulfur dioxide (SO_2), volatile organic compounds (VOC), particulates (PM10) and carbon dioxide (CO_2), and the secondary pollutants ozone (O_3), sulphur (S) and nitrates (N). These emissions are calculated in linear relation to the use of primary energy inputs, i.e. solid fuels, liquid fuels and natural gas. The consideration of transboundary air pollution and the computation of secondary pollutants yields concentration and/or deposition figures per pollutant and country. These figures serve as input of the evaluation of damages, which in turn are used for an integrated *ex post* assessment of a particular policy.

For SO_2 , NO_x and VOC, end-of-pipe abatement cost functions $c^{ab}(a)$ are specified explicitly. Policy induced abatement measures (i.e. the degree of abatement a) but also emission/energy pricing through taxes increase the cost price of using pollution-intensive inputs.

This changes price relations and the derived demand for intermediates and final consumption. To include these aspects, we rewrite the price of pollution-intensive inputs:

$$PFU_{i,s} = (1 + t_{i,s}) \cdot PY_i + c_s^{en} \cdot ec_i \cdot \chi_{i,s} + \sum_p \left[\left[(1 - a_{p,s}) \cdot c_{p,s}^{ef}(a_{p,s}) + a_{p,s} \cdot c_{p,s}^{ab}(a_{p,s}) \right] \cdot ef_{p,i,s} \cdot \mu_{i,s} \right], \quad (21)$$

where

c_s^{en} : tax on energy,

ec_i : coefficient for energy content of energy input i (equal across sectors),

$\chi_{i,s}$: share of energy related use of input i in sector s ,

$ef_{p,i,s}$: emission factor for pollutant p using input i in sector s ,

$ef_{p,i,s} = 0$ for $i \neq$ emission causing energy input,

$\mu_{i,s}$: share of energetic use of demand of input i in sector s ,

$\alpha_{i,s} \cdot X_s$: intermediate demand of input i for output X_s in sector s .

A similar specification is used for the price of linked non-durable goods in private consumption. Inserting these prices in equation (7) or the user cost of durables and maximizing profits or utility yields both the policy-induced changes in (intermediate or final) demand and the optimal degree of end-of-pipe abatement.³⁴ The sectoral expenditures for end-of-pipe abatement is split in demand addressed to delivery sectors through fixed coefficients. These inputs are added to intermediate demand of the sector and are priced as all other intermediate deliveries.

A.6 Welfare measure

The welfare change used for the evaluation of policy scenarios is represented by Hicks' measure of equivalent income variation (EV). The EV is based on the intertemporal utility maximization problem and has to be derived from equations (13) - (15). In a single period t we have

$$EV_t = FE(PC_t^0, PLJ_t^0, U_t^1) - FE(PC_t^0, PLJ_t^0, U_t^0), \quad (22)$$

where FE is the expenditure function corresponding to (13) - (15). U_t^1 and U_t^0 indicate the utility levels observed in the policy (1) and the reference (0) scenarios. EV gives the change in expenditure at base case prices PC^0 and PLJ^0 that would be equivalent to the policy-implied change in utility. In order to derive the expenditure function from the utility function, we

³⁴ For further details see Schmidt (1998).

insert the demand functions (14) and (15) into the utility function (13), and solve for the level of utility, say U_t :

$$U_t = \beta_c \cdot \ln\left(\frac{\beta_c \cdot s}{PC_t \cdot r_r}\right) + \beta_L \cdot \ln\left(\frac{\beta_L \cdot s}{PLJ_t \cdot r_r}\right) \cdot \ln(FE_t - PC_t \cdot C_0 - PLJ_t \cdot LJ_0), \quad (23)$$

where FE_t is total expenditure, i.e. $FE_t = Y_{disp,t} + PLJ_t \cdot LJ_t$.

Solving equation (23) for FE_t gives the expenditure function used in (22) to determine EV :

$$FE_t(PC_t, PLJ_t, U_t) = \exp\left(U_t - \ln\left[\left(\frac{\beta_c}{PC_t}\right)^{-\beta_c} \cdot \left(\frac{\beta_L}{PLJ_t}\right)^{-\beta_L} \cdot \left(\frac{s}{r_r}\right)\right]\right) + PC_t \cdot C_0 + PLJ_t \cdot LJ_0.$$

The utility level U_t is calculated from the t^{th} element of the sum of utilities in (13). To aggregate the stream of welfare gains (or losses) of the entire time horizon, a present value operator is applied. The overall welfare effect of the policy is then

$$EV^{TOT} = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+s)^t} \cdot \left(e^{U_t^1 - \eta_t^0} - e^{U_t^0 - \eta_t^0}\right) \cdot \left(\frac{PC_0^0}{PC_t^0}\right)^{\beta_c} \cdot \left(\frac{PLJ_0^0}{PLJ_t^0}\right)^{\beta_L},$$

where η_t^0 is a function of some reference run data.³⁵

If $EV^{TOT} < 0$, welfare after the policy measure is lower than in the reference case. The consumer would be willing to pay the maximum amount EV^{TOT} at the fixed budget level FE^0 to avoid the decline of utility. Similarly, if $EV > 0$, the consumer would be willing to pay up to EV^{TOT} to see the policy implemented.

References

/Banuri et al. 1996/

³⁵ See Schmidt (1998) for a complete representation of the derivation.

T. Banuri, K. Göran-Mäler, M. Grubb, H.K. Jakobson, F. Yamin : Equity and Social Considerations, in: J. P. Bruce, L. Hoesung, E.F. Haites et al.: Climate Change 1995. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge MA, pp. 83-124, 1996

/Bertram 1996/

I. G. Bertram: Tradable Emission Quotas, Technical Progress and Climate Change, in: Environment and Development Economics. Vol 1, Part 4, pp. 465-487, 1996

/Capros et al. 1997a/

P. T. Capros, T. Georgakopoulos, D. Van Regemorter, S. Proost, T.F.N. Schmidt, K. Conrad: European Union: the GEM-E3 General Equilibrium Model, in: Economic & Financial Modelling, Special Double Issue, Vol. 4, No. 2&3, pp. 51-160, 1997

/Capros et al. 1997b/

P. T. Capros et al. : Pre-Kyoto Study, mimeo, National Technical University of Athens, 1997

/Conrad, Schmidt 1997/

K. Conrad, T.F.N. Schmidt: Double Dividend of Climate Protection and the Role of International Policy Coordination in the EU - An Applied General Equilibrium Analysis with the GEM-E3 Model', Paper presented at the international workshop 'Man Made Climate Change - Economic Aspects and Policy Options', forthcoming in: Hohmeyer, O. and K. Rennings (eds.), Physika, Heidelberg, 1997

/Conrad, Schröder 1991/

K. Conrad, M. Schröder: Demand for Durables and Nondurable Goods, Environmental Goods and Consumer Welfare, in: Journal of Applied Econometrics, Vol. 6, p. 271-286, 1991

/EC 1997/

EC: Meeting Document, CONS/ENV/97/1 REV 1, General Secretariat of the Council, Bruxelles, 3 March, 1997

/EIS 1997/

EIS : European Commission: Communication on the Energy Dimension of Climate Change, in: European Information Service (EIS), document supplement to European Environment no. 500 - May 27, 1997

/Endres 1996/

A. Endres : Designing a Greenhouse Treaty: Some Economic Problems, in: Eide, E. and R. van den Bergh (eds.), *Law and Economics of the Environment*, Oslo, pp. 201-224. EUROSTAT (1994), *Statistische Grundzahlen der Gemeinschaft*, Luxemburg, 1996

/Krumm 1995/

R. Krumm: *Internationale Umweltpolitik: eine Analyse aus umweltökonomischer Sicht*. Berlin, Heidelberg, 1995

/Manne, Richels 1995/

A. Manne, R. Richels : The Greenhouse Debate: Economic Efficiency, Burden Sharing and Hedging Strategies, in: *The Energy Journal*, Vol. 16, No. 4, pp. 1-37, 1995

/Rose 1990/

A. Rose: Reducing Conflict in Global Warming Policy. The potential of equity as a unifying principle, in: *Energy Policy*, Vol. 18, No. 10, pp. 927-935, 1990

/Rose, Stevens 1996/

A. Rose, B. Stevens: Equity Aspects of the Marketable Permits Approach to Global Warming Policy, Paper presented at the Seventh Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economics, June 1996, Lisbon, Portugal, 1996

/Schmidt 1998/

T. F. N. Schmidt: Integrierte Bewertung umweltpolitischer Strategien in Europa: Methoden, eine AGE-Modellentwicklung und Simulationsanalysen, forthcoming, 1998

/Tinbergen 1952/

J. Tinbergen: *On the Theory of Economic Policy*, Amsterdam, 1952

H. Welsch: A CO₂ Agreement Proposal with Flexible Quotas, in: *Energy Policy*, Vol. 21, No. 7, pp. 748-756, 1993

9 Emissionsminderungsstrategien für die Bundesrepublik Deutschland unter Einschluß von Kompensationsprojekten

M. Wietschel, A. Ardone, W. Fichtner, M. Göbelt, O. Rentz
Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)
Universität Karlsruhe

9.1 Einleitung

In der Klimarahmenkonvention von 1992 und dem dazugehörigen Kyoto-Protokoll von 1997 wurde eine weltweite Reduzierung bzw. Stabilisierung von Treibhausgasemissionen für die meisten der vertretenen Industrienationen beschlossen. Um neben der ökologischen auch eine ökonomische Effizienz gewährleisten zu können, wird es den Vertragsstaaten gestattet, zur Erreichung der Minderungsvorgaben zu kooperieren. Vertragsstaaten bzw. Unternehmen, auf die die nationalen Verpflichtungen gegebenenfalls heruntergebrochen werden, können Emissionsgutschriften auf eigene Verpflichtungen erhalten, wenn durch nachprüfbare und zusätzliche Maßnahmen in Zusammenarbeit mit anderen Staaten Treibhausgasemissionen reduziert werden. An dieses umweltpolitische Instrument Joint Implementation werden hohe Erwartungen geknüpft, da hierdurch die potentiellen regionalen Kostenunterschiede bei einer Emissionsreduzierung ausgenutzt werden können, ohne die nationale Souveränität bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Klimavorsorge aufzugeben. Im Gegensatz zu JI wird bei einem Emissionsrechtehandel ein länderübergreifendes System frei handelbarer Emissionsrechte geschaffen.

Die Zielsetzung der vorliegenden Studie ist es zu analysieren, in welchem Maße eine Zusammenarbeit mit Drittländern dazu beiträgt, nationale Minderungsziele unter wirtschaftlichen Kriterien effizienter erreichen zu können. Weiterhin ist zu prüfen, welche Anforderungen an die Ausgestaltung des Instrumentes Joint Implementation zu stellen sind, damit eine erfolgreiche Umsetzung möglich ist. Für die Bundesrepublik Deutschland sind unter diesen Zielsetzungen Strategien zur Minderung der CO₂-Emissionen in Zusammenarbeit mit der Russischen Föderation und Indonesien zu entwickeln und zu bewerten.

Im folgenden wird zuerst auf eine Reihe von Problemen bei der Umsetzung des JI-Konzeptes eingegangen und mögliche Lösungswege diskutiert sowie Erfahrungen bei der Umsetzung mit JI-Projekten ausgewertet. Daran schließt sich die Beschreibung des methodischen Instrumentariums an, daß aus einem Energie- und Stoffflußmodell sowie einer Modellkopplung besteht. Auf dessen Basis werden sowohl nationale Minderungsstrategien wie multinationale Strategien entwickelt und analysiert. Nach einer Diskussion von Senken als JI-Optionen endet der Beitrag mit einer Zusammenfassung.

9.2 Probleme und Lösungsansätze bei JI sowie erste Erfahrungen bei JI-Projekten

Im Rahmen der Analyse von grundlegenden Fragestellungen des JI-Konzeptes und möglicher Lösungsansätze ergibt sich, daß vor allem die Bestimmung einer nachvollziehbaren und damit transparenten Baseline die Umsetzbarkeit und Akzeptanz des Instrumentariums JI entscheidend beeinflusst. Der wegen seiner einfachen Umsetzbarkeit häufig priorisierte „projektspezifische Ansatz“ birgt einige methodische Schwachpunkte hinsichtlich einer realitätsnahen und belastbaren Abbildung der vermiedenen Emissionen. Die in der vorliegenden Studie entwickelte Methodik der Bestimmung einer Baseline auf Basis eines optimierenden Energie- und Stoffflußmodells genügt den Anforderungen nach Transparenz und Belastbarkeit und kann somit einen entscheidenden Beitrag zur Operationalisierbarkeit des Kompensationsansatzes innerhalb der Klimarahmenkonvention liefern. Bei diesem Ansatz ist die Baseline bzw. Referenzentwicklung für das jeweilige Land durch eine hinsichtlich des Kriteriums der Ausgabenminimierung optimierte Strategie ohne die Vorgabe von Emissionsminderungszielen gegeben.

Darüber hinaus können mit Hilfe von Energie- und Stoffflußmodellen Aussagen über die Einordnung spezifischer Projekte als No Regret Maßnahmen getroffen werden. Allerdings sind die Rahmenbedingungen für eine solche Klassifizierung aufgrund fehlender allgemein akzeptierter Kriterien zur Beurteilung von Maßnahmen als No Regret Optionen derzeit nicht gegeben und es ist kaum zu erwarten, daß solche im internationalen Verhandlungsprozeß kurzfristig festgelegt werden können.

Bisher fehlen ökonomische Anreize zur Durchführung von JI-Projekten, die zwingend notwendig für einen Erfolg des gesamten Konzeptes sind. Bezüglich der Schaffung von möglichen (finanziellen) Anreizen ist festzustellen, daß die Einführung von Anreizsystemen wie Treibhausgas- bzw. CO₂-Steuern/Abgaben oder einem nationalen Emissionsrechtehandel sowohl national als auch international zur Zeit nicht absehbar ist. In Deutschland scheint daher die derzeit wahrscheinlichste Lösung in der Anrechnung von JI-Projekten auf die Selbstverpflichtungserklärungen der Industrie zur Klimavorsorge zu liegen.

Die Auswertung von im Rahmen der Pilotphase „Activities Implemented Jointly“ (AIJ) durchgeführten Aktivitäten ergibt in Hinblick auf die Anzahl der durchgeführten Projekte eine klare Dominanz von Maßnahmen auf der Energieangebotsseite, insbesondere im Bereich der zentralen Bereitstellung von Elektrizität und Wärme (siehe Abbildung 8-1). Danach folgen Projekte zur Bindung von CO₂, hauptsächlich durch (Wieder-) Aufforstung und Waldmanagement. Betrachtet man die bei den bisherigen AIJ/JI-Projekten erzielte absolute Treibhausgasminderung, so dominieren allerdings die Senkenoptionen (siehe Abbildung 9-2).

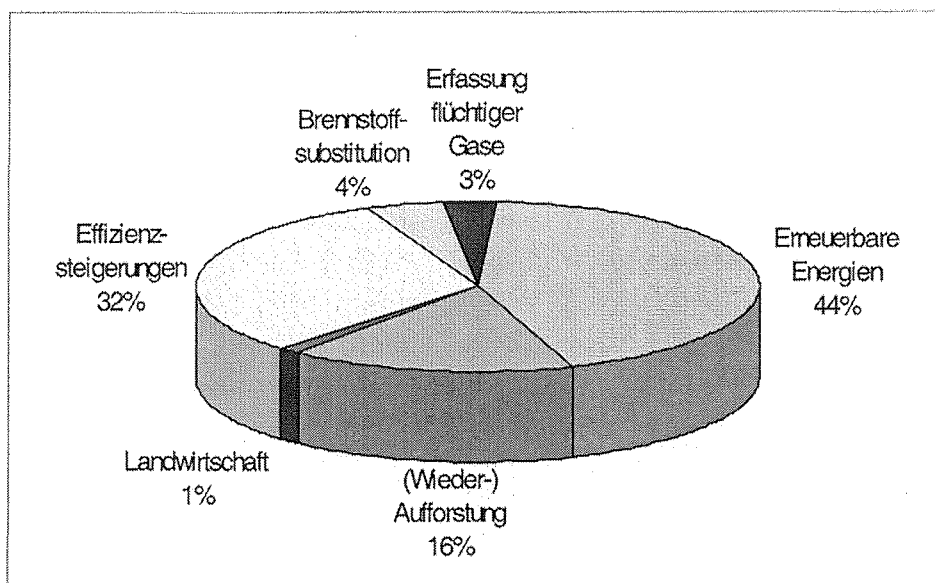


Abbildung 9-1: Anerkannte AII-Projekte nach Projekttypen

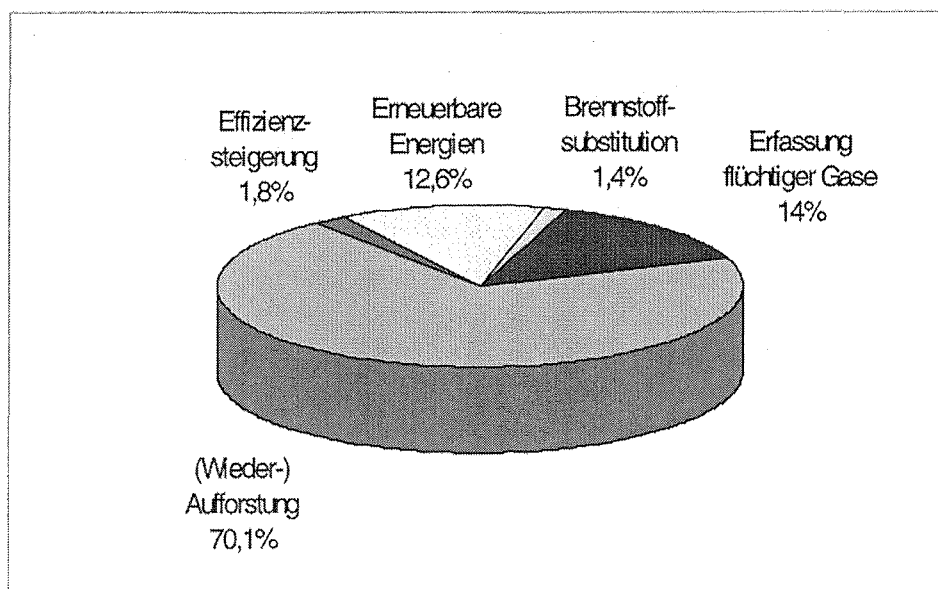


Abbildung 9-2: Treibhausgasminderung nach Projekttypen

Bezüglich der sich aus den Pilotprojekten ergebenden Kosten^{36, 37} für die geminderte Tonne CO₂ (bzw. CO₂-Equivalent) - soweit sie sich aus den Angaben der Projektpartner bestimmen lassen - ergibt sich folgendes Bild. Niedrige Minderungskosten ergeben sich für (Wieder-) Aufforstungsprojekte, sie liegen bis auf eine Ausnahme zwischen 0,04 und knapp 7 \$/t CO₂-Equivalent (Durchschnitt: 1,80 \$/t CO₂). Bei den Projekten im Bereich der Energieversorgung werden für die Projekte zur Umstellung auf Biomassefeuerung durchschnittlich Kosten von rund 8 \$/t CO₂ angegeben. Weniger kosteneffizient ist die Verwendung anderer erneuerbarer Energieträger, für die Windkraft werden Kosten zwischen rund 33 \$/t CO₂ und 266 \$/t CO₂ (durchschnittlich ca. 166 \$/t CO₂) genannt. Für die beiden Wasserkraft-Projekte liegen die Minderungskosten bei 16,5 sowie 133 \$/tCO₂. Für Projekte zur Brennstoffsubstitution auf der Angebotsseite werden im Mittel Kosten von rund 16,5 \$/t CO₂ angegeben. Projekte zur Effizienzsteigerung bei der Fernwärmeversorgung weisen mit durchschnittlichen Kosten von etwa 50 \$/t CO₂ vergleichsweise hohe Ausgaben auf. Im Bereich der Energienachfrage liegen die mittleren Kosten mit über 100 \$/t CO₂ dagegen vergleichsweise hoch.

Eine wichtige Thematik in Hinblick auf die ökonomische Effizienz von Kooperationsprojekten ist der Einfluß von Transaktionskosten sowie Kosten einer Risikoabsicherung. Bisher existieren sowohl innerhalb der Theorie der Transaktionskosten in Verbindung zum Umweltschutz sowie in Abgrenzung zu Kosten einer Absicherung gegen Projektrisiken Defizite. Dies führt u. a. dazu, daß belastbare und übertragbare Ansätze zur Quantifizierung dieser Kosten weitgehend fehlen und - wenn sie vorliegen - kaum vergleichbar sind. Dies ist ein wesentliches Element der Unsicherheit in Zusammenhang mit einer Beurteilung des Instrumentes II und kann ein bedeutsames Investitionshemmnis für II-Projekte darstellen. Zukünftig sollte übergeordnet zwischen Transaktions- und Risikokosten differenziert und innerhalb der Transaktionskosten weiterhin nach dem Anfall der Kosten in den öffentlichen Bereich (politischen Transaktionskosten) und den privaten Bereich (Markttransaktionskosten, die im weitesten Sinne betrieblichen Vertriebskosten entsprechen) getrennt werden. Die anfallenden Risiken sollten in technische, wirtschaftliche und externe Risiken strukturiert und zu deren ökonomischen Bewertung alternative Formen der Absicherung herangezogen werden.

³⁶ Eine begriffliche Abgrenzung des Begriffs Kosten (z. B. gegenüber Aufwand oder Auszahlungen) wird in den meisten Quellen nicht vorgenommen, weshalb hier keine nähere Spezifizierung erfolgen kann.

³⁷ Hierbei ist anzumerken, daß die Kosten in US-\$ angegeben werden, da sich bei der Mehrzahl der Angaben kein Zeitpunkt, auf den sich eine Umrechnung beziehen könnte, findet. Dadurch bedingt können sich auch Verzerrungen aufgrund von Diskontierungs- und Inflationseffekten ergeben. Da zusätzlich die im Rahmen der Pilotphase noch nicht eindeutig geregelte Problematik der Bestimmung der Baseline großen Einfluß auf die Höhe der sich ergebenden Minderungskosten hat, können die Betrachtungen lediglich Anhaltspunkte hinsichtlich der Größenordnungen, in denen sich die Minderungskosten bei den verschiedenen Projekttypen bewegen, geben. Die Kostenberechnungen basieren auf Angaben der Projektpartner [UNFCCC 1997a].

Das in bisherigen Studien vernachlässigte Risiko einer fehlgeschlagenen Projektakquisition scheint nach Auswertungen von verschiedenen Projekten eines der bedeutendsten Risiken zu sein.

Nach den durchgeführten Analysen liegen Transaktions- und Risikokosten zwischen 10 und 30 % der gesamten Produktionskosten, wobei diese Zahlen primär für Projekte der Energieangebotsseite und Senken gelten. Bei nachfrageseitigen Maßnahmen ergeben sich noch höhere Werte.

9.3 Die Methodik zur Entwicklung nationaler sowie multinationaler Emissionsminderungsstrategien

Für nationale Emissionsminderungsstrategien wird ein nach dem Zielkriterium der Ausgabenminimierung optimierendes Energie- und Stoffflußmodell (PERSEUS-NAT³⁸) konzipiert und eingesetzt. In dem Modell werden nach einem Bottom-Up-Ansatz mögliche technische Minderungsoptionen abgebildet und miteinander verknüpft, so daß Rückwirkungen der einzelnen Maßnahmen aufeinander beachtet und in sich konsistente, nationale Minderungsstrategien bis zum Jahre 2025 nach einer normativen Ausrichtung entwickelt werden können. Hierdurch wird der für die Beurteilung von JI wichtige Anlagenbezug hergestellt. Weiterhin wird diese Methodik entwickelt und eingesetzt, um damit eine transparente Baseline zu bestimmen, was in bisherigen Studien sowie bei der praktischen Umsetzung von JI eines der zentralen Probleme darstellte. Bei Anwendung der Methodik wird das für die Erreichung von Emissionsminderungszielen entscheidende Kriterium der Zusätzlichkeit sichergestellt.

Um in nationale Strategien auch internationale Kompensationsansätze integrieren zu können, werden die nationalen Energie- und Stoffflußmodelle über einen Dekompositionsalgorithmus miteinander verknüpft. In einem iterativen Prozeß werden dabei die Grenzausgaben für eine CO₂-Minderung in der Bundesrepublik Deutschland, die den Nachfragepreis nach Kompensationsprojekten wiedergeben, und die Grenzausgaben einschließlich von Transaktions- und Risikokosten für eine CO₂-Minderung in den JI-Gastgeberländern, die den Angebotspreis darstellen, in ein Gleichgewicht gebracht. Zur ausführlichen Modelldarstellung sowie des Dekompositionsalgorithmus wird auf /Rentz et al. 1998/ verwiesen.

Da alternative energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen, wie z.B. die Primärenergiepreisentwicklungen, Ausbauoptionen von Kernenergie oder die Speichermöglichkeit von CO₂ in Senken, die Ergebnisse wesentlich beeinflussen, werden unterschiedliche Annahmen mit Hilfe der Szenariotechnik berücksichtigt, die in /Rentz et al.

³⁸ Program Package for Emission Reduction Strategies in Energy Use and Supply - National; zur ausführlichen Modellbeschreibung des Modellpaketes siehe [Rentz et al. 1998].

1998/ dokumentiert sind. Dort findet sich auch eine Darstellung der wichtigsten Technologien mit ihren technischen und ökonomischen Charakteristika.

Zur Bewertung der ökonomischen Effizienz von JI werden CO₂-Minderungsstrategien für die Bundesrepublik Deutschland zuerst ohne die Option von Kompensationsmaßnahmen erarbeitet und diese dann einer Strategie mit Kompensationsprojekten (unter Einschluß von Transaktions- und Risikokosten) gegenübergestellt. Die JI-Potentiale werden dabei so berechnet, daß sie das weltweite durch die Bundesrepublik Deutschland ausschöpfbare Potential repräsentieren (siehe zum Vorgehen /Rentz et al. 1998/). Da nationale Strategien nur bedingt Aufschluß über die Effizienz eines Kompensationsansatzes aus Sicht von Unternehmen geben, werden zusätzlich Analysen am Beispiel einer Kooperation eines deutschen mit einem indonesischen Energieversorgungsunternehmen durchgeführt.

9.4 Entwicklung und Bewertung von nationalen Minderungsstrategien ohne Kompensationsprojekte

Wenn innerhalb des betrachteten Energiesystems der Bundesrepublik Deutschland die wirtschaftlichsten Optionen zur Deckung der prognostizierten Energienachfrage bestimmt werden sollen und keine Zielsetzungen bezüglich der CO₂-Emissionen bestehen, so ergibt sich folgendes Bild: Die insbesondere ab dem Jahre 2010 in beträchtlichem Umfang auslaufenden Kapazitäten sollten unter dem ökonomischen Kriterium³⁹ der Ausgabenminimierung in der Grundlast durch Steinkohlekraftwerke (mit Importkohle) ersetzt werden. In geringerem Umfang sollten zur Deckung der Nachfrage in der Mittellast erdgasbefeuerte Gas- und Dampfturbinen (GuD)-Anlagen neu errichtet werden, obwohl bei den Analysen von deutlich steigenden Gaspreisen ausgegangen wurde. Im Raumwärmesektor sollte eine Vielzahl von Maßnahmen, insbesondere Isolierungsmaßnahmen, die im Renovierungsszyklus umgesetzt werden können, realisiert werden, bevorzugt bei Gebäuden der Baujahresklasse von 1949 bis 1970. Der Raumwärmesektor nimmt eine dominierende Rolle innerhalb der Energienachfragesektoren bei einem effizienteren Umgang mit Energie ein. Die CO₂-Emissionen sinken in diesem optimierten Fall der Gestaltung des Energiesystems im Jahre 2020 um 13 % gegenüber dem Bezugsjahr 1990. Dies tritt nur dann ein, wenn die energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen entsprechend gesetzt werden.

Wenn emissionsbezogene Vorgaben verfolgt werden, lassen sich in Abhängigkeit von verschiedenen CO₂-Minderungszielen für die Jahre 2005 und 2020 (mit Basisjahr 1990) folgende Schlüsse ziehen: Ist der Neubau von Kernkraftwerken nicht zugelassen, so sollten im Kraftwerkssektor verstärkt GuD-Kraftwerke gebaut und in entsprechendem Maße der Neubau von Steinkohlekraftwerken zurückgenommen werden.

³⁹ Dabei werden makro-ökonomische Effekte nicht berücksichtigt.

Zusätzlich zu diesen Maßnahmen sollten bei moderaten Zielsetzungen für eine CO₂-Minderung - 20 % im Jahre 2020 - Windkraftanlagen an Standorten mit sehr günstigen Windverhältnissen neu gebaut werden.

Bei den gegebenen Rahmenbedingungen zeigt sich, daß beim Vergleich von neu zu errichtenden Kraftwerken Strom in Steinkohlekraftwerken auf Importkohlebasis günstiger bereitgestellt werden kann als in Kernkraftwerken. Kernenergie ist aber im Grundlastbereich im Vergleich zu anderen Maßnahmen im Kraftwerkssektor die wirtschaftlichste Option zur CO₂-Reduzierung mit hohem Emissionsvermeidungspotential.

Auf der Energienachfrageseite spielen Maßnahmen im Raumwärmesektor bei Haushalten - Isolierungsmaßnahmen, effizientere Heizungssysteme wie Brennwertkessel, der Einsatz von elektrischen Wärmepumpen und die Nutzung bestehender Fernwärmanlagen - eine wichtige Rolle für eine wirtschaftlich effiziente CO₂-Minderung. Maßnahmen zum rationellen Umgang mit Brennstoffen sowie Brennstoffsubstitution können in der Industrie und bei Kleinverbrauchern einen nicht unerheblichen Beitrag zu einer CO₂-Minderung leisten. In weiterführenden Analysen sollten vermehrt Maßnahmen im Verkehrssektor, in dem bisher die Datengrundlage lückenhaft ist, mit einbezogen werden.

In den beiden potentiellen Gastgeberländern für Kompensationsprojekte, der Russischen Föderation und Indonesien, dominieren bei nationalen CO₂-Minderungsstrategien - trotz konservativer Potentialberechnungen und Kostenabschätzungen⁴⁰ - eindeutig die Kohlenstoffsenken (Aufforstung und Eindämmung der Brandrodung). So sollten in der Russischen Föderation beispielsweise bis zu 80 % der potentiellen Minderungsziele durch eine CO₂-Bindung erreicht werden.

Werden Senken und Kernenergie als Minderungsoptionen ausgeschlossen, erfolgt in beiden Ländern zunehmend eine Substitution der heimischen Kohle durch Gas - primär eingesetzt in GuD-Anlagen - als wichtigste Maßnahme zur Reduzierung der CO₂-Emissionen. In diesem Fall spielt in Indonesien auch die Wasserkraft eine bedeutende Rolle. Die Potentiale an großen Wasserkraftwerken sollten bei stringenten Minderungszielen ausgeschöpft und zur Versorgung von ländlichen Regionen zunehmend kleinere Wasserkraftwerke in Verbindung mit Dieselgeneratoren installiert werden. Diese sehr hohen Minderungspotentiale ergeben sich u. a. aufgrund der prognostizierten, stark steigenden Energienachfrage, die eine adäquate Ausrichtung des künftigen Energiesystems ermöglicht. In der Russischen Föderation tragen Kernkraftwerke - u. a. aufgrund bestehender Ausbaupläne und -vorhaben - wesentlich zur Stromerzeugung und Emissionsminderung bei, ohne daß explizite Vorgaben bezüglich einer Emissionsminderung gemacht werden.

⁴⁰ Aufgrund des gewählten methodischen Ansatzes ist die Bezeichnung Kosten im Sinn der Betriebswirtschaftslehre nicht korrekt und wäre durch Ausgaben zu ersetzen.

Darüber hinausgehende Zubauten von Kernkraftwerken im Rahmen von JI sind aufgrund einer getroffenen Annahme nur nach westlichem Sicherheitsstandard und mit entsprechend höheren Ausgaben zu realisieren. Dies führt dazu, daß diese Kernkraftwerke erst bei höheren Minderungszielen gebaut werden sollten. Insbesondere im asiatischen Teil sollten verstärkt Wasserkraftwerke eingesetzt werden, um Vorgaben einer CO₂-Emissionsminderung umzusetzen.

9.5 Gestaltung von Emissionsminderungsstrategien unter Einschluß von Kompensationsprojekten bzw. eines Emissionsrechtehandels

Die Analyse der JI-Potentiale für die Bundesrepublik Deutschland sowie die Russische Föderation und Indonesien als JI-Gastgeberländer zeigt, daß folgende Rahmenbedingungen einen deutlichen Einfluß auf die Anzahl an ökonomisch effizienten Kompensationsprojekten haben: die Anerkennung von Senken als Minderungsoptionen unter JI⁴¹, das weltweit verfügbare Gesamtpotential an CO₂-Minderungsoptionen, die energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen im Investorland, die Höhe des Minderungsziels im Investorland und die Höhe der Transaktionskosten.

Werden für alle Einflußgrößen optimistische Annahmen - im Sinne von günstigen Rahmenbedingungen für JI-Projekte - zu Grunde gelegt, so sollte bei dem analysierten Minderungsziel (20 % in 2005 und 40 % in 2020 mit Basisjahr 1990⁴²) die gesamte zusätzliche⁴³ Minderung durch JI-Projekte⁴⁴ realisiert werden, wobei Senkenoptionen der dominierende Projekttyp sind. Die diskontierten Minderungsausgaben für den Zeitraum 1994 bis 2025 lassen sich dann um 90 % auf rund 3,2 Mrd. DM1994 verringern. Gerade die damit gezeigte ökonomische Vorteilhaftigkeit von Senkenoptionen sollte dazu führen, daß die geführte Diskussion um einen möglichen Ausschluß von Senkenprojekten als JI-Projekte neu überdacht wird. Ein Ausklammern von Projekten zur Kohlenstoffbindung würde wesentlich die ökonomische Effizienz von JI beeinträchtigen.

Dies zeigen auch die Ergebnisse des gegenteiligen Falles, in dem für JI gänzlich pessimistische Annahmen getroffen wurden sowie ein potentieller Ausbau der Kernenergie zur Erfüllung klimapolitischer Ziele in der Bundesrepublik Deutschland zugelassen ist.

Dann betragen die durch JI geminderten CO₂-Emissionen im Jahr 2020 „nur noch“ rund 38 Mio. t, also weniger als 10 % der zu mindernden Emissionen. Die diskontierten Minderungsausgaben im betrachteten Zeithorizont verringern sich durch die durchgeführ-

⁴¹ Im Kyoto-Protokoll [UN 1997] werden Senken als JI-Optionen explizit zugelassen, jedoch steht eine Konkretisierung der notwendigen Kriterien hierzu noch aus.

⁴² Sämtliche folgende Minderungsvorgaben beziehen sich auf das Basisjahr 1990.

⁴³ In der Bundesrepublik Deutschland werden die No Regret Optionen vollständig umgesetzt. Diese führen in Deutschland zu einer Minderung von 120 Mio. t. CO₂ im Jahre 2020 bezogen auf 1990.

⁴⁴ Dabei ist zu beachten, daß alle weltweit ausschöpfbaren JI-Potentiale durch die Bundesrepublik Deutschland berücksichtigt werden, wobei die Russische Föderation und Indonesien als repräsentative Länder gewählt worden sind.

ten Kompensationsprojekte um rund 1 Mrd. DM₁₉₉₄. Senkenoptionen sind in diesem II-Szenario ausgeschlossen, so daß in den Gastgeberländern ausschließlich Optionen im Energiesystem realisiert werden können.

Wird von den extremen Szenarios Abstand genommen und plausible Annahmen angesetzt - wie eine eingeschränkte Nutzung von Senken -, so sollte ein beachtlicher Teil einer Emissionsminderung über II-Projekte erzielt werden. Dieser Anteil liegt je nach Rahmenbedingungen zwischen 25 und 50 % - was in einer Größenordnung liegt, die aufgrund der aktuellen nationalen wie internationalen Diskussionen für durchsetzbar gehalten wird. Die Aufteilung der zu erreichenden Minderung auf die beteiligten Länder sowie den Anteil von Maßnahmen zur CO₂-Bindung zeigt Abbildung 9-3.

Für geringe Minderungsvorgaben (20 % im Jahr 2020) sollten ca. 60 Mio. t CO₂ und bei hohen Minderungszielen (45 % im Jahr 2020) etwa 190 Mio. t CO₂ durch II-Projekte gemindert werden. Wie aus Abbildung 9-4 entnommen werden kann, liegen dabei die absoluten Investitionen in II-Projekte je nach Szenario zwischen 0,6 und 5 Mrd. DM₁₉₉₄. Ein Betrag in vergleichbarer Höhe sollte in der Bundesrepublik Deutschland für eine Minderung ausgegeben werden. Die durch II erreichbare Verringerung der Minderungsausgaben liegt zwischen knapp 2 und rund 47 Mrd. DM₁₉₉₄. Die Grenzkosten der CO₂-Minderung sind im II-Fall bedeutend niedriger als bei einer rein nationalen Umsetzung der Minderungsvorgabe. Sie liegen bei einer Strategie ohne Kompensationsprojekte bei einer 40 %igen Minderung bei etwas über 200 DM/tCO₂-gemindert und in einer multinationalen Strategie bei rund 40 DM/tCO₂-gemindert. Eine Umsetzung von Kompensationsprojekten erleichtert grundsätzlich die Erfüllung von extrem hohen Minderungszielen (mehr als 40 %), die bei rein nationalen Minderungsbemühungen nur durch massive Anstrengungen - sowohl finanzieller als auch technologischer Art (das bundesdeutsche Energiesystem weist deutliche Strukturbrüche auf) - erreicht werden können.

Die Höhe der Transaktionskosten (einschließlich der Kosten einer Risikoabsicherung) hat einen entscheidenden Einfluß auf den Betrag der Minderungskosten⁴⁵, aber ihr Einfluß auf die durch II-Projekte zu realisierende Menge einer Emissionsminderung ist gering. In Abbildung 9-5 ist die Aufteilung der Emissionsminderung auf die Partnerländer für unterschiedliche Transaktionskostenaufschläge dargestellt. Es zeigt sich, daß die Höhe der auszuschöpfenden Senkenpotentiale von der Höhe der Transaktionskosten unberührt bleibt, während Optionen im Energiesystem der Gastgeberländer bei höheren Transaktionskosten weniger ausgeschöpft werden.

⁴⁵ So führen beispielsweise im russischen Energiesystem 30 % Transaktionskosten, die auf die Produktionskosten eines II-Projekts bezogen werden, bei geringen Minderungszielen etwa zu einer Verdopplung der Minderungskosten gegenüber dem Fall einer Vernachlässigung der Transaktionskosten.

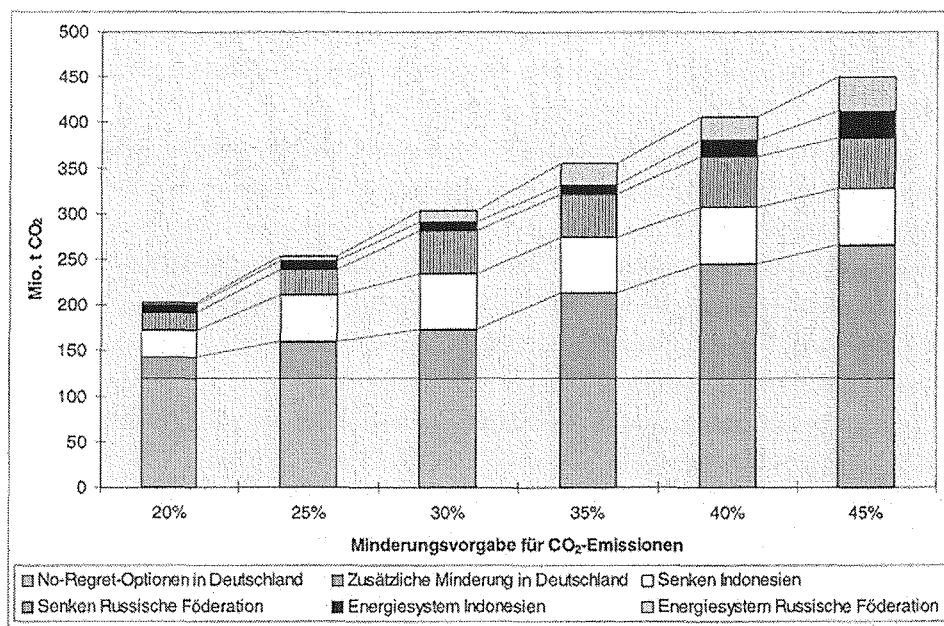


Abbildung 9-3: Aufteilung der CO₂-Emissionsminderung auf Investor- und Gastgeberländer in Abhängigkeit von der Minderungsvorgabe

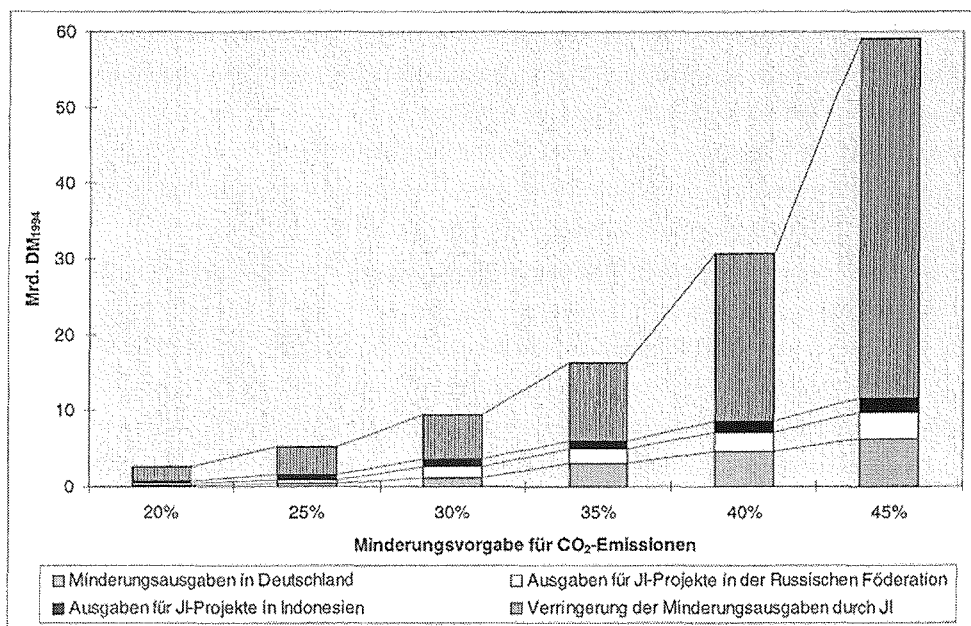


Abbildung 9-4: Summe der diskontierten Minderungsausgaben im Zeitraum 1994 - 2025 in Investor-/Gastgeberländern und deren Verringerung durch JI in Abhängigkeit von der Minderungsvorgabe

Bezüglich der Art der JI-Projekttypen ist festzustellen, daß neben der Realisierung von Senkenprojekten in der Russischen Föderation der verstärkte Ausbau der Wasserkraft im asiatischen Teil und von gasbefeuerten GuD-Kraftwerken in Kraft-Wärme-Kopplung im europäischen Teil anzustreben ist. Zusätzlich sollten in geringerem Umfang Kernenergiekapazitäten nach mitteleuropäischen Standard installiert werden. Durch den Kapazitätssubau bei JI werden stein- und braunkohlegefeuerte Kraft- und Heizkraftwerke - insbesondere im asiatischen Teil - vermieden. Ferner ist in Betracht zu ziehen, daß in der Referenzentwicklung für das Energiesystem der Russischen Föderation ein massiver Ausbau von erdgasbefeuerten GuD-Anlagen erfolgen sollte. Wie die Ergebnisse zeigen, können diese zwar wirtschaftlich betrieben werden, die Verfügbarkeit dieser Technologie und die für den Ausbau erforderlichen finanziellen Mittel könnten jedoch Hemmnisse darstellen, zu deren Überwindung JI einen Beitrag leisten könnte.

In Indonesien stellt neben Senkenoptionen der Ausbau erdgasbefuener GuD-Kraftwerke als Ersatz für Steinkohlekraftwerke, die im Basisfall installiert worden wären, einen der effizientesten Projekttypen mit einem relevanten Potential dar. Neben diesen Kapazitätserweiterungen sollte die Bundesrepublik Deutschland durch JI-Projekte den Ausbau von Wasserkraftwerken umsetzen, wobei je nach Höhe des Minderungsziels ein verstärkter Ausbau kleiner Wasserkraftwerke zur Deckung des Bedarfs in ländlichen Regionen erfolgen sollte.

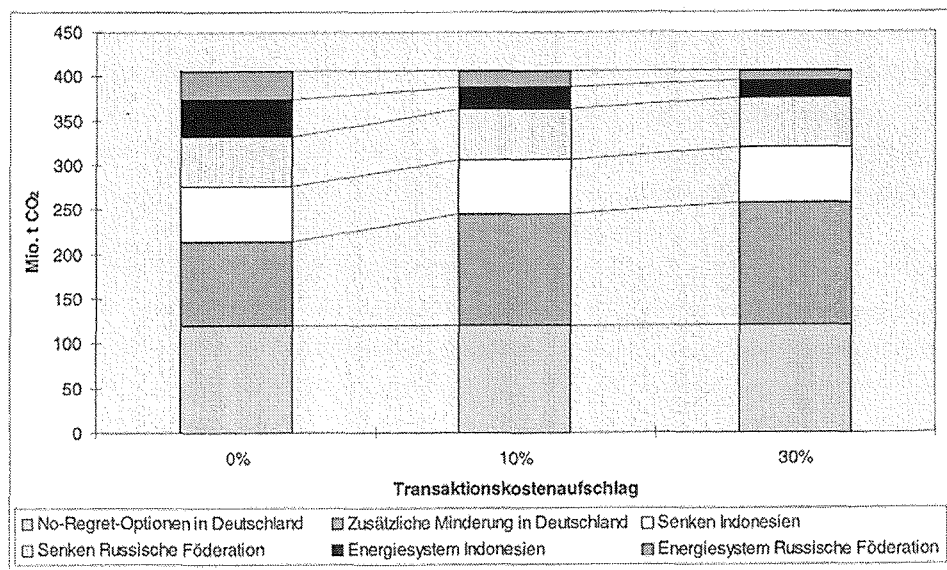


Abbildung 9-5: Einfluß der Transaktionskosten auf die Aufteilung der CO₂-Emissionsminderung

Diese Schlußfolgerungen zu JI-Potentialen und erreichbaren Kosteneinsparungen lassen sich unter bestimmten Voraussetzungen auch auf einen Emissionsrechtehandel übertragen. Wenn nur Emissionsrechte in den Handel einfließen, die aus einer Umsetzung von Emissionsminderungsmaßnahmen in einzelnen Ländern resultieren - was aufgrund der auch für einen Emissionsrechtehandel geltenden Zusätzlichkeit zielführend ist - sind die erzielten Ergebnisse auf die Höhe der künftig handelbaren Emissionsrechte und die hierdurch zu erzielenden Effizienzgewinne übertragbar.

Eine direkte Übertragung der Ergebnisse der nationalen Analysen zu JI auf Unternehmen ist aufgrund der unterschiedlichen Bewertungsansätze und abweichender Handlungsoptionen zur Emissionsminderung nicht möglich. Für ein ausgewähltes norddeutsches Energieversorgungsunternehmen (EVU) als potentiellm Investor und das indonesische nationale Energieversorgungsunternehmen PLN als Kooperationspartner für Kompensationsprojekte werden im folgende Rückschlüsse für eine JI-Strategie aus Unternehmenssicht gezogen.

Im Falle, daß Senken als JI-Projekte zugelassen sind, sollte praktisch ausschließlich in diese Kompensationsmaßnahmen investiert werden. Trotz des für das deutsche EVU beschränkten Potentials für JI-Projekte lassen sich zur Realisierung eines CO₂-Minderungsziels von 40 % die Minderungskosten um beachtliche 65 % auf ca. 1 Milliarde DM₁₉₉₄ senken.

Die wichtigsten Investitionsoptionen zur CO₂-Minderung direkt beim indonesischen EVU liegen in konventionellen Kraftwerkstechniken mit vergleichsweise geringen Investitionsrisiken, wie der Errichtung von GuD-Anlagen (1,4 GWel) und Wasserkraftwerken (400 MWel). Des weiteren stellt der Ausbau kleiner Wasserkraftwerke zur Deckung der Nachfrage in ländlichen Regionen Indonesiens einen ökonomisch sinnvollen JI-Projekttyp dar. Die JI-Optionen substituieren dabei primär den Ausbau an Windkraftanlagen beim norddeutschen EVU.

Im Vergleich zur nationalen JI-Strategie sollten aus Unternehmenssicht mehr Investitionen in JI-Projekte erfolgen, was insbesondere in den gegenüber der nationalen Betrachtungsweise weit stärker beschränkten Möglichkeiten zur Umsetzung von CO₂-Minderungsmaßnahmen im eigenen Versorgungsgebiet (z. B. im Raumwärmebereich) liegt. Allerdings sind die Abweichungen eher tendenzieller Natur und führen nicht zu einer generell anderen Beurteilung von JI. Die Unternehmen werden diese Optionen allerdings erst dann nutzen, wenn die nationalen Minderungsverpflichtungen auf Unternehmensebene - sei es über Ordnungsrecht oder ökonomische Instrumente - heruntergebrochen und die Rahmenbedingungen für die Berücksichtigung von Kompensationsmöglichkeiten zur Erfüllung dieser Vorgaben festgelegt sind.

9.6 Senken als JI-Optionen

In den obigen Ausführungen zu wirtschaftlich effizienten Maßnahmen wurde gezeigt, daß Senken im Vergleich zu anderen Minderungsoptionen aufgrund ihres hohen Potentials und der niedrigen Kosten die mit Abstand wichtigste Option zur Senkung der Treibhausgasemissionen sind. Die Einbeziehung von Aufforstungs- und anderen senkenspezifischen Projekten als Kompensationsprojekte ist jedoch nicht unumstritten (vgl. die Diskussion in /Luhmann et al. 1996, S. 48 f./ bzw. im Vorfeld und auf dem Klimagipfel in Kyoto⁴⁶). Kritiker führen an, daß die Speicherung des Kohlenstoffes in Senken häufig nur kurzfristiger Natur ist und viele Meß- und Kontrollfragen bei Senken noch offen sind⁴⁷.

Wie die vorangegangenen Rechnungen gezeigt haben, führt ein Ausschluß von Senken als JI-Optionen zu einer deutlichen Ausgabenerhöhung für die Bundesrepublik Deutschland bzw. investierende Unternehmen. Weiterhin spricht für die Aufnahme von Senkenprojekten, daß i. d. R. aufgrund fehlender relevanter Einnahmen durch Senkenprojekte die für Kompensationsprojekte geforderte Zusätzlichkeit gegeben ist⁴⁸.

Weiterhin eröffnet die kurzfristige Minderung der CO₂-Emissionen durch Kohlenstoffsenken die Option, Zeit für die Entwicklung von emissionsarmen bzw. emissionsfreien Energieumwandlungstechnologien zu gewinnen. Senkenprojekte zeichnen sich i. d. R. auch durch positive ökologische Nebeneffekte - z. B. auf Bodenerosionen oder den Wasserhaushalt - aus. Aufgrund des hohen Potentials der Kohlenstoffbindung und der damit verbundenen Option, auch ambitionierte Ziele bei der Klimavorsorge erreichen zu können, sowie der - auf der zur Zeit zur Verfügung stehenden Datenbasis beruhenden - Wirtschaftlichkeit dieser Minderungsoption sollte hier ein Schwerpunkt zukünftiger Forschungsaktivitäten liegen.

9.7 Zusammenfassung

Ziel des vorliegenden Beitrages war es zu analysieren, in welchem Maße eine Zusammenarbeit mit Drittländern dazu beiträgt, nationale Minderungsziele unter wirtschaftlichen Kriterien effizienter erreichen zu können. Für die Bundesrepublik Deutschland waren unter diesen Zielsetzungen Strategien zur Minderung der CO₂-Emissionen in Zusammenarbeit mit der Russischen Föderation und Indonesien zu analysieren. Hierzu wurden zuerst in sich konsistente nationale Emissionsminderungsstrategien unter Einsatz eines nach dem Ziel-

⁴⁶ Im Kyoto Protokoll wird allerdings die Verrechnung von Kohlenstoffbindung mit CO₂-Emissionen innerhalb der nationalen Verpflichtungen zugelassen [UN 1997].

⁴⁷ Die Präferenzierung von anderen Projekten als Senken wird u. a. auch deutlich in der Haltung der Bundesregierung, die in der AIJ-Phase den Projekten zur Emissionsvermeidung den Vorzug gibt [BMU 1997].

⁴⁸ [Luhmann et al. 1996, S. 87] ordnen deshalb Senken als gemeinnützige Projekttypen ein.

kriterium der Ausgabenminimierung optimierenden Energie- und Stoffflußmodells entwickelt. Ein wesentlicher Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in der Bestimmung einer transparenten und belastbaren Baseline, was in bisherigen Studien sowie bei der praktischen Umsetzung von JI eines der zentralen Probleme darstellte. Unter dem Regime eines Emissionszertifikatehandels kann ein derartiger Ansatz sicherstellen, daß nur wirklich zusätzlich erbrachte Emissionsminderungen in einen Handel eingehen.

Anschließend wurden die Modelle für die betrachteten Gastgeberländer über einen Dekompositionsalgorithmus miteinander verknüpft, um so internationale Kompensationsansätze integrieren zu können. Da alternative Rahmenbedingungen, wie z.B. die Primärenergiepreisentwicklungen, Ausbauoptionen von Kernenergie oder die Speichermöglichkeit von CO₂ in Senken, die Ergebnisse wesentlich beeinflussen, wurden unterschiedliche Annahmen mit Hilfe der Szenariotechnik berücksichtigt. Zusätzlich zu den reinen Produktionskosten von JI-Projekten wurden die Transaktionskosten, die beispielsweise zur Partnersuche oder Verhandlungsführung bei Kompensationsprojekten anfallen, und die Kosten für eine Risikoabsicherung von Auslandsinvestitionen integriert. Die durchgeführten Analysen zeigen, daß durch Kompensationsansätze eine deutliche Reduzierung der gesamten Ausgaben für eine Emissionsminderung in der Bundesrepublik Deutschland erreichbar ist.

So können sie bei hohen Minderungszielen, bei denen rund 40 % der Emissionsminderung über Kompensationsprojekte realisiert werden, um rund 70 % gesenkt werden. Die verbleibenden Ausgaben sollten dann etwa zur Hälfte in der Bundesrepublik Deutschland und zur anderen Hälfte in JI-Projekte investiert werden. Werden Maßnahmen zur Bindung von CO₂ (sogenannte Senken) unbeschränkt als JI-Optionen zugelassen, so liegen die Kosten nochmals deutlich niedriger.

Literatur

/Ardone et al. 1996/

A. Ardone, W. Fichtner, M. Wietschel, O. Rentz: Analyse von Joint Implementation Potentialen und Auswahl geeigneter Projekttypen. In: O. Rentz, M. Wietschel, W. Fichtner, A. Ardone (Hrsg.): Joint Implementation in Deutschland - Stand und Perspektiven aus Sicht von Politik, Industrie und Forschung, Frankfurt am Main: Peter Lang Verlag, 1996

/Ardone et al. 1997/

A. Ardone, W. Fichtner, M. Wietschel, O. Rentz: A Techno-Economic Approach to Obtain Comparable Baselines for Joint Implementation, Proceedings of the International Workshop Activities Implemented Jointly, Leipzig, 05.-06. March, 1997

/BMU 1997/

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Umweltpolitik: Klimaschutz in Deutschland, Zweiter Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, Bonn: BMU, 1997

/Luhmann et al. 1996/

H. J. Luhmann, et al.: Simulation von Joint Implementation innerhalb der Klimarahmenkonvention anhand ausgewählter Projekte, Draft Endbericht eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Umweltbundesamtes, Wuppertal, Wuppertal Institut, September, 1996

/Rentz et al. 1998/

O. Rentz, M. Wietschel, A. Ardone, W. Fichtner, M. Göbelt: Zur Effizienz einer länderübergreifenden Zusammenarbeit bei der Klimavorsorge - Analyse des Umweltregimes Joint Implementation unter Einbezug eines Emissionsrechtehandels für die Bundesrepublik Deutschland, die Russische Föderation und Indonesien, Endbericht eines Forschungsvorhabens gefördert durch die Volkswagen Stiftung, Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion, Karlsruhe, 1998

/UNFCCC 1997a/

United Nations (ed.): United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Informationsangebot der UNFCCC im WWW, URL:<<http://www.unfccc.de/index.html>>, November 1997

/UNFCCC 1997b/

United Nations (ed.), United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC): Baseline for activities Implemented Jointly, Victoria (Canada), 1997

/UN 1997/

United Nations (ed.): Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Conference of Parties, Third Session, Kyoto, 1-10 December 1997, FCCC/CP/1997/L.7/Add.1., Genf: United Nations, 1997

/UNCED 1994/

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.): Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, in: Umweltpolitik - Klimaschutz in Deutschland; Erster Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, Bonn: BMU, 1994

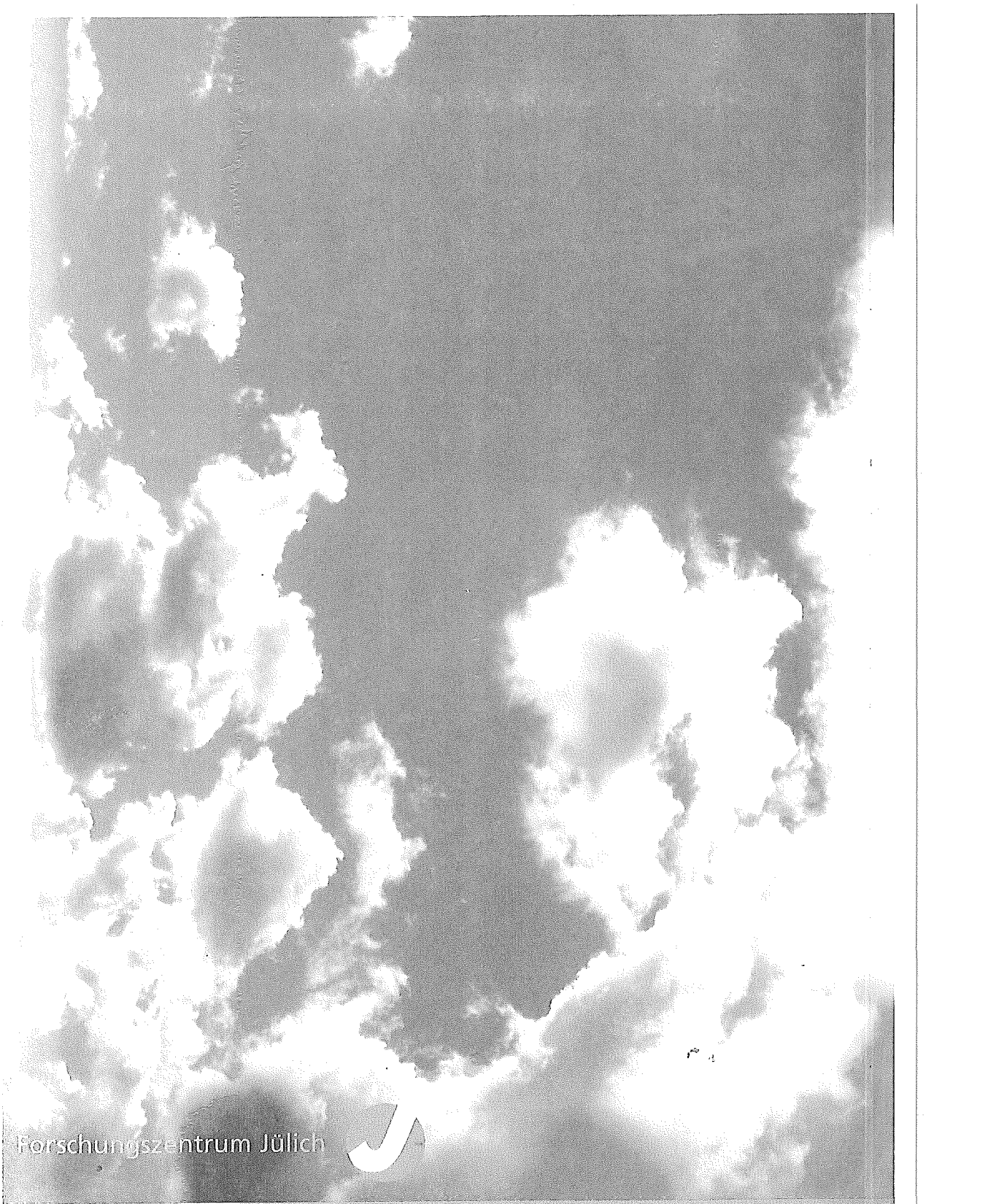
Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt/Environment:

1. **Energiemodelle in der Bundesrepublik Deutschland. Stand der Entwicklung**
IKARUS-Workshop vom 24. bis 25. Januar 1996
herausgegeben von S. Molt, U. Fahl (1997), 292 Seiten
ISBN 3-89336-205-3
2. **Ausbau erneuerbarer Energiequellen in der Stromwirtschaft**
Ein Beitrag zum Klimaschutz
Workshop am 19. Februar 1997, veranstaltet von der Forschungszentrum Jülich GmbH und der Deutschen Physikalischen Gesellschaft
herausgegeben von J.-Fr. Hake, K. Schultze (1997), 138 Seiten
ISBN 3-89336-206-1
3. **Modellinstrumente für CO₂-Minderungsstrategien**
IKARUS-Workshop vom 14. bis 15. April 1997
herausgegeben von J.-Fr. Hake, P. Markewitz (1997), 284 Seiten
ISBN 3-89336-207-X
4. **IKARUS-Datenbank - Ein Informationssystem zur technischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Bewertung von Energietechniken**
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 2 „Datenbank“
H.-J. Laue, K.-H. Weber, J. W. Tepel (1997), 90 Seiten
ISBN 3-89336-214-2
5. **Politikszzenarien für den Klimaschutz**
Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes
Band 1. Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO₂-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005
herausgegeben von G. Stein, B. Strobel (1997), 410 Seiten
ISBN 3-89336-215-0
6. **Politikszzenarien für den Klimaschutz**
Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes
Band 2. Emissionsminderungsmaßnahmen für Treibhausgase, ausgenommen energiebedingtes CO₂
herausgegeben von G. Stein, B. Strobel (1997), 110 Seiten
ISBN 3-89336-216-9

7. **Modelle für die Analyse energiebedingter Klimagasreduktionsstrategien**
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 1 „Modelle“
P. Markewitz, R. Heckler, Ch. Holzapfel, W. Kuckshinrichs, D. Martinsen,
M. Walbeck, J.-Fr. Hake (1998), VI, 276 Seiten
ISBN 3-89336-220-7
8. **Politiksszenarien für den Klimaschutz**
Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes
Band 3. Methodik-Leitfaden für die Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung
herausgegeben von G. Stein, B. Strobel (1998), VIII, 95 Seiten
ISBN 3-89336-222-3
9. **Horizonte 2000**
6. Wolfgang-Ostwald-Kolloquium der Kolloid-Gesellschaft
3. Nachwuchstage der Kolloid- und Grenzflächenforschung
Kurzfassungen der Vorträge und Poster
zusammengestellt von F.-H. Haegel, H. Lewandowski, B. Krahel-Urban (1998),
150 Seiten
ISBN 3-89336-223-1
10. **Windenergieanlagen - Nutzung, Akzeptanz und Entsorgung**
von M. Kleemann, F. van Erp, R. Kehrbaum (1998), 59 Seiten
ISBN 3-89336-224-X
11. **Policy Scenarios for Climate Protection**
Study on Behalf of the Federal Environmental Agency
Volume 4. Methodological Guideline for Assessing the Impact of Measures for Emission Mitigation
edited by G. Stein, B. Strobel (1998), 103 pages
ISBN 3-89336-232-0
12. **Der Landschaftswasserhaushalt im Flußeinzugsgebiet der Elbe**
Verfahren, Datengrundlagen und Bilanzgrößen
Analyse von Wasserhaushalt, Verweilzeiten und Grundwassermilieu im
Flußeinzugsgebiet der Elbe (Deutscher Teil). Abschlußbericht Teil 1.
von R. Kunkel, F. Wendland (1998), 110 Seiten
ISBN 3-89336-233-9

13. **Das Nitratabbauvermögen im Grundwasser des Elbeeinzugsgebietes**
Analyse von Wasserhaushalt, Verweilzeiten und Grundwassermilieu im
Flußeeinzugsgebiet der Elbe (Deutscher Teil). Abschlußbericht Teil 2.
von F. Wendland, R. Kunkel (1999), 166 Seiten
ISBN 3-89336-236-3

14. **Treibhausgasminderung in Deutschland zwischen nationalen Zielen und
internationalen Verpflichtungen**
IKARUS-Workshop am 27.05.1998, Wissenschaftszentrum Bonn-Bad
Godesberg. Proceedings
herausgegeben von E. Läge, P. Schaumann, U. Fahl (1999), ii, VI, 146 Seiten
ISBN 3-89336-237-1



Forschungszentrum Jülich



Band/Volume 14
ISBN 3-89336-237-1

Umwelt
Environment