



Politikszzenarien für den Klimaschutz

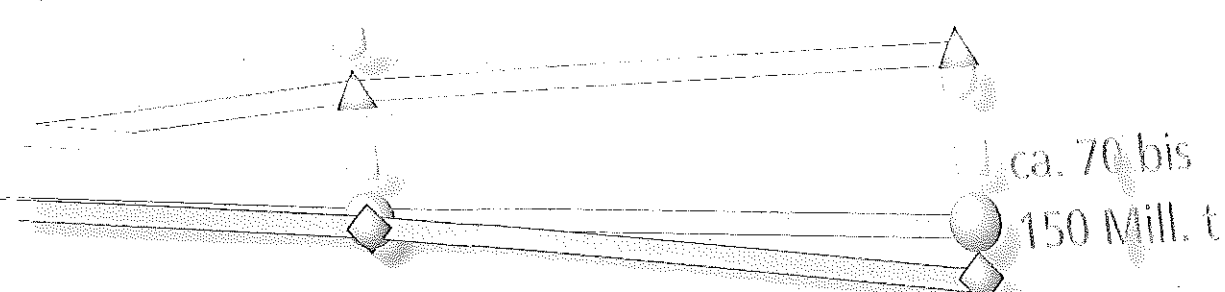
Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes

herausgegeben von
G. Stein und B. Strobel

Band 3: Methodik-Leitfaden für die
Wirkungsabschätzung von Maßnahmen
zur Emissionsminderung

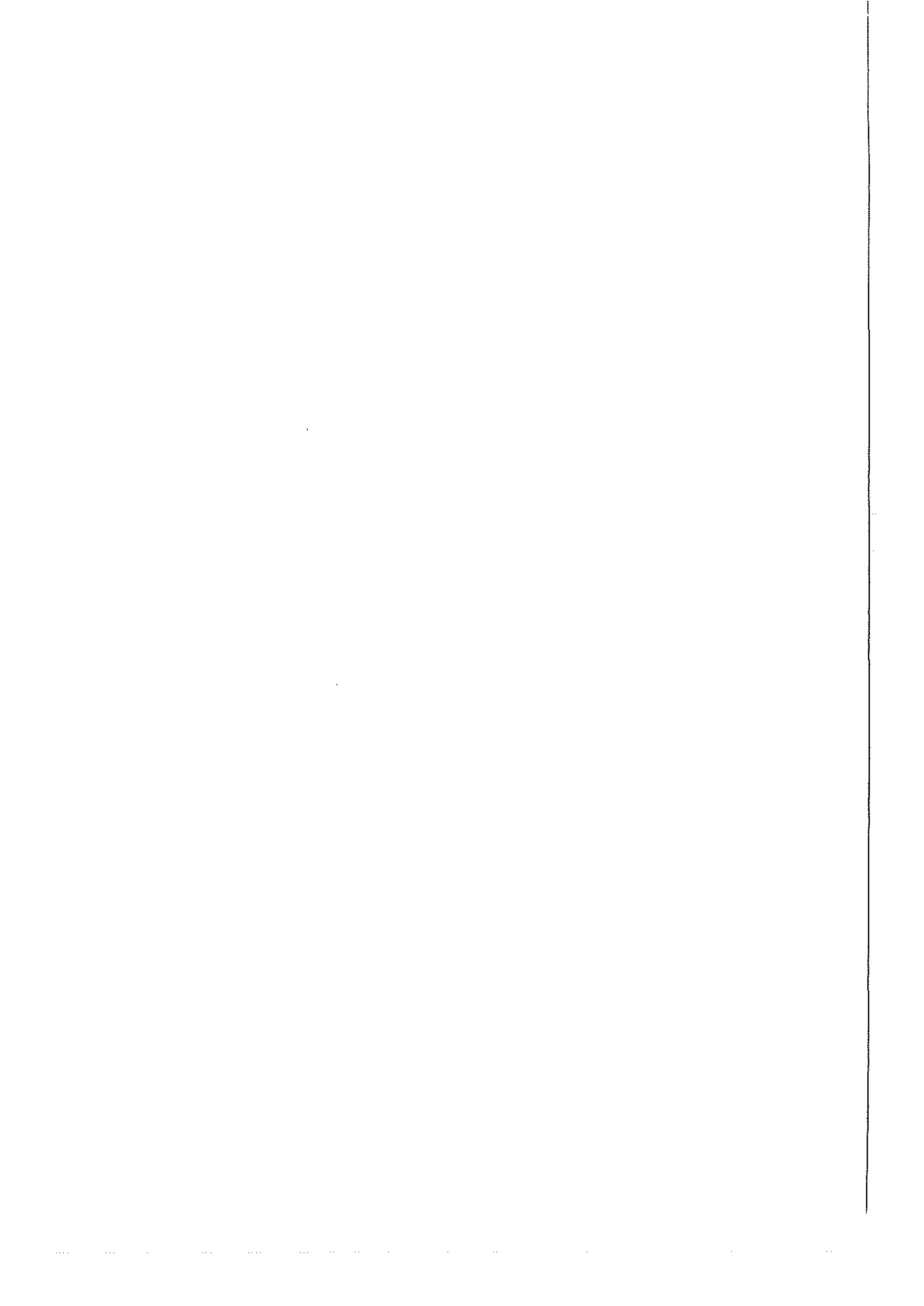
von: J. Diekmann, R. Hopf, H.-J. Ziesing (DIW);
M. Kleemann, P. Markewitz, D. Martinsen (STE);
G. Stein (TFF); E. Jochem (FhG-ISI);
F. Chr. Matthes (Öko-Institut)

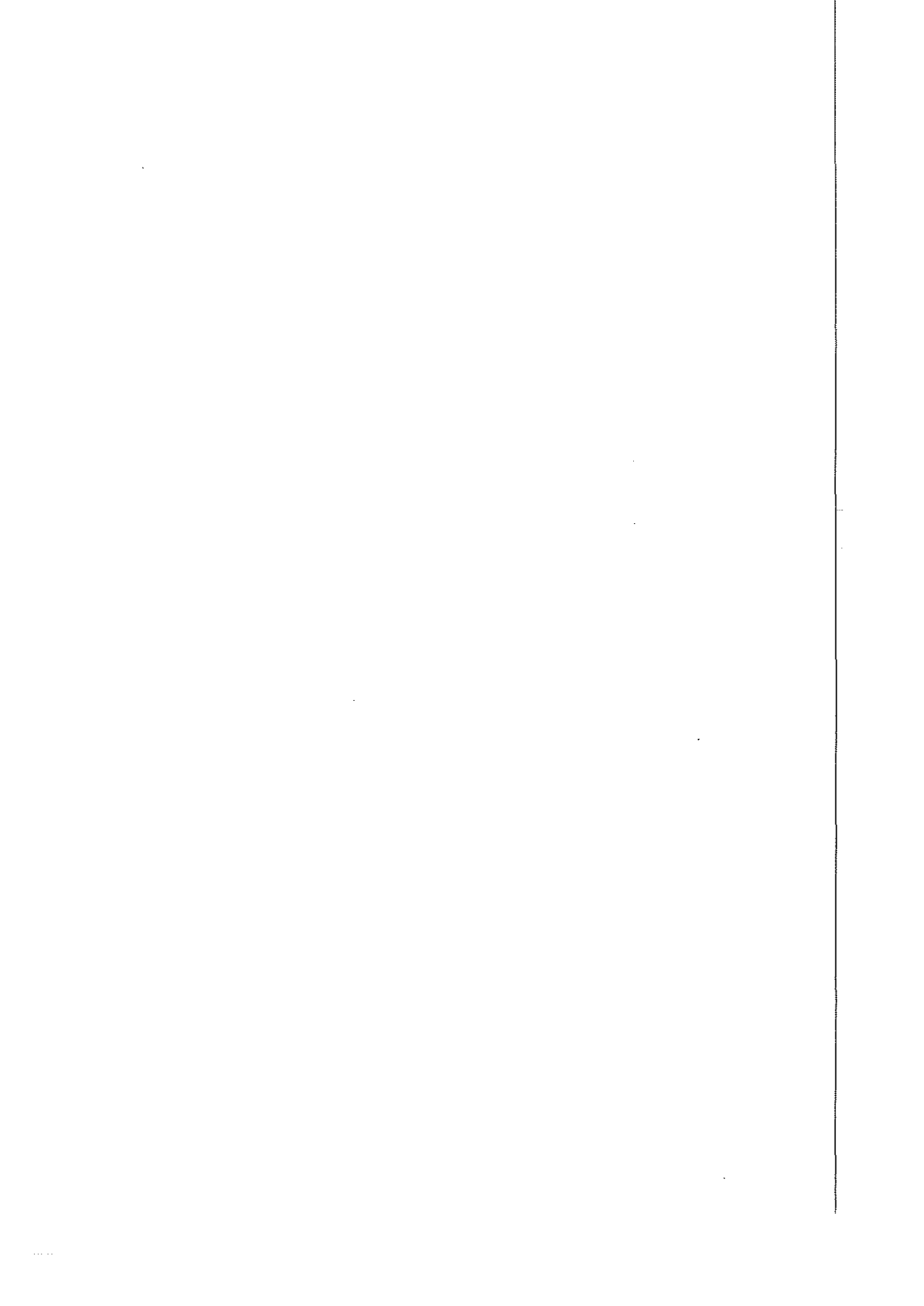
Referenzszenario
fall
1995
MA-Szenario
16



Emissionsziel für 2005







Forschungszentrum Jülich GmbH
Programmgruppe Technologiefolgenforschung

Politiksznarien für den Klimaschutz

Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes

Band 3

Methodik-Leitfaden für die Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung

herausgegeben von
Gotthard Stein und Bernd Strobel

Federführung :
Jochen Diekmann
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) Berlin

Bearbeiter :
Jochen Diekmann, Rainer Hopf, Hans-Joachim Ziesing
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) Berlin

Manfred Kleeman, Peter Markewitz, Dag Martinsen
Forschungszentrum Jülich GmbH, Programmgruppe Systemforschung und
Technologische Entwicklung (STE), Jülich;

Gotthard Stein
Forschungszentrum Jülich GmbH, Programmgruppe Technologie-
folgenforschung (TFF), Jülich;

Eberhard Jochem
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG-ISI), Karlsruhe;

Felix Christian Matthes
Öko-Institut, Berlin

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Umwelt

Band 8

ISSN 1433-5530 ISBN 3-89336-222-3

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Politiksznarien für den Klimaschutz : Untersuchungen / Im Auftr. des Umweltbundesamtes.
Forschungszentrum Jülich GmbH, Programmgruppe Technologiefolgenforschung. Hrsg. von
Gotthard Stein und Bernd Strobel. - Jülich : Forschungszentrum, Zentralbibliothek.
Bd. 3. Methodikleitfaden für die Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emmissions-
minderung / mit Beitr. von J. Diekmann ... - 1998
(Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt ; Band 8)
ISBN 3-89336-222-3

Herausgeber
und Vertrieb: Forschungszentrum Jülich GmbH
 ZENTRALBIBLIOTHEK
 D-52425 Jülich
 Telefon (0 24 61) 61- 53 68 · Telefax (0 24 61) 61- 61 03
 e-mail: zb-publikation@fz-juelich.de
 Internet: <http://www.kfa-juelich.de/zb>

Umschlaggestaltung: Grafische Betriebe, Forschungszentrum Jülich GmbH

Druck: Grafische Betriebe, Forschungszentrum Jülich GmbH

Copyright: Forschungszentrum Jülich 1998

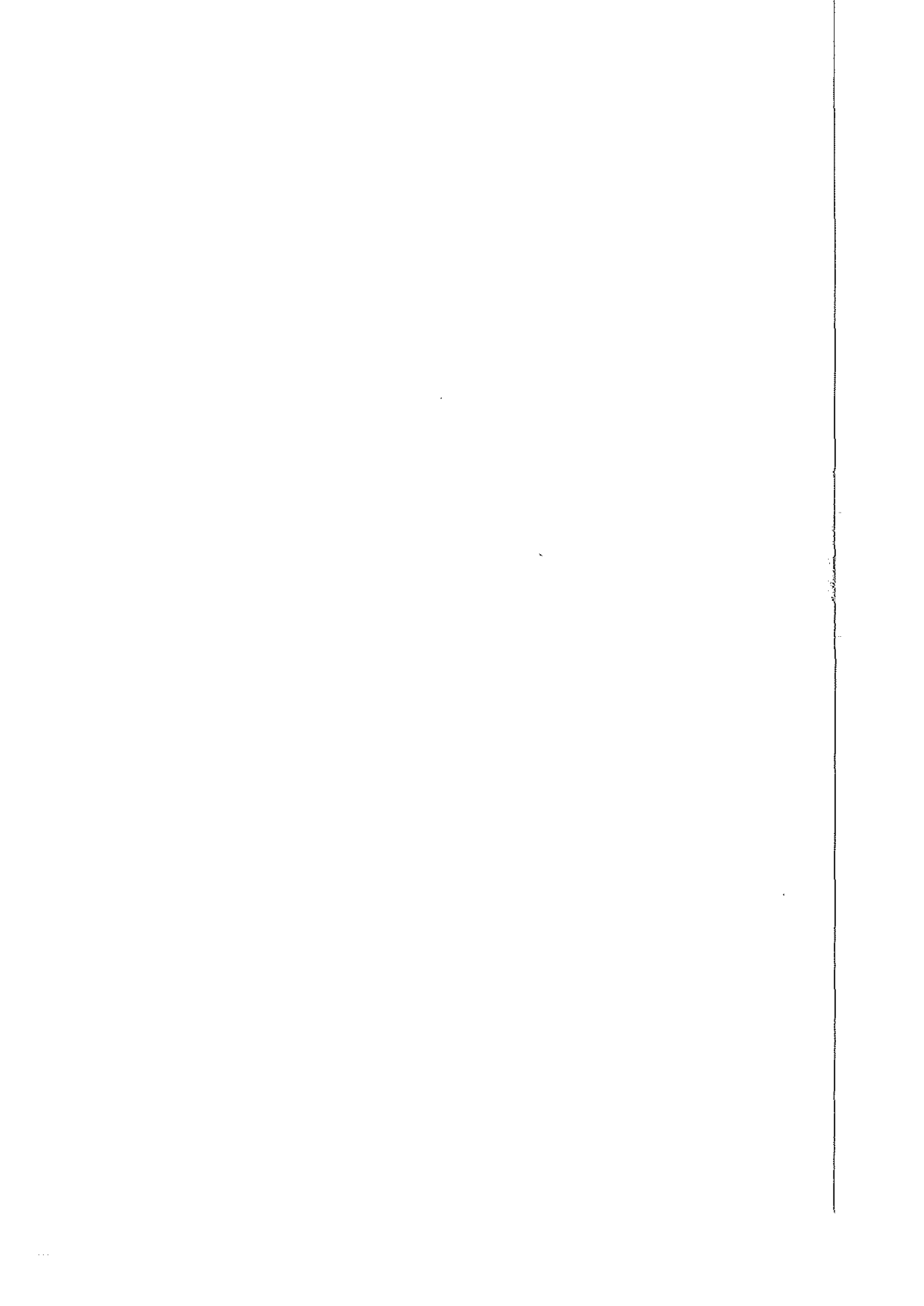
Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Umwelt Band 8

ISSN 1433-5530
ISBN 3-89336-222-3

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.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 10905005 gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG	1
2 ALLGEMEINE METHODISCHE GRUNDLAGEN.....	4
2.1 ZIELE UND PROBLEME VON WIRKUNGSANALYSEN.....	4
2.1.1 <i>Vorbemerkung</i>	4
2.1.2 <i>Maßnahmenarten</i>	7
2.1.3 <i>Maßnahmenwirkungen</i>	9
2.1.4 <i>Analysemethoden</i>	11
2.2 INTERNATIONALER VERGLEICH: METHODISCHE ANSÄTZE IN DEN ERSTEN NATIONALBERICHTEN DER VERTRAGSSTAATEN DER UN-KLIMAKONVENTION.....	15
2.3 MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN VON FORMALEN MODELLEN	20
2.3.1 <i>Fragestellungen</i>	20
2.3.2 <i>Anwendung eines Simulationsmodells am Beispiel der Methodik des DOE</i>	21
2.3.3 <i>Anwendungsmöglichkeiten von Optimierungsmodellen am Beispiel des IKARUS-Modells</i>	22
2.3.4 <i>Bedeutung von Unsicherheiten und Langfristaspekten</i>	25
3 KOMBINIRTER ANSATZ ZUR ABLEITUNG VON POLITIKSZENARIEN.....	28
3.1 ÜBERBLICK.....	28
3.2 SZENARIENKONZEPTE UND ENERGIESTATISTISCHE DATENGRUNDLAGEN	29
3.2.1 <i>Szenarienkonzepete</i>	29
3.2.2 <i>Energiestatistische Datengrundlagen</i>	33
3.3 ANWENDUNG EINES LINEAREN OPTIMIERUNGSMODELLS	38
3.3.1 <i>Vorzüge und Grenzen von Optimierungsmodellen</i>	38
3.3.2 <i>Einsatz des IKARUS-Optimierungsmodells für Politikszenarios</i>	41
3.3.3 <i>Kostenberechnung im IKARUS-Optimierungsansatz</i>	42
3.4 EXPERTENSCHÄTZUNGEN SEKTORALER MAßNAHMENWIRKUNGEN	44
3.4.1 <i>Allgemeine Vorgehensweise</i>	44
3.4.2 <i>Umwandlungssektor und erneuerbare Energiequellen</i>	51
3.4.2.1 <i>Vorbemerkung</i>	51
3.4.2.2 <i>Elektrizitäts- und Fernwärmewirtschaft</i>	51
3.4.2.3 <i>Erneuerbare Energiequellen</i>	52
3.4.3 <i>Industrie und Kleinverbraucher</i>	58
3.4.3.1 <i>Vorbemerkungen</i>	58
3.4.3.2 <i>Industrie</i>	61
3.4.3.3 <i>Kleinverbraucher</i>	63
3.4.4 <i>Haushalte</i>	65
3.4.4.1 <i>Raumwärme</i>	65

3.4.4.2 Elektrische Geräte und Warmwasserbereitung.....	68
3.4.5 Verkehr.....	75
3.4.5.1 Vorbemerkungen.....	75
3.4.5.2 Wirkungen ausgewählter Einzelmaßnahmen im Verkehr.....	76
3.4.5.3 Wirkungen von Maßnahmenbündeln im Personen- und Güterverkehr.....	81
3.5 ZUSAMMENFÜHRUNG DER SEKTORALEN SCHÄTZUNGEN ZU GESAMTSZENARIEN.....	83
4 SCHLUßFOLGERUNGEN.....	87
5 LITERATURVERZEICHNIS.....	93

Verzeichnis der Abbildungen

2-1	Maßnahmen zur Überwindung von Innovationshemmnissen im Produktlebenszyklus CO ₂ -mindernder Investitionen	6
2-2	Erweitertes Modell des Umweltverhaltens	12
3-1	Kombinierter Ansatz zur Ableitung von Politikszenerarien	28
3-2	Grundstruktur des Prognosesystems der Prognos AG	31
3-3	Schematische Darstellung des Übergangs zwischen den Szenarien	32
3-4	Schema der deutschen Energiebilanz	35
3-5	Grundstruktur des IKARUS-Optimierungsmodells	38
3-6	Hemmnisse von Minderungspotentialen und mögliche Maßnahmen zu ihrer Überwindung	59
3-7	Altersstruktur für Haushalts-Großgeräte in Deutschland (alte Bundesländer) im Jahr 1992	70
3-8	Entwicklung des durchschnittlichen Verbrauchs von neuen Geschirrspülern und Waschmaschinen in Deutschland (alte Bundesländer), 1978-2005	72
3-9	CO ₂ -Emissionen in Deutschland bis 2005 in den drei Szenarien	84
3-10	Relative Veränderungen der CO ₂ -Emissionen in Deutschland von 1990 bis 2005 in den drei Szenarien	85

Verzeichnis der Tabellen

2-1	Angaben zur Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Verringerung energiebedingter CO ₂ -Emissionen in den ersten Nationalberichten	18
3-1	Ableitung der Szenarien zur Entwicklung der CO ₂ -Emissionen in der deutschen Industrie	34
3-2	Maßnahmenspezifische Aspekte von Wirkungsanalysen	49
3-3	Maßnahmenbündel zur Reduktion der CO ₂ -Emissionen in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher in Deutschland im „Mit-weiteren-Maßnahmen“-Szenario	63
3-4	Wirkung eines verstärkten Wärmeschutzes in Deutschland	67

Verzeichnis der Abkürzungen

a	Jahr
ABL	Alte Bundesländer (Westdeutschland)
BAB	Bundesautobahn
BAU	Business as usual (Status Quo)
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BGW	Bundesverband der Deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e. V.
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
CO ₂	Kohlendioxid
d	Tage
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
DK	Dieselmotortreibstoff
DOE	Department of Energy (USA)
EFOM	Energy Flow Model (Optimierungsmodell)
EIA	Energy Information Administration, DOE
EU	Europäische Union
EVU	Energieversorgungsunternehmen
FCCC	Framework Convention on Climate Change
GJ	Gigajoule
GWh	Gigawattstunden
h	Stunden
HEL	Heizöl, extra leicht
H _o	Oberer Heizwert, Brennwert
H _u	Unterer Heizwert
IDEAS	Integrated Dynamic Energy Analysis (Simulationsmodell)
IKARUS	Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien (BMBF-Projekt)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISI	Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
Kfz	Kraftfahrzeug

km	Kilometer
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
Lkw	Lastkraftwagen
LP	Lineare Programmierung (Optimierungsmethode)
MARKAL	Market Allocation (Optimierungsmodell)
Mill.	Million
Mrd.	Milliarde
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
MWSt	Mehrwertsteuer
NBL	Neue Bundesländer (Ostdeutschland)
Pkm	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
PJ	Petajoule
SKE	Steinkohleneinheit
STE	Forschungsgruppe Systemanalyse und Technologische Entwicklung, Forschungszentrum Jülich
t	Tonne
tkm	Tonnenkilometer
T	Tempolimit (km/h)
TFF	Forschungsgruppe Technologiefolgenforschung, Forschungszentrum Jülich
TJ	Terajoule
toe	Tonnen Öläquivalent
VDEW	Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke
VEAG	Vereinigte Energiewerke AG
VIK	Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V.
VK	Vergaserkraftstoff
W	Watt
WSchV	Wärmeschutzverordnung

Energieeinheiten

Dimensionsvorsatzzeichen

m	Milli	10^{-3}
k	Kilo	10^3
M	Mega	10^6
G	Giga	10^9
T	Tera	10^{12}
P	Peta	10^{15}
E	Exa	10^{18}

Energie und Leistungseinheiten

J	Joule	$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$
W	Watt	

Umrechnungsfaktoren

1 kcal	4,1868 kJ
1 kWh	3 600 kJ
1 kg SKE	29 308 kJ
1 kg RÖE	41 868 kJ
1 m ³ Erdgas	31 736 kJ

1 Einleitung

Die Bundesregierung hat sich im Jahr 1990 das Ziel gesetzt, den Ausstoß von Kohlendioxid in Deutschland bis zum Jahr 2005 gegenüber 1990 um 25 % zu reduzieren, und dieses Ziel mehrfach bekräftigt. In den vergangenen Jahren sind bereits zahlreiche politische Maßnahmen zum Klimaschutz ergriffen worden und weitere Maßnahmen sind in der Planung oder werden derzeit noch diskutiert. Zur Bewertung der nationalen klimaschutzpolitischen Anstrengungen im Hinblick auf die Zielerreichung ist es erforderlich, daß die Wirkungen von bisherigen und weiteren Maßnahmen möglichst verläßlich quantifiziert werden können.

Wirkungsanalysen von politischen Maßnahmen zum Klimaschutz sind auch Bestandteil der nationalen Berichtspflicht im Rahmen der Klimarahmenkonvention. Die entsprechenden Guidelines der FCCC „Policies and Measures“ (Geneva, 17 July 1996) enthalten allgemeine Vorgaben zur Beschreibung der Maßnahmen und deren Wirkungen, die sektoral differenziert darzustellen sind. Die zugrunde liegenden Begriffe zur Kategorisierung von Maßnahmen und Wirkungen sind allerdings zum Teil nicht eindeutig definiert. Offen bleibt hierbei auch die Frage, mit welchen methodischen Verfahren die Wirkungen der Politik hinreichend genau geschätzt und einzelnen Maßnahmen zugerechnet werden können.

Vor diesem Hintergrund hat das Umweltbundesamt (UBA) im Rahmen seines Umweltforschungsplanes das Forschungszentrum Jülich mit der Durchführung eines Vorhabens „Politiksznarien für den Klimaschutz“ beauftragt. Dabei sollten auch die Erkenntnisse und Instrumente aus dem vom BMBF geförderten IKARUS-Projekt¹ für die Berichterstattung der Bundesregierung und für Strategieüberlegungen im Rahmen der Klimarahmenkonvention nutzbar gemacht werden. Unter administrativer Koordination durch die Programmgruppe „Technikfolgenforschung“ des Forschungszentrums Jülich (TFF) ist das Gesamtvorhaben vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), vom Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), von der Programmgruppe „Systemforschung und Tech-

¹ Im IKARUS-Projekt ist ein Instrumentarium entwickelt worden, mit dem Strategien zur Reduktion energiebedingter Klimagasemissionen untersucht und hinsichtlich der einzusetzenden Techniken nach bestimmten Kriterien - Minimierung der Kosten bei vorgegebenen Emissionen - optimiert werden können. Das Instrumentarium besteht aus energiewirtschaftlichen Computer-Modellen sowie einer umfangreichen Datenbank.

nologische Entwicklung“ des Forschungszentrums Jülich (STB) und vom Öko-Institut durchgeführt worden.

Die Ergebnisse des Vorhabens „Politiksznarien für den Klimaschutz“ sind in zwei Bänden veröffentlicht worden (Ziesing u.a. 1997, Schön u.a. 1997). In dem vorliegenden Band 3 werden methodische Fragen der Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung behandelt. Dabei wird das Ziel verfolgt, unter Berücksichtigung von Erfahrungen, die bei den durchgeführten Wirkungsschätzungen gemacht worden sind, einen allgemein verständlichen Leitfaden für künftige Analysen zu formulieren. In diesem Bericht werden sowohl die verwendeten methodischen Ansätze als auch Möglichkeiten und Grenzen einer methodisch verbesserten Wirkungsanalyse behandelt.

Unter Methoden von Wirkungsanalysen im Klimaschutz werden hier speziell solche Verfahren verstanden, die geeignet sind, zur Schätzung der Auswirkungen von klimaschutzpolitischen Optionen auf den Energieverbrauch und damit auf die Emission von Treibhausgasen beizutragen.² Dabei geht es zum einen um die Schätzung der Wirksamkeit von einzelnen politischen Maßnahmen und zum anderen um die Quantifizierung der klimapolitischen Zielerreichung in Politiksznarien im Sinne von *bedingten* Prognosen.

Bei solchen Wirkungsanalysen ergibt sich eine Reihe von methodischen Problemen. So lassen sich in der Regel die Wirkungen von einzelnen Maßnahmen empirisch nur schwer von anderen Einflußgrößen isolieren und zum Teil müssen Auswirkungen von Maßnahmen geschätzt werden, mit denen in der Vergangenheit noch keine Erfahrungen gemacht werden konnten. Außerdem bestehen zwischen einzelnen Maßnahmen substitutive oder komplementäre Wirkungsbeziehungen, so daß Maßnahmenkombinationen nicht einfach als Summe von Einzeleffekten bewertet werden können. Hinzu kommt, daß die zu analysierenden politischen Maßnahmen zum Teil qualitativen Charakter haben und daß Politikwirkungen insbesondere im Fall einer indirekten Beeinflussung der Energieverwendung grundsätzlich nur unter bestimmten Hypothesen quantifizierbar sind. Rein technologische Analysen sind deshalb ebenso wenig ausreichend wie rein ökonomische Analysen. Vor allem im Hinblick darauf, wie Energieverbraucher auf

² Auswirkungen auf die Volkswirtschaft sowie Klimateffekte waren nicht Gegenstand der Untersuchung. Die hier behandelten Schätzungen von Effekten auf Energieverbrauch und Emissionen sind aber eine wesentliche Voraussetzung für solche weitergehenden Analysen, zu denen insbesondere auch integrierte Analysen des Klimaschutzes zählen.

klimapolitische Maßnahmen reagieren, sind vielmehr auch Erkenntnisse sozialwissenschaftlicher Verhaltensmodelle zu berücksichtigen.

Die vorliegende Studie ist folgendermaßen aufgebaut: In *Kapitel 2* werden zunächst allgemeine methodische Grundlagen der Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung behandelt. Es werden Ziele und Probleme von Wirkungsanalysen politischer Maßnahmen erläutert, eine internationale Übersicht vorliegender Ansätze - insbesondere auf der Basis von Nationalberichten gemäß der Klimarahmenkonvention - gegeben sowie Möglichkeiten und Grenzen von formalen Modellen diskutiert. In *Kapitel 3* wird ein kombinierter Ansatz zur Ableitung von Politikszenerarien für den Klimaschutz vorgestellt, der zum einen auf modellgestützten, technikorientierten Optimierungsrechnungen und zum anderen auf politikorientierten Expertenschätzungen beruht. Nach einem kurzen Überblick werden die zu untersuchenden Szenarienkonzepte („Ohne Maßnahmen“, „Mit Maßnahmen“, „Mit weiteren Maßnahmen“) erläutert. Es wird beschrieben, wie das im IKARUS-Projekt entwickelte lineare Optimierungsmodell in diesem Zusammenhang zur Ableitung von Handlungsfeldern angewendet werden kann und wie im Rahmen von Expertenschätzungen die Wirkungen einzelner Maßnahmen und Maßnahmenbündel quantifiziert werden können. Aufgrund von sektorspezifischen Wirkungsmechanismen und einer ungleichen Datenverfügbarkeit ist hierfür - ausgehend von einem allgemeinen Untersuchungsansatz - eine sektorale Vorgehensweise angemessen. Die sektoralen Ergebnisse sind dann in einem weiteren Schritt in strategische Politikszenerarien zu überführen. Die wichtigsten methodischen Schlußfolgerungen werden in *Kapitel 4* zusammengefaßt.

Die Diskussion methodischer Aspekte der Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung orientiert sich an den Anwendungserfahrungen für Deutschland. In anderen Ländern mögen in Abhängigkeit von politischen, wirtschaftlichen und sozialen Gegebenheiten sowie von den verfügbaren Analyseinstrumenten und Datengrundlagen durchaus andere Wege erfolgreich beschritten werden.

Wie die Gesamtstudie ist diese Teilstudie arbeitsteilig durchgeführt worden, wobei die Federführung vom DIW wahrgenommen wurde. Die Entwürfe der einzelnen Kapitel sind in der folgenden Arbeitsteilung erstellt worden: Kapitel 1: DIW, Kapitel 2: DIW, TFF (2.2), Kapitel 3: DIW, ISI (3.4.3), STE (3.3, 3.4.4.1), Öko-Institut (3.4.4.2), Kapitel 4: DIW, ISI, TFF.

2 Allgemeine methodische Grundlagen

2.1 Ziele und Probleme von Wirkungsanalysen

2.1.1 Vorbemerkung

Die bisher vorliegenden nationalen Berichte nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen unterscheiden sich sehr stark sowohl hinsichtlich der genannten Maßnahmen zum Klimaschutz als auch der Methoden zur Schätzung ihrer Wirkungen auf die Emissionen von Treibhausgasen (vgl. Abschnitt 2.2 und Kunz, Holtrup 1997).

Der *erste Bericht* der Bundesrepublik Deutschland (BMU 1994) umfaßt neben der Darstellung der Ausgangslage insbesondere eine Zielformulierung der Bundesregierung und einen Katalog von beschlossenen und geplanten politischen Maßnahmen. Zur Quantifizierung der künftigen Entwicklung der Emissionen in Deutschland werden im ersten Nationalbericht unterschiedliche Prognosen und Szenarien zitiert, die einen Teil der bereits wirksamen oder eingeleiteten Maßnahmen berücksichtigen, die aber nicht den gesamten Maßnahmenkatalog.

Die Bundesregierung macht sich allerdings „keine Aussage dieser Prognosen zu eigen, berücksichtigt deren Ergebnisse aber bei ihrer Politikgestaltung“ (BMU 1994, S. 130). Die Aussagefähigkeit von Prognosen und Szenarien sei allgemein dadurch eingeschränkt, daß sie stets lediglich als bedingte Vorhersagen zu verstehen sind. Unvorhersehbare Ereignisse können naturgemäß nicht einbezogen werden. Außerdem weist die Bundesregierung auf methodische Grenzen einer Schätzung künftiger Wirkungen von politischen Maßnahmen hin: „Ein weiterer Grund für die Relativität von Prognosen und Szenarien zum Energieverbrauch und zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen besteht schlicht und einfach darin, daß sich die künftigen Effekte bestimmter Maßnahmen selbst mit dem methodisch ausgeklügelsten Instrumentarium nicht abschätzen lassen“ (ebd.). Als Beispiele werden hierfür die Novelle zum Energiewirtschaftsgesetz, die Novelle zur Honorarordnung für Architekten und Ingenieure und Maßnahmen zur Beratung, Information, Aus- und Fortbildung genannt. Ferner sei zu beachten, „daß Interdependenzen zwischen den einzelnen Maßnahmen dazu führen, daß die Summe in der Regel mehr ergibt als die Addition der Wirkungen von Einzelementen“ (ebd.). Andererseits

kann die Summierung isolierter Schätzungen von Maßnahmenwirkungen aber auch zu beträchtlichen Doppelzählungen führen, die es zu vermeiden gilt.

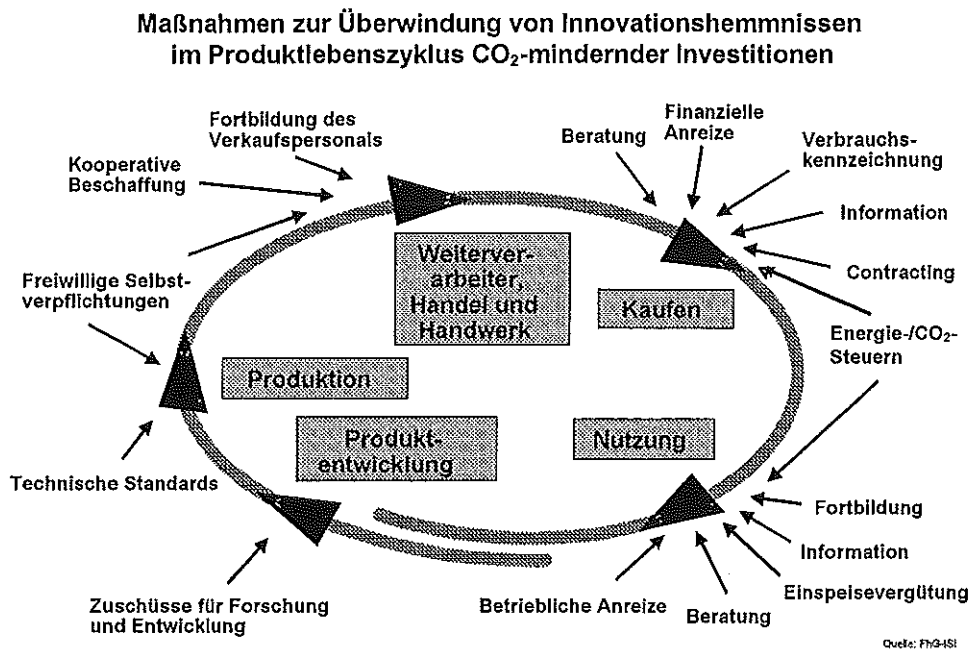
Die hiermit skizzierte Position der Bundesregierung zeigt zum einen ordnungspolitische Bedenken gegenüber detaillierten Zukunftsentwürfen und hebt zum anderen die besonderen methodischen Schwierigkeiten hervor, die mit Wirkungsanalysen politischer Maßnahmen verbunden sein können. Allerdings gibt die Bundesregierung in ihrem *zweiten Nationalbericht* nach der Klimarahmenvention der Vereinten Nationen (BMU 1997) für eine Reihe der bereits ergriffenen Maßnahmen Schätzungen der CO₂-mindernden Wirkungen an, die im wesentlichen auf Ergebnissen von Ziesing u.a. (1997) und Hillebrand u.a. (1996) beruhen.

Klimapolitische Maßnahmen zielen insbesondere darauf ab, zusätzliche Möglichkeiten der Energieverbrauchsminderung und der Energieträgersubstitution zu nutzen. Im Vergleich zu einer Situation ohne solche Eingriffe (Referenzentwicklung) geht es darum, zum einen wirtschaftliche Potentiale schneller auszuschöpfen und zum anderen - soweit nötig - auch (noch) nicht rentable Minderungsoptionen zu mobilisieren.

- Soweit es sich um wirtschaftliche Möglichkeiten der Emissionsminderung handelt (z.B. durch verbesserte Energieeffizienz, Energieträgersubstitution, Recycling), stehen diesen in vielen Fällen sektorspezifische Hemmnisse entgegen, die von der Phase im Produktlebenszyklus abhängen und durch entsprechende Maßnahmen vermindert, beseitigt oder umgangen werden können (Abbildung 2-1).
- Bisher (noch) nicht rentable Vorhaben können vor allem durch gezielte finanzielle Anreize oder durch Erhöhung der Energiepreise forciert werden, zuweilen aber auch durch intensivierte Entwicklung zur Kostensenkung oder Maßnahmen der kooperativen Beschaffung.

Die Betrachtung des Produktlebenszyklus sowie der Akteure bei einem konkreten Vorhaben macht unmittelbar deutlich, daß häufig nicht nur ein einziges Hemmnis zu überwinden ist, sondern ein Bündel von Hemmnissen. Dementsprechend wird zur Erreichung eines Zieles selten nur eine einzelne Maßnahme ergriffen, sondern ein Maßnahmenbündel (Abbildung 2-1). Das Design eines geeigneten Maßnahmenbündels erfordert aber möglichst klare Informationen über die Wirkung von einzelnen Maßnahmen und über die Kombinationswirkung des Bündels.

Abbildung 2-1



In diesem Kapitel sollen Ziele und Probleme von Wirkungsanalysen unter methodischen Aspekten näher betrachtet werden. Im Vordergrund steht hierbei zunächst die Frage, was unter Maßnahmen (2.1.2), deren Wirkungen (2.1.3) und Methoden zur Wirkungsanalyse (2.1.4) verstanden wird. Wichtige begriffliche Unterscheidungen betreffen u.a.

- technische, sektorale und politisch-instrumentelle Kategorien von „Maßnahmen“,
- technikbezogene, sektorbezogene und übergreifende Maßnahmen,
- Einzelmaßnahmen und Maßnahmenbündel,
- bereits wirksame und weitere (beschlossene, geplante oder vorgeschlagene) Maßnahmen,
- bisherige und künftige Wirkungen von Maßnahmen,
- kurzfristige und langfristige Effekte,
- isolierte und integrierte Analysen sowie
- Strategieanalysen und Wirkungsanalysen.

2.1.2 Maßnahmenarten

Politische versus technische Maßnahmen

Die erreichte oder angestrebte Verminderung der Emissionen kann grundsätzlich nach unterschiedlichen Systematiken differenziert werden. Von Bedeutung sind hierbei vor allem technische, sektorale und politisch-instrumentelle Kategorien, die (nur) zum Teil miteinander in Beziehung stehen:

- Aus *technischer* Sicht werden Investitionen und organisatorische Änderungen zur Energieeinsparung oder Energieträgersubstitution häufig als "Maßnahme" bezeichnet, zum Beispiel Wärmedämmung im Altbau, energiesparende Fahrweise im Straßenpersonenverkehr und Nutzung von Windkraftanlagen.
- In *sektoraler* Hinsicht kann nach Bereichen wie Haushalte, Kleinverbraucher, Industrie, Verkehr und Energieversorgung unterschieden, und es können tiefere Disaggregationen vorgenommen werden.
- Auf der Ebene der *politischen* Instrumente sind hingegen neben unmittelbar allokatons-wirksamen Staatstätigkeiten (z.B. Infrastrukturmaßnahmen, gesetzliche Auflagen) insbesondere ökonomische Anreize und Sanktionen von Bedeutung, die das Verhalten von Privaten beeinflussen.

Politik besteht in aller Regel nicht in Strukturveränderungen, z.B. in einem „Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung“, sondern in Maßnahmen zur Förderung solcher Änderungen. Die methodischen Anforderungen an Wirkungsanalysen sind aber weitaus höher, wenn politisch-instrumentelle Kategorien an Stelle von technischen oder sektoralen Kategorien zugrunde gelegt werden.

Im Sprachgebrauch der Allgemeinen Wirtschaftspolitik werden die Eingriffsmöglichkeiten der Politikträger als *Instrumente* bezeichnet. Instrumente lassen sich nach Arten (Eingriffsfelder, Präzisionsgrade, Rolle des Staates) und Intensitäten (Breite des Eingriffsfeldes, Intensität des Zwanges) unterteilen. Unter einer (politischen) *Maßnahme* versteht man die Anwendung eines Instrumentes mit einer bestimmten Dimensionierung in einer konkreten Situation. Politische *Alternativen* beziehen sich in der Regel auf *Kombinationen* von Maßnahmen. Zur Bewertung

der Alternativen sind deren *Konsequenzen* im Hinblick auf (politische) *Zielbündel* zu vergleichen.

In Wirtschaftssystemen, die auf dezentralen Entscheidungen von Wirtschaftssubjekten beruhen, wirken (politische) Maßnahmen in der Regel nur mittelbar. Zur Analyse von Wirkungen solcher Maßnahmen müssen deshalb insbesondere die Reaktionen der Betroffenen und die hiervon ausgehenden Folgewirkungen untersucht werden.

In der energiepolitischen Diskussion werden häufig auch bestimmte Änderungen der Energienachfrage oder der Struktur des Energiesystems als Maßnahmen bezeichnet (z.B. stärkere Nutzung erneuerbarer Energien, verstärkte Wärmedämmung, Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung). Es handelt sich hierbei allerdings in der Regel um Aktivitäten von privaten Produzenten und Konsumenten; diese Aktivitäten dürfen deshalb, auch wenn sie politisch beeinflusst sind, nicht mit politischen Maßnahmen gleichgesetzt werden. Zur Unterscheidung werden sie als *technische Maßnahmen* bzw. *Verhaltensänderungen* gekennzeichnet. Aus energiepolitischer Sicht können diese Änderungen in der Regel als Konsequenzen im Sinne von Zwischenzielen interpretiert werden.

Information, Meinungsbeeinflussung, Verhandlungen, Änderungen der Preise und direkte Verhaltensnormierungen sind Instrumentenarten mit unterschiedlich hoher Eingriffsintensität des Staates und entsprechend geringem Freiheitsspielraum der Privaten. Je geringer die Eingriffsintensität ist, desto schwieriger sind die Wirkungen von Maßnahmen zu schätzen.

Technikbezogene, sektorbezogene und übergreifende Maßnahmen

Energie- und umweltpolitische Maßnahmen lassen sich nach ihrer Zielgruppe in technikbezogene, sektorbezogene und übergreifende Maßnahmen unterteilen. Technikbezogene Maßnahmen verbessern oder verschlechtern die Einsatzbedingungen einzelner Technologien oder Technologiebereiche. Während ihr Primäreffekt einzelne Techniken betrifft, werden in der Regel aber zugleich die Einsatzbedingungen anderer Techniken verändert (z.B. kann eine verstärkte Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung das Potential betrieblicher Wärmenutzung vermindern). Dies gilt entsprechend auch für sektorbezogene Maßnahmen. Wie bei allgemei-

nen, technik- bzw. sektorübergreifenden Maßnahmen sind deshalb bei Wirkungsanalysen grundsätzlich die Interdependenzen im gesamten Energiesystem zu berücksichtigen.

Einzelmaßnahmen und Maßnahmenbündel

Einzelne Maßnahmen sind in ihren Auswirkungen oftmals schwerer abzuschätzen als Maßnahmenbündel. In der praktischen Politik sind reine Einzelmaßnahmen, die sich allein auf die Anwendung eines Instrumentes beschränken, selten, weil in der Regel zugleich mehrere Hemmnisse zu überwinden sind. Häufiger werden - selbst im Rahmen einzelner Gesetze oder Verordnungen - zugleich mehrere Instrumente angewendet und im übrigen auch mehrere Ziele verfolgt. Aus diesem Grund ist die begriffliche Abgrenzung zwischen Einzelmaßnahmen und Maßnahmenbündeln unscharf. Der fließende Übergang reicht hierbei von singulären Maßnahmen bis zu Programmen.

2.1.3 Maßnahmenwirkungen

Die Wirkungen von Maßnahmen bestehen allgemein in der Änderung von Zustandsvariablen, die ursächlich auf die betrachteten Maßnahmen zurückzuführen sind. Maßnahmenwirkungen sind deshalb grundsätzlich durch einen - zum Teil hypothetischen - Vergleich einer Situation mit Maßnahme(n) und einer (Referenz-) Situation ohne diese Maßnahme(n) zu messen. Als Zustandsvariablen werden hier insbesondere der (nach Sektoren disaggregierte) Energieverbrauch und die Emission von Treibhausgasen betrachtet. Die relevanten Fragen lauten also z.B. ex post: „Wie hätte sich die Emission (im Vergleich zum tatsächlichen Verlauf) entwickelt, wenn bestimmte Maßnahmen in der Vergangenheit nicht ergriffen worden wären?“ Oder ex ante: „Wie würde sich die Emission (im Vergleich zu einem Referenzfall „ohne diese Maßnahmen“) entwickeln, wenn künftig bestimmte Maßnahmen ergriffen würden?“

Interdependenzen

Aufgrund von Interdependenzen kann sich die Wirkung eines Maßnahmenbündels von der Summe der Wirkungen der Einzelmaßnahmen erheblich unterscheiden. Auch bei einer weiteren Abgrenzung des Begriffes der Einzelmaßnahme im Sinne einer eigenständigen politischen Ak-

tivität können deren Wirkungen nicht isoliert von anderen strategischen Aktivitäten bewertet werden. Die Wirkungsbeziehungen von Maßnahmen sind zum Teil komplementär (z.B. verbesserte Information, finanzielle Förderung von Anlagen und Abbau von Hemmnissen in Genehmigungsverfahren), zum Teil substitutiv (z.B. Maßnahmen zur Verbesserung der Heizungsanlagen und solche zur Verbesserung der Wärmedämmung) und zum Teil alternativ (z.B. Initialberatung mit Kreditprogramm oder Contracting). In derartigen Fällen sind die Potentiale unterschiedlicher Minderungsoptionen voneinander abhängig. Dies gilt auch für die Wirkungen von Maßnahmen unterschiedlicher Akteure auf den Ebenen des Bundes, der Länder und der Gemeinden. Darüber hinaus machen weitere Interdependenzen des Energiesystems eine integrierte Gesamtanalyse erforderlich.

Maßnahmenstatus und Zeitbezug der Wirkungen

Im Katalog der Bundesregierung sind sowohl bereits ergriffene als auch weitere, geplante Maßnahmen aufgeführt. Dies ist auch in vielen anderen Länderberichten der Fall. Darüber hinaus sind zusätzliche Maßnahmen zu betrachten, mit denen die gesteckten Ziele erreicht werden können. Neben dem Status der Maßnahme (geplant, vorbereitet, beschlossen, umgesetzt) sind gegebenenfalls auch die Laufzeit der Programme und die Aussichten auf Folgeaktivitäten nach deren Auslaufen von Bedeutung. Entscheidend ist letztlich der Zeitraum, in dem die Maßnahmen Wirkungen entfalten.

Die internationalen Verpflichtungen weisen einen relativ kurzen Zeitbezug auf. Bis zu den Jahren 2005 und 2010 sind jedoch nur in erheblich beschränkteren Maße Änderungen im Energiesystem möglich als in längerer Perspektive. Die Notwendigkeit, insbesondere die kurzfristigen Zielbeiträge zu quantifizieren, sollte allerdings nicht dazu führen, daß in Strategieüberlegungen die Langfristeffekte zu wenig beachtet werden.

Wirkungsanalysen sind danach zu unterscheiden, ob sie ex post oder ex ante durchgeführt werden müssen. Evaluationen von bereits durchgeführten Programmen oder Projekten können sich weitgehend auf Ex-Post-Analysen mit Hilfe empirischer Verfahren beschränken. Zukunftsgerichtete Fragen ergeben sich hierbei allerdings aus der zeitlichen Ausstrahlung der

Maßnahmen. Die Hauptschwierigkeit empirischer Verfahren besteht darin, die Wirkung von bestimmten politischen Maßnahmen von dem Einfluß anderer Faktoren zu isolieren.³

Im Zusammenhang mit der Erreichung von Zielen in der Zukunft (wie in der Nationalberichterstattung nach FCCC) sind primär Ex-Ante-Analysen erforderlich. Eine Ex-Post-Analyse der bisherigen Wirkungen klimaschutzpolitischer Maßnahmen ist hierbei insofern relevant, als vorliegende Bestandsaufnahmen und Grundlagen von Vorhersagen zum Teil dem aktuellen Stand angepaßt werden müssen. Außerdem können auf der Basis von Erfahrungen mit Evaluationen zurückliegender Programmwirkungen unter Umständen Anhaltswerte für die Quantifizierung spezifischer Wirkungen aktueller und künftiger Maßnahmen gewonnen werden, wobei in der Vergangenheit beobachtete Kausalzusammenhänge auf die Zukunft übertragen werden. In der Praxis können sich mehr oder weniger bedeutsame Einschränkungen dadurch ergeben, daß die empirischen Korrelationen nicht signifikant sind oder daß die Annahme der (ökonometrischen) Strukturkonstanz⁴ nicht zutrifft.⁵

2.1.4 Analysemethoden

Empirische Verfahren sind für perspektivische Fragen besonders in den Fällen von geringer Bedeutung, in denen Veränderungen zu untersuchen sind, die in Art oder Ausmaß in der Vergangenheit gar nicht beobachtet werden konnten. Auch aus diesem Grund können etwa empirische Preiselastizitäten bei der Analyse von Wirkungen einschneidender klimapolitischer Maßnahmen nur eine beschränkte Rolle spielen.

Darüber hinaus wird die Aussagekraft ökonometrischer Verfahren zur Wirkungsanalyse von Gesamtstrategien auch dadurch begrenzt, daß zahlreiche Maßnahmen (Information, Beratung, Fortbildung, ordnungsrechtliche Maßnahmen) qualitativer Natur sind und entsprechende empirische Analysen selbst mit großem Aufwand zu nur wenig belastbaren Ergebnissen kämen. Ökonomische Ansätze sind aus diesen Gründen mehr oder minder auch auf die Postulierung

³ Beispielsweise ist es sehr schwierig, die Wirkungen besonderer Anstrengungen im Rahmen von Selbstverpflichtungen der Wirtschaft von den Wirkungen anderer Maßnahmen wie Kreditprogramme für mittelständische Unternehmen, Fortbildung, Information und Initialberatung der Energieagenturen zu isolieren.

⁴ In der Ökonometrie versteht man hierunter die Zeitinvarianz von empirischen Verhaltensgleichungen und deren Parameter.

⁵ Es kommt hinzu, daß die Einsparpotentiale zum Teil begrenzt sind (z.B. die Möglichkeiten zur Substitution von Kohle durch Erdgas).

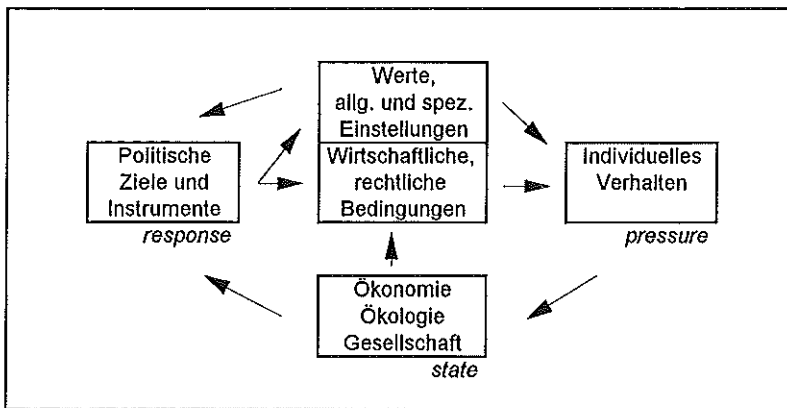
von plausiblen Verhaltensannahmen (des rationalen oder eingeschränkt rationalen Verhaltens) angewiesen. Häufig wird zudem kritisiert, daß technische Möglichkeiten in rein ökonomischen Ansätzen nicht hinreichend berücksichtigt werden, während sie gerade im Zusammenhang mit Energie- und Umweltfragen ausschlaggebend sein können.

Auf der anderen Seite können rein technisch ausgerichtete Analyseverfahren allein nicht zu befriedigenden Antworten führen, weil sie weder Wirtschaftssubjekte noch Institutionen explizit abbilden (insbesondere keine verhaltens-, kenntnis- oder rechtlich-bedingten Hemmnisse).

Dies macht deutlich, daß die Wirkungen von politischen Maßnahmen im Rahmen von Klimaschutzpolitischen Szenarien letztlich nur interdisziplinär unter Anwendung unterschiedlicher methodischer Ansätze der Einzeldisziplinen und der Systemforschung analysiert werden können.

Abbildung 2-2

Erweitertes Modell des Umweltverhaltens



Die Bewertung von umweltpolitischen Maßnahmen muß neben technologischen Aspekten politische, ökologische, ökonomische, soziologische und sozialpsychologische Faktoren berücksichtigen. In Abbildung 2-2 wird dieser Zusammenhang auf der Basis des sozialwissenschaftlichen Verhaltensmodell schematisch veranschaulicht (Diekmann 1997). Im Zentrum stehen dabei die Determinanten individuellen Umweltverhaltens. Dies sind zum einen Dimensionen des Umweltbewußtseins wie Werthaltungen und Einstellungen und zum anderen wirtschaftliche und rechtliche Beschränkungen. Das Verhalten von Individuen verändert direkt und indirekt

den Zustand der Umwelt, der Gesamtwirtschaft und der Gesellschaft. Politik wirkt indirekt auf das Verhalten, und zwar sowohl über Änderungen der wirtschaftlichen und rechtlichen Bedingungen als auch über Veränderungen von Werten und Einstellungen. Ziele und Instrumente der Politik werden andererseits nicht allein vom Zustand und von Veränderungen der ökologischen, ökonomischen und sozialen „Wirklichkeit“ beeinflusst, sondern ebenso durch individuelle Wertungen, die etwa in Akzeptanz politischer Ziele und Maßnahmen zum Ausdruck kommen.

Sowohl das unmittelbare Umweltverhalten als auch die Akzeptanz staatlicher Maßnahmen werden von Umweltwissen und (insbesondere speziellen) Einstellungen zu Umweltbelangen beeinflusst.⁶ Umweltpolitisch erforderlich sind deshalb grundsätzlich neben materiellen Anreizen und der Beseitigung von institutionellen Hemmnissen auch Aufklärung und Überzeugung.

Isolierte und integrierte Analyseansätze

Bei der Analyse der Wirkungen von politischen Maßnahmen sind nach dem Grad der konsistenten und nachvollziehbaren Wirkungszurechnung rein qualitative Angaben, isolierte Expertenschätzungen und (partielle oder integrierte) Modellanalysen zu unterscheiden.

Eine Beschränkung auf qualitative Einschätzungen ist insbesondere in solchen Fällen unausweichlich, bei denen die Maßnahmen selbst nicht hinreichend quantitativ konkretisiert sind, Daten über den Wirkungspfad fehlen oder beträchtliche Wechselwirkungen bestehen.

Quantitative Expertenschätzungen umfassen die Definition der Maßnahme oder des Maßnahmenbündels, die Schätzung der Primärwirkungen (Auswirkung auf unmittelbar Betroffene), die Schätzung der Sekundärwirkungen (Ausstrahlungseffekte, Mitnahmeeffekte usw.), die Schätzung der ausgelösten technischen Maßnahmen (z.B. Errichtung von Anlagen), die Berechnung der energiewirtschaftlichen Auswirkungen (z.B. Substitutionseffekte) und die Berechnung der Auswirkungen auf die Emissionen; hinzu kommen (zumindest qualitative) Bewertungen der

⁶ Diese Zusammenhänge unterliegen zeitlich erheblichen Veränderungen in der gesellschaftlichen Prioritäten-Skala (z.B. heute: Arbeitslosigkeit, Kriminalität, Rentensicherung, Einkommenssicherung, Umwelt). Mit der Änderung der Prioritätenskala ändern sich auch Wahrnehmungs- und Entscheidungsbereitschaft der Energieverbraucher und damit die Wirkung klimapolitischer Maßnahmen.

Maßnahmen nach weiteren umwelt- und gesamtwirtschaftlichen Kriterien (vgl. Abschnitt 3.4.1).

Eine isolierte Analyse der Wirkungen von einzelnen Maßnahmen kommt möglicherweise aufgrund der Wirkungsabhängigkeit von anderen Maßnahmen und der allgemeinen Interdependenz des Energiesystems zu fehlerhaften Einschätzungen. Integrierte Gesamtanalysen des Energiebereichs weisen deshalb gegenüber getrennten Schätzungen auf der Basis von Expertenurteilen prinzipiell methodische Vorzüge auf. Darüber hinaus sind Verknüpfungen mit anderen Bereichen der Volkswirtschaft zu beachten.

Quantitative Energiemodelle stoßen allerdings ihrerseits an zwei Grenzen:

- Es gibt kein Modell, das sämtliche Facetten der technischen, wirtschaftlichen und politischen Möglichkeiten zur Emissionsreduktion adäquat abbilden könnte.
- Selbst sehr vereinfachende Modelle erfordern in der Regel einen hohen Aufwand für die Bereitstellung und Aufbereitung geeigneter Daten.

Zudem sind Modelle jeweils für bestimmte Fragestellungen formuliert. Aus diesen Gründen müssen sich in der praktischen Anwendung Expertenschätzungen, die neben isolierten Maßnahmenwirkungen auch Angaben zu Interdependenzen umfassen sollten, und unterschiedliche modellgestützte Analysen ergänzen.

Strategie- und Wirkungsanalysen

Eine quantitative Zurechnung von Zielbeiträgen kann sowohl in einer Strategieanalyse als auch im Rahmen einer Wirkungsanalyse erfolgen. Hierbei stehen unterschiedliche Fragestellungen im Vordergrund. Während mit zielorientierten Strategieanalysen untersucht wird, welche Optionen zur Erreichung bestimmter Ziele vorteilhaft sind, wird in Wirkungsanalysen versucht, die Auswirkungen vorgegebener Maßnahmen auf bestimmte Zielgrößen abzuleiten. Zielorientierte Emissionsszenarien werden häufig mit Optimierungsmethoden der linearen Programmierung (LP) abgeleitet, wobei die Ergebnisse im wesentlichen von technischen Parametern und Kostengrößen determiniert werden. Unter mehr oder weniger großen Einschränkungen können solche LP-Modelle auch zur Beantwortung von Teilfragen der Wirkungsanalyse beitragen (vgl. Abschnitt 2.3.3). Die Ermittlung der Wirkungen von energie- und umweltpolitischen Maßnah-

men erfordert allerdings letztlich ein Gedankenexperiment, in dem die Reaktionen und Wechselwirkungen - ohne Beschränkung auf optimale Entwicklungen und unter Einbezug von institutionellen Gegebenheiten und menschlichem Verhalten - simuliert werden (vgl. Abschnitt 3.1).

2.2 Internationaler Vergleich: Methodische Ansätze in den ersten Nationalberichten der Vertragsstaaten der UN-Klimakonvention

Um u.a. eine erste Übersicht über international verwandte Methoden zur Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Reduktion von energiebedingten CO₂-Emissionen zu erhalten, wurden die bis März 1997 zugänglichen Nationalberichte von 25 Vertragsstaaten der Klimakonvention analysiert. Eine Übersicht der Ergebnisse ist in der folgenden Tabelle 2-1 zusammengestellt. Eine detailliertere Beschreibung befindet sich in Kunz, Holtrup (1997).

Es ist festzustellen, daß die Nationalberichte stark voneinander abweichende Informationstiefen aufweisen, die - zusammen mit anderen Faktoren wie verschiedene Systeme der Datenerhebung, unterschiedliche Datenqualität, unterschiedliche Untersuchungszeiträume oder Ausgangsdaten (z.B. klimabereinigte Werte) - ihre Vergleichbarkeit einschränken.

In vier Fällen (Griechenland, Großbritannien, Ungarn, USA) wurde ein kompletter Maßnahmenkatalog im Hinblick auf die Wirkung seiner Einzelmaßnahmen quantifiziert. Bei allen übrigen Nationalberichten erfolgte die Quantifizierung der Reduktionspotentiale sehr uneinheitlich. So stellten manche Staaten getrennt sektorale und Gesamtreduktionspotentiale dar. Jedoch wurde keine Quantifizierung von Einzelmaßnahmen der jeweiligen Sektoren vorgenommen. Wiederum andere Staaten legten nur das Gesamtreduktionspotential dar. Eine Aufschlüsselung nach Sektoren fand nicht statt. Bei der Darstellung der sektoralen Reduktionspotentiale blieb es darüber hinaus unklar, inwiefern Reduktionspotentiale von Einzelmaßnahmen summiert oder Überlappungseffekte berücksichtigt wurden.

Bei der Darstellung sektoraler Minderungen ist nicht eindeutig ersichtlich, ob nur die reinen Minderungseffekte der Reduktionsmaßnahmen aufgeführt wurden oder inwieweit - wie in Ungarn - die allgemeine, wirtschaftlich bedingte Emissionsentwicklung berücksichtigt wurde. Es ist also nicht möglich, die Wirkung einzelner politischer Maßnahmen isoliert von den allgemei-

nen wirtschaftlichen Tendenzen zu betrachten. Eine Aufteilung der Darstellung, auf der einen Seite in ein Szenario, das die Entwicklung der CO₂-Emissionen ohne korrigierende Maßnahmen darlegt, und auf der anderen Seite eine detaillierte Aufstellung der Wirksamkeit von Einzelmaßnahmen, wäre jedoch gerade in Hinblick auf die sich schnell ändernde und schwer kalkulierbare wirtschaftliche Situation in den Staaten Mittel- und Osteuropas sehr wünschenswert.

Es wurden überwiegend Maßnahmen im Bereich der technischen Effizienzsteigerung und Emissionsminderung sowie der Energieträgersubstitution quantifiziert. Wirkungen von Maßnahmen im Bereich Verhaltensänderung (z.B. Beratung, Schulung) und marktwirtschaftliche Maßnahmen (z.B. CO₂-Steuer) wurden von den Staaten nicht berechnet. Nur in vier Fällen sind Reduktionseffekte durch Verhaltensänderung (Großbritannien, Ungarn) oder durch eine CO₂- und Energiesteuer (Niederlande, Schweden) ermittelt worden. Es liegen jedoch keine Angaben zur methodischen Vorgehensweise vor.

Auch die Methodik der Berichterstellung weist - trotz konkreter Vorgaben von Seiten des Klimasekretariats - große Verschiedenheit auf. Die Maßnahmen werden in den einzelnen Länderberichten unterschiedlich in eine Wirkungsabschätzung einbezogen. Auch die Kategorisierung in umgesetzte und geplante Maßnahmen wird nicht einheitlich gehandhabt. In den Reduktionsabschätzungen werden, soweit sie angegeben sind, verschiedenartige Annahmen zugrunde gelegt. So ist eine Internalisierung der externen Kosten nur in Ausnahmen - z.B. Dänemark - berücksichtigt. Ebenfalls werden externe CO₂-Emissionen von Stromimporten kaum einbezogen; die Ausnahme ist hier wiederum Dänemark. Als Ausgangswerte werden in einigen Fällen klimabereinigte Werte verwendet, wie im Fall Dänemarks, der Niederlande und der Schweiz.

Es ist nicht in allen Nationalberichten dargelegt, wie die Einzelmaßnahmen für eine Wirkungsabschätzung quantifiziert worden sind, d.h., wie die Staaten die Reduktionsmaßnahmen modelliert haben, welche Einsparpotentiale angenommen wurden und wie von den energetischen Einsparpotentialen auf die absoluten Reduktionspotentiale in Mill. t CO₂ geschlossen wurde. In vielen Nationalberichten wurden Angaben für vereinzelt Reduktionsmaßnahmen aufgeführt. Aber nur in dem Technical Report der USA wurden sehr detaillierte Angaben zur Quantifizierung der Einzelmaßnahmen *und* zur jeweiligen methodischen Vorgehensweise gemacht.

Häufig ist die Wirkungsabschätzung der Maßnahmenkataloge nicht ausschließlich von staatlichen Stellen bearbeitet worden, sondern auch von nicht-staatlichen und wissenschaftlichen Institutionen (z.B.: Österreich, Schweiz). Um nähere Informationen zu den verwendeten Modellen und der methodischen Vorgehensweise zu erhalten, müßte man die entsprechenden Veröffentlichungen der beauftragten Institutionen hinzuziehen.

In vielen Staaten wurden zwar Angaben zu erwarteten Reduktionspotentialen gemacht, es erfolgte jedoch keine Aussage über die verwendeten Berechnungsmodelle. Zu diesen Ländern zählen Dänemark, Finnland, Frankreich, Italien, Japan, Lettland, Österreich, Russische Föderation, Schweiz, Spanien und die Tschechei.

Die übrigen Staaten verwendeten ein breites Spektrum an Modellen. Es wurden überwiegend makroökonomische Modelle sowie Energie- und Emissionsmodelle eingesetzt. Die unterschiedlichen Modelle wurden je nach Staat einzeln oder in Kombination miteinander verwendet. Zudem sind entweder das gesamte Energiesystem oder nur sektorale Ausschnitte betrachtet worden. Auch hier ist wiederum zu berücksichtigen, daß die unterschiedliche methodische Vorgehensweise und die verschiedenen Modelle mit ihren individuellen Parametern zu nicht vergleichbaren Resultaten führen.

Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, daß sich die o.g. Aussagen auf den *ersten* Nationalbericht der Vertragsstaaten der UN-Klimakonvention beziehen. Inzwischen wurde der zweite Nationalbericht fällig, für den auf der Basis von 15 Berichten der "Annex I-Länder" der "Subsidiary Body for Implementation" der Klimakonvention eine erste Bewertung vorlegte (FCCC 1997). Er bescheinigt den neuen Nationalberichten im Vergleich zu den ersten eine höhere Qualität, insbesondere hinsichtlich der Nachvollziehbarkeit der Grundannahmen für Projektionen energiebezogener CO₂-Freisetzungen. Doch werden weiterhin große Unterschiede in der Behandlung von Politiken und Maßnahmen bemängelt wie unterschiedliche Informationstiefen und -breiten, mangelnde Behandlung der Überwachungsverfahren, zum Teil fehlende Angaben über benutzte Modelle, fehlende Angaben über Kosten und auch die zum Teil unübersichtliche Zahl von Maßnahmen. Keine wesentlichen Fortschritte werden bei der Bewertung von Unsicherheiten gesehen. Insgesamt scheint es noch eines erheblichen Verfahrensentwicklungs- und Abstimmungsaufwandes zu bedürfen, bis die gewünschten Anforderungen der Nachvollziehbarkeit, Vergleichbarkeit und Transparenz der Nationalberichte erreicht sind.

Tabelle 2-1

**Angaben zur Wirkungsabschätzung von Maßnahmen
zur Verringerung energiebedingter CO₂-Emissionen
in den ersten Nationalberichten**

Land	Methode	Modell	Berücksichtigte Maßnahmen
Australien	a. BAU-Szenario b. Wirkungsabschätzung Maßnahmen c. Minderungsszenario	a. Energie-, Verkehrsmodell b. Studien, Modelle c. aus Differenz von a. u. b.	umgesetzte Maßnahmen
Dänemark	BAU-Szenario (1993) und Wirkungsabschätzung Maßnahmen (Energie- und Verkehrssektor getrennt, für 2000 und 2005)	k.A.	umgesetzte Maßnahmen ab 1990 umgesetzt und geplante Maß- nahmen (ab 1994)
Deutschland	a. BAU-Szenario b. Minderungsszenarien c. Wirkungsabschätzung Maßnahmen	k.A.	b. umgesetzte Maßnahmen (bis 1995)
Finnland	a. BAU-Szenario b. Wirkungsabschätzung Maßnahmen c. Minderungsszenario	a. k.A. b. k.A. c. aus Differenz von a. u. b.	b./c. ausgewählte umgesetzte Maßnahmen
Frankreich	a. Referenzszenario A b. Referenzszenario B c. Moderates / Zentrales Szenario (incl. Wirkungsabschätzung Maßnahmen)	k.A.	c. umgesetzte und geplante Maßnahmen
Griechenland	a. BAU-Szenario b. Referenzszenario c. 3 \$/Barrel CO ₂ -Steuer-Szenario d. 10 \$/Barrel CO ₂ -Steuer-Szenario e. verschiedene technische Szenarien b.-e. incl. Wirkungsabschätzung Maßnahmen	k.A.	b.-e. umgesetzte und geplante Maßnahmen
Groß- britannien	a. Referenzszenario b. Wirkungsabschätzung Maßnahmen	k.A.	umgesetzte und geplante Maß- nahmen
Irland	Referenzszenario	k.A.	umgesetzte und geplante Maß- nahmen
Italien	a. BAU-Szenario b. Wirkungsabschätzung Maßnahmen c. Minderungsszenario	k.A. c. aus Differenz von a und b	umgesetzte Maßnahmen
Japan	a. BAU-Szenario b. langfristige Energieprognose c. Wirkungsabschätzung Maßnahmen	a. k.A. b. k.A. c. aus Differenz von a und b	umgesetzte Maßnahmen
Kanada	a. Endenergiebedarfsprognose b. Wirkungsabschätzung Maßnahmen c. Minderungsszenario	a. Makroökonomisches Modell IFSD b. Sektorale Modelle c. aus Differenz von a und b	umgesetzte und in der Umsetzung begriffene Maßnah- men des Bundes, der Länder und Provinzen
Lettland	a. pessimistisches Szenario b. Referenzszenario (incl. Wirkungs- abschätzung Maßnahmen) c. optimistisches Szenario	k.A.	b. umgesetzte und geplante Maßnahmen
Neuseeland	a. BAU-Szenario b. Wirkungsabschätzung Maßnahmen c. Minderungsszenario	a. Energie- und Emissions- modelle b. k.A. c. aus Differenz von a und b	b. umgesetzte Maßnahmen c. umgesetzte und geplante Maßnahmen
Niederlande	a. Energy Policy Scenario b. Wirkungsabschätzung Maßnahmen c. weitere Szenarien zum Vergleich	Makroökonomisches Modell CENEKA, verschiedene Teilmodelle LMS, FACTS, ATTACK, SELPE, RIM- plus	a. umgesetzte Maßnahmen b. geplante Maßnahmen (ab 1994)

k.A.: keine Angabe; BAU: Business As Usual.

Quelle: Kunz, Holtrup (1997).

noch Tabelle 2-1

**Angaben zur Wirkungsabschätzung von Maßnahmen
zur Verringerung energiebedingter CO₂-Emissionen
in den ersten Nationalberichten**

Land	Methode	Modell	Berücksichtigte Maßnahmen
Norwegen	a. Emissionsprognose, mittelfrist. (incl. Wirkungsabschätzung Maßnahmen) b. Emissionsprognose, langfristig	a. Makroökonom. Modell MODAG, Teilmodelle b. Gleichgewichtsmodell MSG	b./c. umgesetzte Maßnahmen (incl. CO ₂ -Steuer)
Österreich	a. Referenzszenario b. Reduktionsszenario (incl. Wirkungsabschätzung Maßnahmen) c. Stabilisierungsszenario	k.A.	a. umgesetzte Maßnahmen b./c. umgesetzte und geplante Maßnahmen
Polen	a. Emissionsprognose, mittelfristig b. Emissionsprognose, langfristig	a. Makroökonom.-/Energiemodelle b. Makroökonom.-/Energiemodelle	a./b. keine Maßnahmen berücksichtigt
Portugal	Emissionsprognose (incl. Wirkungsabschätzung Maßnahmen)	k.A.	geplante und umgesetzte Maßnahmen
Rußland	a. optimistisches Szenario b. realistisches Szenario (incl. Wirkungsabschätzung Maßnahmen) c. pessimistisches Szenario	k.A.	b. geplante Maßnahmen
Schweden	a. BAU-Szenario b. Referenzszenario c. Wirkungsabschätzung Maßnahmen	a./b. Optimierungsmodell MARKAL Makroökonomisches Modell MACRO c. Optimierungsmodell MARKAL	b/c. umgesetzte Maßnahmen
Schweiz	Energieszenario (incl. Wirkungsabschätzung Maßnahmen)	k.A.	umgesetzte Maßnahmen
Spanien	a. BAU-Szenario b. Referenzszenario (incl. Wirkungsabschätzung Maßnahmen)	k.A.	umgesetzte Maßnahmen
Tschechien	a. BAU-Szenario b. Wirkungsabschätzung Maßnahmen	k.A.	umgesetzte Maßnahmen
Ungarn	a. BAU-Szenario b. Energiespar-Szenario (incl. Wirkungsabschätzung Maßnahmen)	a./b. mass balance methode	geplante Maßnahmen
USA	a. BAU-Szenario b. Wirkungsabschätzung Maßnahmen	a. IDEAS-Instrumentarium (erweitertes FOSSIL 2) b. IDEAS-Instrumentarium, Teilmodelle	a. umgesetzte Maßnahmen b. geplante Maßnahmen

k.A.: keine Angabe; BAU: Business As Usual.

Quelle: Kunz, Holtrup (1997).

2.3 Möglichkeiten und Grenzen von formalen Modellen

2.3.1 Fragestellungen

In den vorliegenden Nationalberichten, die im Rahmen der Klimarahmenkonvention erstellt wurden, sind die in Abschnitt 2.1 dargestellten Elemente - soweit entsprechende quantitative Angaben vorliegen - in unterschiedlichen Mischungen zu finden. Die Quantifizierungen werden je nach Methode und Datenlage als Summe, bezogen auf einzelne Sektoren, Techniken, Maßnahmengruppen, Programme oder Einzelmaßnahmen angegeben. Aufgeführt sind in der Regel sowohl früher initiierte als auch zusätzliche Aktivitäten, wobei der Zeitbezug der Wirkungen oft unklar bleibt.

In vielen Ländern werden offenbar zugleich isolierte Schätzungen vorgenommen und integrierte Modelle angewendet. Energiemodelle werden entsprechend der oben erläuterten Unterscheidung von Strategie- und Wirkungsanalysen von einigen Ländern zur Quantifizierung von zielorientierten Reduktionsszenarien und von anderen Ländern zur Simulation der energie- und emissionsseitigen Auswirkungen eingesetzt.

Bei der Interpretation von Ergebnissen modellgestützter Szenarienanalysen ist die Unterscheidung von Simulations- und Optimierungsmodellen von wesentlicher Bedeutung. Hierbei geht es nicht allein um methodische Unterschiede der Modellformulierung, sondern vor allem darum, für welche Fragestellungen das angewendete Modell entwickelt worden ist. Außerdem setzt eine angemessene Interpretation von Modellergebnissen die Kenntnis darüber voraus, welche Mechanismen endogen im Modell abgebildet und welche Variablen dem Modell exogen vorgegeben werden. Vor diesem Hintergrund werden im folgenden zwei Beispiele von Simulations- und Optimierungsmodellen im Hinblick auf die Kombination von Expertenschätzungen und Modellanwendungen näher betrachtet.

Die Aussagefähigkeit quantitativer Analysen hängt maßgebend von der Qualität der zugrunde liegenden Daten ab. Probleme von Unsicherheiten - die gerade bei längerfristigen Zukunftsanalysen auftreten - werden deshalb gesondert in Abschnitt 2.3.4 behandelt.

2.3.2 Anwendung eines Simulationsmodells am Beispiel der Methodik des DOE

Besonders ausführlich ist das methodische Vorgehen in dem Bericht der USA erläutert (DOE 1994). Ausgehend von einer Liste mit 247 Optionen sind zunächst 146 Maßnahmen detailliert beschrieben worden, die wiederum zu 50 Aktionen zusammengefaßt wurden. Hiervon betreffen 31 Aktionen die Reduktion energiebedingter Treibhausgase. Die Aktionen sind im wesentlichen als Abweichungen eines Politikszenarios (Combined Policy Case) von einer Referenzentwicklung (Administration Baseline) definiert, die aus einer Modifikation einer vorliegenden Prognose (EIA Annual Energy Outlook 1993) abgeleitet wurde. Zur Wirkungsanalyse sind zunächst isolierte Schätzungen von Experten vorgenommen worden („stand alone analysis“): Für jede Maßnahme werden die technischen und strukturellen Anhaltswerte genannt, die den Abschätzungen zugrunde liegen. Öffentliche Ausgaben und private Investitionen werden für jede Maßnahme und Energiekosteneinsparungen sowie Treibhausgasreduktionen für (Unter-) Gruppen von Maßnahmen ausgewiesen.⁷ Eine integrierte Gesamtanalyse der energiebezogenen Maßnahmen ist mit dem Modell IDEAS (Integrated Dynamic Energy Analysis Simulation) durchgeführt worden, das eine Weiterentwicklung des Modells Fossil2 darstellt.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, in welchem Maße die integrierte Analyse mit Hilfe des Simulationsmodells zu anderen Ergebnissen führt als die bloße Addition der abgestimmten Expertenschätzungen. Während in den Expertenschätzungen Potentialüberschneidungen und Synergieeffekte bereits berücksichtigt wurden, sind die Interdependenzen der nachfrageseitigen Maßnahmen mit dem Modell nur in wenigen Fällen untersucht worden. Da die Daten der Expertenschätzungen im Modell berücksichtigt wurden, ergaben sich hinsichtlich der nachfrageseitigen Aktionen insgesamt kaum Abweichungen zwischen der Summe der Abschätzungen und den Modellergebnissen. Ähnliches gilt auch für die angebotsseitigen Maßnahmen.

⁷ Die Maßnahmen sind folgenden Gruppen zugeordnet:

- Commercial Energy Efficiency Actions: Partnership Programs; Development, Commercialization, and Training
- Residential Energy Efficiency Actions: Appliance Improvements; Home Improvements;
- Industrial Energy Efficiency Actions: Accelerated Efficiency; Pollution Prevention;
- Transportation Energy Efficiency Actions
- Energy Supply Actions: Enhanced Natural Gas Utilization; Enhanced Renewable Commercialization; Improve Performance of Existing Zero Emissions Technology (Hydro); Improved Energy Efficiency
- Methane Reduction and Recovery Actions
- HFC, PFC, and Nitrous Oxide Reduction Actions
- Forestry Actions

Insgesamt betrachtet beruhen die Ergebnisse des Berichtes der amerikanischen Regierung somit im wesentlichen auf den unabhängigen Abschätzungen der Experten, während die integrierte Gesamtanalyse mit Hilfe des Simulationsmodells vor allem der allgemeinen Konsistenzprüfung gedient hat.

2.3.3 Anwendungsmöglichkeiten von Optimierungsmodellen am Beispiel des IKARUS-Modells

Energetisch orientierte Optimierungsmodelle können im Zusammenhang mit der Bewertung von Klimaschutzpolitik für folgende Fragen herangezogen werden:

- a) Ableitung von technischen Zielszenarien zur Identifikation anzustrebender Strukturänderungen des Energiesystems im Vergleich zu einer Referenzentwicklung (Kostenminimierung bei vorgegebenen Höchstmissionen als gesamtwirtschaftliches Entscheidungskalkül).
- b) Ableitung von bedingten Projektionen über die künftige Struktur des Energiesystems auf der Basis von exogenen Prognosen der energieverbrauchsbestimmenden Faktoren (Kostenminimierung als Erklärungsmodell für dezentrale Entscheidungen).
- c) Approximative Schätzung der Wirkung insbesondere von Maßnahmen, die unmittelbar technische Parameter oder Kosten von Energietechniken oder Energieträgern beeinflussen wie Energiesteuern, Subventionen usw. (Kostenminimierung als Erklärungsmodell für dezentrale Entscheidungen).⁸
- d) Analyse der energiewirtschaftlichen Folgewirkungen von modellexogen geschätzten Impulsen (Kostenminimierung als eingeschränktes Erklärungsmodell für dezentrale Entscheidungen). Hierunter ist beispielsweise die Abschätzung von Auswirkungen einer einzelnen Technologie auf das Gesamtsystem zu verstehen, wobei die Höhe des Einsatzes (z.B. Produktion) dem Modell in Form einer Restriktion exogen vorgegeben wird.

⁸ Ob Auswirkungen einer Energiesteuer oder von Subventionen mit einem Optimierungsmodell abgeschätzt werden können, ist nicht unumstritten. Kritiker verweisen auf einen Bruch zur unterstellten Modellphilosophie, nach der Steuern keinen monetären Aufwand darstellen. Darüber hinaus haben Steuern, deren eigentliches Charakteristikum eine Lenkungswirkung ist, im Modell - anders als in der Realität - keinen Einfluß auf die Nachfrage nach Energiedienstleistungen.

Die Anwendungsmöglichkeiten (a) und (b) beziehen sich zwar nicht auf Wirkungsanalysen, sie können in diesem Zusammenhang dennoch von Interesse sein: Denn mit der Ableitung von technischen Zielszenarien (a) wird gezeigt, daß die politischen Ziele zumindest technisch erreichbar sind; und es können Anhaltspunkte darüber gewonnen werden, welche Techniklinien unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Aspekte stärker genutzt werden sollten. Hauptanwendung von solchen Optimierungsrechnungen ist die Kostenminimierung bei vorgegebenen Höchstemissionen als gesamtwirtschaftliches Entscheidungskalkül. Für solche Zwecke sind Optimierungsmodelle wie das in Abschnitt 3.3 dargestellte IKARUS-LP-Modell, MARKAL und EFOM entwickelt worden.

Zusätzlich erlaubt die quasi prognostische Anwendung (b) durch die Ableitung von Referenzszenarien einen Vergleich mit Status-Quo-Vorhersagen, die auf der Basis anderer methodischer Ansätze - unter Berücksichtigung unvollkommener Märkte - gewonnen werden.

Anders als im Fall (a) ist die Kostenminimierung im Fall (b) wie auch in den Fällen (c) und (d) als approximativer Erklärungsansatz für dezentrale Entscheidungen zu verstehen.

Die Anwendungsmöglichkeiten (c) und (d) richten sich unmittelbar auf Aspekte der Wirkungsanalyse. Der Unterschied zwischen (c) und (d) besteht aber darin, daß in (c) versucht wird, die Reaktion auf bestimmte politische Maßnahmen durch einen Analogieschluß zu erklären, während in (d) mit dem linearen Energiemodell nur die energiesystemaren Folgewirkungen untersucht werden, wobei die Verhaltensreaktionen exogen vorgegeben werden müssen.

Zur Analyse der Reaktionen müssen im Fall (c) geeignete Schnittstellen des Modells identifiziert werden: Importpreise für Steuern, Investitionskosten für Investitionszuschüsse, variable Kosten für Betriebskostenzuschüsse, Mindestnutzungen für staatliche Demonstrationsprogramme, gelockerte Höchstnutzungen für Aufhebungen von Nutzungsbeschränkungen und Demands für Verminderungen der erforderlichen Energiedienstleistungen.

Einschränkungen ergeben sich hinsichtlich der Modellanwendung (c) - also der unmittelbaren Wirkungsanalyse auf Basis der linearen Optimierung - vor allem aus folgenden Punkten:

- Für Investoren und Energieverbraucher bedeutsame Hemmnisse sind im Modell nicht explizit abgebildet.
- Institutionelle und rechtliche Gegebenheiten können nicht berücksichtigt werden.
- Die Verhaltensannahme der Kostenminimierung gilt höchstens approximativ; andere Motive, eingeschränkte Information und Rationalität können nicht erfaßt werden.
- Unvollkommene Märkte führen nicht zu der im Modell implizierten optimalen Koordination einzelwirtschaftlicher Pläne.
- Für einzelwirtschaftliche Entscheidungssituationen gelten zum Teil andere Parameterkonstellationen (insbesondere hinsichtlich Finanzierung, Steuern, Abschreibungen, Liquidität).

Als Folge der Abweichungen zwischen einzelwirtschaftlicher und gesamtwirtschaftlicher Betrachtung ergeben sich nicht nur Abweichungen bei den monetären Bewertungsansätzen, sondern auch bei der Quantifizierung bzw. Interpretation der zugrundeliegenden Potentialbegrenzungen (Bounds).

Wirkungsanalysen im Sinne von (c) sind somit für einen Teil der politischen Maßnahmen mit dem LP-Modell möglich; aufgrund der restriktiven Voraussetzungen sind sie aber selbst für den in Betracht kommenden Teil der entsprechend quantifizierbaren Maßnahmen durch andere analytische Ansätze zu ergänzen.

Zur Anwendung von LP-Modellen nach dem Ansatz (d) liegen bis auf wenige Ausnahmen, die einzelnen Techniken (wie Kernenergie) betreffen, kaum Erfahrungen zur Analyse von Politik-szenarien vor, so daß die Vorteilhaftigkeit eines solchen Weges noch nicht beurteilt werden kann. Der Nachteil (oder Vorteil?) dieses Ansatzes besteht darin, daß die primären und sekundären Effekte politischer Maßnahmen außerhalb des Modells ermittelt werden müssen (können). Hauptaufgabe der Modellanwendung ist hierbei die Wahrung der inneren Konsistenz bei der Analyse der energiewirtschaftlichen Folgewirkungen, wobei zugleich auch die relevanten Emissionen ermittelt werden könnten. Verlässliche Daten vorausgesetzt, könnte die Analyse hierbei im übrigen auch leicht auf andere Treibhausgase und andere klimarelevante Emissionen ausgedehnt werden.

Im Rahmen dieses Ansatzes könnten wirtschaftliche Anreize zur Nutzung einer Technik indirekt als Erhöhung ihres Mindesteinsatzes abgebildet werden. Bei bereits gegebener Konkurrenzfähigkeit könnte der Abbau von rechtlichen Beschränkungen als Erhöhung - vorher geeignet reduzierter - Obergrenzen berücksichtigt werden. Hierdurch wird der Lösungsraum eingeschränkt oder ausgeweitet, wobei die Optimierungsfunktion des Modells - wenn auch in einem modifizierten Sinn - erhalten bleibt. Der Anteil begünstigter Techniken würde hierbei mehr oder weniger exogen erhöht. Die Optimierung verliert hierbei zwar an Aussagefähigkeit hinsichtlich kostenminimaler Strategien. Der Nutzen bestünde aber in einer konsistenten Ermittlung (der Differenzen) von Systemkosten und von Gesamtemissionen unter Beachtung der Interdependenzen innerhalb des Energiesystems.

Das IKARUS-Modell und seine Anwendungen im Rahmen des Forschungsvorhabens „Politiksznarien für den Klimaschutz“ werden im Abschnitt 3.3 erläutert.

2.3.4 Bedeutung von Unsicherheiten und Langfristaspekten

Formale Modelle zur Simulation oder Optimierung der Energieversorgung können im Vergleich zu nicht formalen Berechnungen aufgrund von Expertenschätzungen grundsätzlich insbesondere dazu beitragen, den Grad der Konsistenz und Transparenz von Annahmen und Ergebnissen zu erhöhen. Die Modelle selbst können allerdings nicht das Informationsproblem lösen, das vor allem darin besteht, daß gerade für Zukunftsanalysen viele Modellvorgaben mit großen Unsicherheiten behaftet sind.

Hierbei sind modelltypspezifische und allgemeine Unsicherheiten zu unterscheiden. Während für Simulationsmodelle die Spezifikationen und Parameter von Reaktionsfunktionen und Anpassungsmechanismen entscheidend sind, hängen die Ergebnisse von techno-ökonomischen Optimierungsmodellen wesentlich von Annahmen über technische Parameter, Restriktionen und Kosten ab.⁹ Weitgehend unabhängig von der Modellart kommt die grundlegende Schwierigkeit hinzu, daß die künftige Entwicklung der Rahmendaten der Analyse ungewiß ist. Dies gilt gleichermaßen für nicht formalisierte Szenarienrechnungen.

⁹ Für sehr langfristige Zeithorizonte (über 20 Jahre) gehen den Analytikern die Ideen konkreter Technik- und Kostenentwicklungen in den meisten Endenergiesektoren aus, insbesondere in der Industrie.

Die Randbedingungen zukunftsgerichteter energiewirtschaftlicher Analysen betreffen vor allem die Entwicklung der Leitgrößen des Energiebedarfs wie die allgemeine Wirtschaftsentwicklung, Veränderungen der sektoralen Wirtschaftsstruktur, demografische Veränderungen und gesellschaftlichen Wandel. Hinzu kommen Unsicherheiten über zentrale Einflußgrößen wie die künftige Entwicklung der vom Weltmarkt abhängigen Energiepreise.

Zukunftsanalysen können nicht auf eindeutige Weissagungen über künftige Entwicklungen bauen, sondern beruhen auf *bedingten* Prognosen exogener Analysevariablen und zum Teil schlicht auf „plausiblen“ Annahmen (Setzungen). Für die Berücksichtigung der hiermit verbundenen Unsicherheiten in Modellanalysen gibt es zwar eine Reihe unterschiedlicher methodischer Ansätze. Diese beruhen allerdings zum Großteil auf wahrscheinlichkeitstheoretischen Überlegungen, die den Einfluß von Risiken abbilden, aber nicht die prinzipielle Ungewißheit reduzieren können. In der praktischen Anwendung wird vor allem mit Hilfe von Sensitivitätsrechnungen und Szenarienvarianten versucht, dem Phänomen der Unsicherheit Rechnung zu tragen. Dies kann dazu beitragen, daß einzelne quantitative Analyseergebnisse nicht überinterpretiert werden.¹⁰

In diesem Zusammenhang ist die zeitliche Dimension von besonderer Bedeutung. Denn allgemein nimmt das Maß der Unsicherheit über künftige Entwicklungen mit der Entfernung des Zeithorizontes zu. Es ist deshalb in der Regel wesentlicher einfacher, die Wirkungen von Klimaschutzmaßnahmen z.B. im Jahr 2005 zu schätzen,¹¹ als entsprechende Aussagen für das Jahr 2020 oder gar 2050 abzuleiten.

Mit zunehmendem Analysezeitraum nimmt nicht allein die Unsicherheit über zentrale Rahmen-
daten zu. Im Hinblick auf Wirkungsanalysen kommt vor allem hinzu, daß die Wirkungsmechanismen von politischen Maßnahmen bei langfristiger Betrachtung anders zu gewichten sind als im Rahmen einer kurzfristigen Analyse (vgl. Abschnitt 2.1). Hierbei ist insbesondere zu beachten, daß im Zeitablauf die direkten Wirkungen politischer Maßnahmen abklingen, während

¹⁰ Andererseits kann sich mit zunehmender Variationsbreite der Resultate die Aussagekraft von Analysen im Hinblick auf Schlußfolgerungen für die Politik vermindern. Wichtig ist deshalb auch, wie die Ergebnisse präsentiert werden.

¹¹ Auf diesen Zeithorizont hat sich die in Band 1 und Band 2 dargestellte Analyse beschränkt.

indirekte Effekte, deren Quantifizierung naturgemäß mit größeren Unsicherheiten behaftet ist, eher noch zunehmen können.

Ein anderer Langfristaspekt betrifft generell den Gestaltungsspielraum, der aus unterschiedlichen technischen, sozio-ökonomischen und politischen Gründen mit dem Betrachtungshorizont zunimmt. Längerfristig sind deshalb größere Änderungen des Energiesystems möglich als bei kurzfristiger Betrachtung. Zum Teil können langfristig sogar Optionen in bedeutendem Umfang genutzt werden, die bei kurzfristiger Analyse gar nicht in Erscheinung treten.¹²

Die Gründe hierfür liegen in dem Zeitbedarf für

- Forschung und Entwicklung, z.B. im Bereich der Solartechnik,
- Marktentwicklung und Kostendegression, z.B. Windenergie,
- Änderungen langlebiger Strukturen, z.B. im Gebäudebestand oder Kraftwerkspark,
- Planung und Bau von Großprojekten, z.B. großen Kernkraftwerken oder Solarimport,
- Durchsetzung politischer Änderungen, z.B. internationale Abstimmung,
- Änderungen von menschlichen Verhaltensweisen und Lebensstil.

Der Hinweis darauf, daß allgemein „langfristig mehr möglich“ ist, darf allerdings nicht als Aufforderung mißverstanden werden, Anpassungsmaßnahmen auf die lange Bank zu schieben. Im Gegenteil: Aufgrund des zum Teil großen Zeitbedarfes für die Umsetzung von Strategien müssen Initiativen frühzeitig ergriffen werden. Außerdem kann ein Abwarten unter Umständen sogar dazu führen, daß Potentiale nachhaltig nicht genutzt werden können, z.B. dann, wenn man Gelegenheiten verpaßt, Strukturänderungen kostengünstig im Reinvestitionszyklus durchzuführen.

¹² Dies gilt insbesondere bei unteilbaren Projekten, für die im Einzelfall Ja-Nein-Entscheidungen gelten.

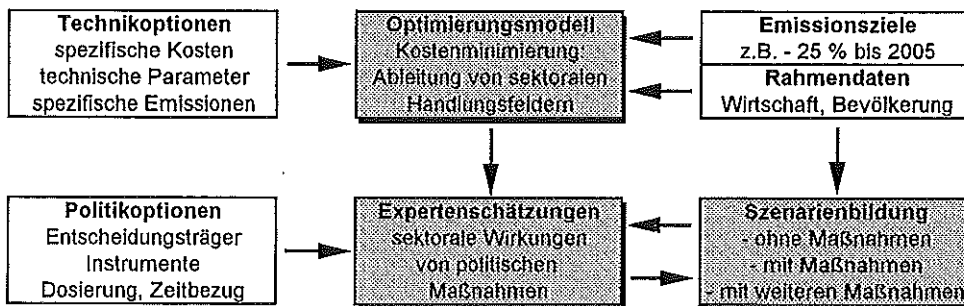
3 Kombinerter Ansatz zur Ableitung von Politikscenarien

3.1 Überblick

In diesem Kapitel wird gezeigt, wie ein technikorientiertes Optimierungsmodell und politikbezogene Expertenschätzungen kombiniert werden können, um Politikscenarien für den Klimaschutz abzuleiten (Abbildung 3-1).

Abbildung 3-1

Kombinerter Ansatz zur Ableitung von Politikscenarien



DIW 98

Das Optimierungsmodell trägt in diesem Rahmen insbesondere dazu bei, sektorale Handlungsfelder im Sinne von kosteneffizienten Technologieoptionen zu identifizieren. Maßgeblich sind hierbei die vorgegebenden nationalen Emissionsziele, die nicht überschritten werden sollen. Weitere wichtige Einflußgrößen sind die wirtschaftlichen und demographischen Rahmendaten und die im Betrachtungszeitraum zur Verfügung stehenden Technikoptionen, die durch spezifische Kosten, technische Parameter und spezifische Emissionen gekennzeichnet sind.

Unter Berücksichtigung dieser technikorientierten Handlungsfelder haben die Expertenschätzungen das Ziel, die Auswirkungen von geeigneten politischen Maßnahmen auf sektorale Energieverbräuche und Emissionen zu quantifizieren. Eine wesentliche Voraussetzung ist hierbei die möglichst genaue Beschreibung der zu analysierenden Politikoptionen.

In einem weiteren Schritt werden die - zunächst isoliert vorgenommenen - sektoralen Schätzungen miteinander verknüpft und zu gesamtenergiewirtschaftlichen Szenarien verdichtet. Hierbei sind insbesondere Wirkungen im Umwandlungsbereich und Interdependenzen der Maßnahmenwirkungen zwischen Sektoren zu beachten, die eine Rückkopplung mit den Expertenschätzungen erfordern können. Für politische Schlußfolgerungen sind vor allem die Ergebnisse des „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenarios“ denen des „Mit-Maßnahmen-Szenarios“ gegenüberzustellen.

Die hier relevanten Szenarienkonzpte (ohne Maßnahmen, mit Maßnahmen und mit weiteren Maßnahmen) werden im folgenden Abschnitt 3.2 näher erläutert. Eine Diskussion der Anwendung von linearen Optimierungsmodellen und speziell des IKARUS-Modells in diesem Zusammenhang gibt Abschnitt 3.3. Vor diesem Hintergrund wird in den Abschnitten 3.4 und 3.5 an Beispielen für Deutschland ausführlicher dargestellt, wie Expertenschätzungen in den einzelnen Sektoren vorgenommen werden und wie die sektoralen Ergebnisse zu Politikszenerarien zusammengeführt und verdichtet werden.

3.2 Szenarienkonzpte und energiestatistische Datengrundlagen

3.2.1 Szenarienkonzpte

Das zentrale Ziel der Untersuchung besteht darin, auf der Grundlage von Wirkungsabschätzungen einzelner Maßnahmen zur Reduktion von Emissionen Szenarien der energiewirtschaftlichen Entwicklung zu beschreiben, aus denen sich im Ergebnis die Gesamtentwicklung der Emissionen innerhalb einer Region ablesen läßt. Dies setzt eine möglichst klare Definition der zu betrachtenden Szenarien, eine eindeutige Zuordnung der Maßnahmen zu den jeweiligen Szenarien sowie die Vermeidung von Doppelzählungen von Maßnahmenwirkungen voraus.

In Anlehnung an die entsprechenden internationalen Vereinbarungen im Zusammenhang mit der Klimarahmenkonvention sind drei Szenarien zu unterscheiden:

- In einem „*Ohne-Maßnahmen-Szenario*“ wird unterstellt, daß zielgerichtete klimaschutzpolitische Maßnahmen weder in der Vergangenheit ergriffen wurden noch in Zukunft erwartet

werden können.¹² 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 tatsächlich umgesetzten Klimaschutzpolitischen Maßnahmen berücksichtigt werden. Entsprechend der Charakterisierung nach den FCCC-Guidelines (FCCC 1996) bleiben dabei 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 ist.
- In einem „*Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario*“ werden - neben den bisher ergriffenen - weitere Maßnahmen einbezogen, deren Umsetzung grundsätzlich geeignet sein könnte, ein definiertes Reduktionsziel zu realisieren.

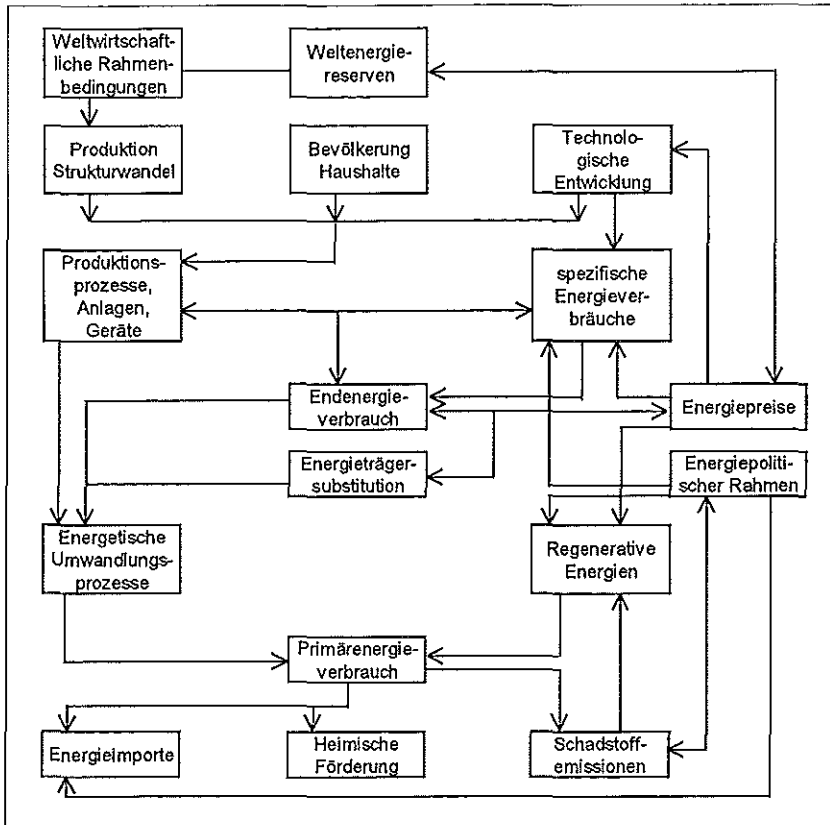
Für die Erarbeitung der Szenarien hat es sich als sehr nützlich erwiesen, daß als eine der Grundlagen auf eine vergleichsweise aktuelle energiewirtschaftliche *Prognose* zurückgegriffen werden konnte. Dabei handelt es sich um die Vorausschätzung, die im Jahre 1995 von der Prognos AG, Basel, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft vorgelegt worden war (Prognos 1995). Basis der Prognose waren u.a. Annahmen zu den wichtigsten gesamtwirtschaftlichen und demographischen Rahmendaten, zu den Energiepreisen, zu den technischen Veränderungen, zu den Verhaltensweisen von Energiekonsumenten und -anbietern sowie zu den Aktivitäten der politischen Entscheidungsträger.

Von Vorteil für die Szenarioarbeit war außerdem die Tatsache, daß diese Prognose nach Sektoren, Energieverwendungszwecken und Energieträgern äußerst differenziert aufgebaut war. Dadurch konnten insbesondere die quantitativen Effekte der in die Szenarien einbezogenen Maßnahmen auf einem hohen Konkretisierungsgrad konsistent abgebildet und verglichen werden. Einen Überblick über die Grundstruktur des verwendeten Prognosesystems gibt Abbildung 3-2 (Prognos 1995)

¹² 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.

Abbildung 3-2

Grundstruktur des Prognosesystems der Prognos AG



Mit dieser Prognose, die im wesentlichen als eine Status-quo-Prognose zu kennzeichnen ist, soll *eine* wahrscheinliche Entwicklung von Energieangebot und -nachfrage, aber auch der CO₂-Emissionen dargestellt werden. Dabei wurden bereits alle Klimaschutzmaßnahmen berücksichtigt, die bis Anfang 1995 ergriffen oder geplant worden waren. Insoweit kommt sie dem Konzept eines „Mit-Maßnahmen-Szenario“ sehr nahe.

Schon um die nach den FCCC-Guidelines geforderte Transparenz herzustellen, war es notwendig, auch die Wirkungen der bereits in der Prognose berücksichtigten Maßnahmen zu schätzen, zumal 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

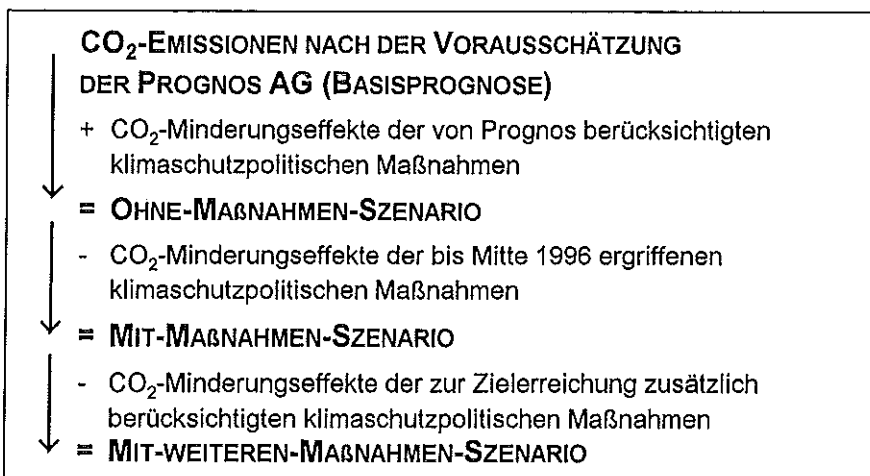
AG vorausgeschätzten CO₂-Emissionen um die emissionsmindernden Effekte der Maßnahmen korrigiert (konkret: erhöht) wurden.

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 korrigieren, 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; Ziesing u.a. 1997).

Die Bundesregierung hat sich mit Blick auf das Jahr 2005 äußerst ambitionierte Emissionsreduktionsziele gesetzt, die mit den bisher ergriffenen, im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ abgebildeten Maßnahmen allein nicht erreichbar wären. Die Diskrepanz zwischen Zielen und in diesem Szenario erwartbaren Zielerreichungsgraden erfordert eine Diskussion solcher weiterer Maßnahmen, die als geeignet erscheinen, diese Lücke zu schließen. Die Wege hierzu werden in einem „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ aufgezeigt.

Abbildung 3-3

Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen den Szenarien



Der Zusammenhang zwischen der Basisprognose der Prognose AG und den hier zu betrachtenden drei Szenario ist schematisch in Abbildung 3-3 dargestellt. In Tabelle 3-1 wird die Art der

Zuordnung einzelner Maßnahmen zu den jeweiligen Szenarien sowie der Übergang zwischen den Szenarien am Beispiel der Klimaschutzpolitischen Maßnahmen im Sektor der Industrie konkretisiert. Besonders wichtig ist es dabei, mögliche Überlappungen bei den Einzelwirkungen der Maßnahmen zu berücksichtigen, um von vornherein Doppelzählungen zu vermeiden; dies kommt in den Unterschieden zwischen den Zeilenwerten "Gewichtete Summe der Einzelmaßnahmen" zum Ausdruck.

3.2.2 Energiestatistische Datengrundlagen

Bei der Interpretation von Szenarien ist generell zu beachten, daß deren Aussagefähigkeit maßgebend von der Qualität der zugrunde liegenden Daten abhängt. In energiewirtschaftlichen Zukunftsanalysen sind technische Parameter, Kostengrößen und die für den Energiebedarf relevanten Rahmendaten der gesamtwirtschaftlichen und demographischen Entwicklung stets mit Unsicherheiten behaftet, die mit der Weite des Analysehorizontes zunehmen. Es kommt hinzu, daß im Zeitablauf die direkten Wirkungen politischer Maßnahmen abklingen, während indirekte Effekte, die allerdings nur mit größeren Unsicherheiten zu schätzen sind, eher noch zunehmen. Dies gilt insbesondere für die längerfristigen Wirkungen auf technischen Fortschritt, Marktentwicklung und Lebensstil.

Von erheblicher Bedeutung ist aber auch eine hinreichend gesicherte und differenzierte energiewirtschaftliche Datenbasis, die in der Bundesrepublik Deutschland mit den hier vorliegenden Energiebilanzen gegeben ist. Diese Energiebilanzen bieten in Form einer Matrix eine detaillierte Übersicht der energiewirtschaftlichen Verflechtungen. Sie erlauben damit nicht nur Aussagen über den Verbrauch von Energieträgern in den einzelnen Sektoren, sondern geben ebenso Auskunft über ihren Fluß von der Erzeugung bis zur Verwendung in den unterschiedlichen Erzeugungs-, Umwandlungs- und Verbrauchsbereichen.

Tabelle 3-1

**Ableitung der Szenarien zur Entwicklung
der CO₂-Emissionen in der deutschen Industrie¹⁾ (Angaben in Mill. t CO₂)**

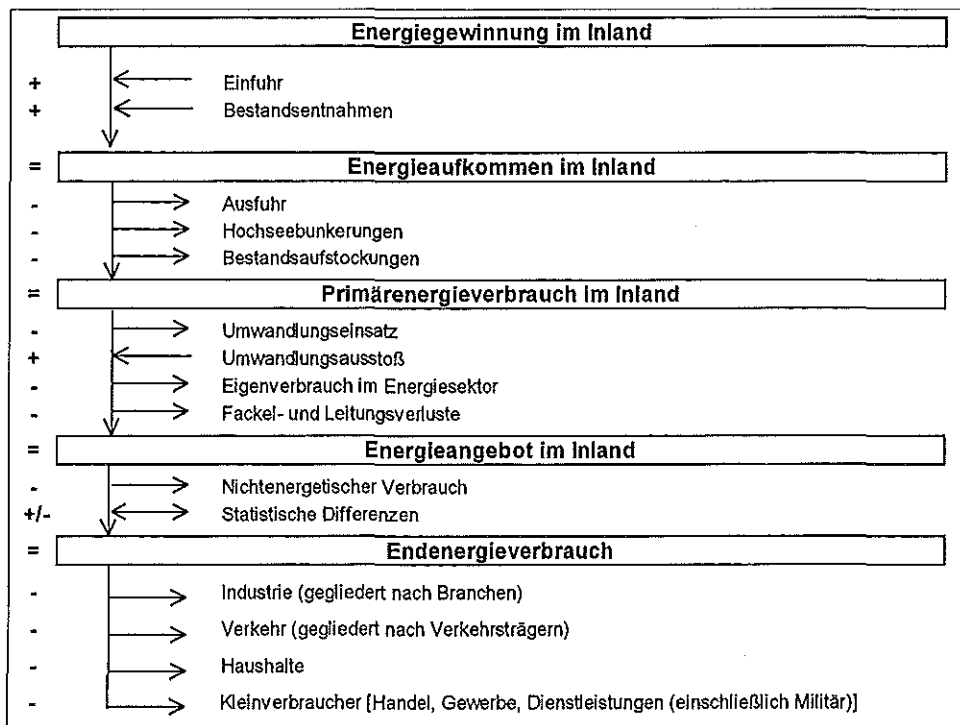
Ohne-Maßnahmen-Szenario	122,5
Ergriffene Maßnahmen	
ERP-Energiesparprogramm.....	0,6
Steuerbegünstigung für Kraft-Wärme-Kopplung.....	0,0
WärmeschutzVO.....	0,4
HeizungsanlagenVO	0,6
Investitionsprogramm zur Verminderung von Umweltbelastungen	0,6
EU-Öko-Audit.....	0,0
Novellierung 1. BImSchV (Kleinf FeuerungsanlagenVO).....	0,1
Energie-, Technologie- und Bauforschung.....	0,5
Selbstverpflichtung der Industrieverbände/VKU.....	10,5
Selbstverpflichtung von VKU, BGW, MWV, VDEW, VIK	0,3
Länder- und Kommunalaktivitäten	2,5
<i>Ungewichtete Summe der Einzelmaßnahmen</i>	<i>16,1</i>
<i>Um Überlappungen bereinigte Summe der Einzelmaßnahmen</i>	<i>15,4</i>
Mit-Maßnahmen-Szenario	107,1
Weitere Maßnahmen	
WärmenutzungsVO	6,5
Novellierung WärmeschutzVO	1,0
ElektroanwendungenVO	²⁾
GebäudevermietungsVO	0,1
GrundsteuerVO	0,0
Angebot der öffentlichen Stromversorger von „grünem Strom“.....	²⁾
neue Verbändevereinbarung BDI/VDEW/VIK/VEA.....	2,1
Verbesserung der Kreditprogramme ERP, DtA, KfW.....	1,5
gezieltes Fortbildungsprogramm.....	1,3
Initialberatung und Info über Energieagenturen.....	0,3
Unterstützung zweiter Kapitalmarkt.....	0,4
Contracting-Förderung	0,4
Verbesserte Ziele der Selbstverpflichtung	3,0
Verstärkte Forschung und Entwicklung.....	1,3
Bewußte Beschaffungsprogramme von Großunternehmen.....	0,7
Nachahmung von Brundtland-Städten; Länder-/Kommunalprogramme	1,1
<i>Ungewichtete Summe der Einzelmaßnahmen</i>	<i>19,7</i>
<i>Um Überlappungen bereinigte Summe der Einzelmaßnahmen</i>	<i>7,9</i>
Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario	99,3
¹⁾ Nur brennstoffseitige Emissionsminderungen; strombedingte Emissionen werden über veränderte Stromverbrauchsmengen im Kraftwerkssektor berücksichtigt.- ²⁾ Nur strombedingte Minderungen, die über veränderte Stromverbrauchsmengen im Kraftwerkssektor berücksichtigt werden.	

Die Energiebilanzen nehmen nach ihrer Struktur und Aussagekraft eine zentrale Stellung im Energiedatensystem ein. Sie sind auch die Basis für die Ermittlung der CO₂-Emissionen und damit ein wesentliches Element für die im Zusammenhang mit der internationalen Klimarahmenkonvention eingegangenen nationalen Berichtspflichten („inventories“).

In der horizontalen Gliederung (Spalten) der Energiebilanzmatrix werden die Energieträger ausgewiesen, die der energetischen, aber auch der nichtenergetischen Nutzung dienen. In der vertikalen Gliederung (Zeilen) werden das Energieaufkommen, die Energieumwandlung und der Endenergieverbrauch dargestellt. Jede Spalte gibt somit für den jeweiligen Energieträger einen Nachweis über dessen Aufkommen, Umwandlung und Verwendung gemäß dem in Abbildung 3-4 zusammengefaßten Schema.

Abbildung 3-4

Schema der deutschen Energiebilanz



Bei den Szenarien und den maßnahmenorientierten Wirkungsanalysen wird weitgehend der sektoralen Gliederung der Energiebilanzen gefolgt, auf deren Grundlage auch die entsprechen-

den CO₂-Emissionen ermittelt werden. Dabei ist zu beachten, daß innerhalb der Endenergiesektoren Industrie, Verkehr, Haushalte sowie Kleinverbraucher auch für die Szenarien zunächst nur die *direkten* CO₂-Emissionen und deren Veränderungen durch die jeweils unterstellten Klimaschutzpolitischen Maßnahmen berücksichtigt werden. Die *indirekten* CO₂-Emissionen, die aus dem Einsatz von Sekundärenergieträgern bei den Endenergieverbrauchern resultieren, sind Gegenstand der Analyse der Umwandlungssektoren, insbesondere der Bereiche Strom- und Fernwärmeerzeugung. Emissionsminderungseffekte aufgrund von Energieeinsparmaßnahmen bei den Endenergieverbrauchern, die häufig auch den Verbrauch elektrischer Energie vermindern, schlagen sich insofern erst im Umwandlungssektor nieder.

Die sektorale Gliederung der deutschen Energiebilanz ist nicht unmittelbar vergleichbar mit der nach den IPCC/FCCC Guidelines vereinbarten Struktur. Um eine internationale Vergleichbarkeit sicherzustellen, sind daher entsprechende Anpassungen notwendig. So werden die mit den Hochseebunkerungen verbundenen Emissionen ebenso wenig den einzelnen Nationen unmittelbar zugeordnet wie der internationale Luftverkehr. Während die Hochseebunkerungen direkt aus den Energiebilanzen ablesbar sind, trifft dies für den internationalen Luftverkehr nicht zu. Hierzu sind gesonderte Festlegungen erforderlich; aufgrund entsprechender empirischer Indikatoren wird in der Bundesrepublik Deutschland davon ausgegangen, daß rund 80 % der im zivilen Luftverkehr in Deutschland vertankten Flugtreibstoffe dem internationalen Luftverkehr zuzurechnen sind. Die damit und die mit den Hochseebunkerungen einhergehenden Emissionen sind nicht Bestandteil der nationalen Emissionsbilanz.

Zur Angleichung der deutschen Energiebilanz-/Emissionsdaten an die international vereinbarte Sektorstruktur sind außerdem noch einige Zuordnungen notwendig. Dies betrifft allerdings ausschließlich die Endenergiesektoren, während sich hinsichtlich der Differenzierung bei den Umwandlungsbereichen keine Unterschiede zeigen. So werden anders als bei den Energiebilanzen dem Verkehrssektor - wie zuvor erwähnt - die Emissionen durch den internationalen Luftverkehr nicht zugeordnet. Bei dem nach der IPCC-Gliederung zusammengefaßten Sektor Haushalte, Kleinverbraucher und Gewerbe werden die Emissionen durch die mobilen Quellen in der Land- und Forstwirtschaft und in den Fischereien nicht berücksichtigt; die hier entstehenden Emissionen werden zusammen mit den übrigen Endenergiesektoren in der Gruppe „Andere (einschließlich Militär)“ ausgewiesen.

Obwohl die Energiebilanzen alles in allem eine zufriedenstellende energiestatistische Datenbasis bieten, existieren einige Schwachstellen und Defizite im Hinblick auf die Vollständigkeit und Differenziertheit der vorhandenen energierelevanten Informationen über einzelne Energieverbrauchssektoren und Energieträger (Messer, Ziesing 1992). Diese betrifft insbesondere die fehlende Differenzierung innerhalb der Kleinverbrauchssektoren, die beschränkte Erfassung der erneuerbaren Energiequellen oder die unvollständige Einbeziehung von Lagerbestandsveränderungen (was bei den Haushalten und Kleinverbrauchern zur Folge hat, daß in den Energiebilanzen für die lagerfähigen Brennstoffe nur Absatzzahlen, nicht aber Verbrauchszahlen angegeben werden können).

Mit der Umsetzung eines Energiestatistikgesetzes und mit regelmäßigen Sondererhebungen sowie Spezialuntersuchungen („Detaillierungsstudien“) könnte ein großer Teil derartiger Mängel behoben, zumindest aber gemindert werden.

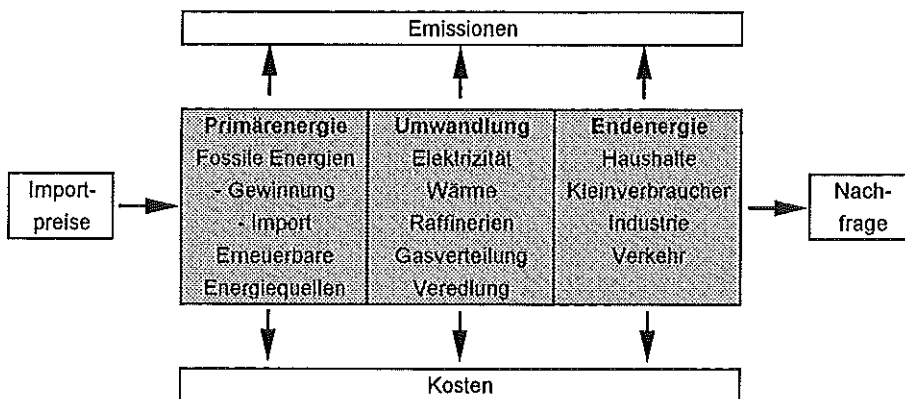
3.3 Anwendung eines linearen Optimierungsmodells

3.3.1 Vorzüge und Grenzen von Optimierungsmodellen

Das IKARUS-Optimierungsmodell bildet mit Hilfe linearer Gleichungen und Ungleichungen vernetzte energiewirtschaftliche Prozesse in vereinfachter Form ab (Hake u.a. 1994). Solche Prozesse sind die Gewinnung oder der Import von Primärenergie, die Umwandlung in Sekundärenergie und deren Verteilung sowie schließlich die Nutzung beim Endverbraucher. Dies bedeutet die Einbeziehung der gesamten Energieumwandlungskette. Das System ist komplex vernetzt, da unterschiedliche Primärenergieträger eingesetzt, verschiedenartige Umwandlungsstufen durchlaufen und schließlich eine breite Palette von Endenergieformen bereitgestellt werden. Dabei wird eine große Zahl an Umwandlungs-, Transport- und Nutzungstechnologien eingesetzt. Neben technischen und ökonomischen Zusammenhängen prägen unterschiedliche energiepolitische Rahmenbedingungen das System.

Abbildung 3-5

Grundstruktur des IKARUS-Optimierungsmodells



Ziel: Minimierung der gesamten Kosten bei vorgegebenen Emissionen

Das Modell bildet die Energieflüsse, Emissionen und Kosten des gesamten Energiesystems ab und optimiert die Aktivitäten nach der Methode der Linearen Programmierung (Abbildung 3-5). Ein wichtiges Optimierungskriterium ist die Minimierung der Gesamtsystemkosten, wobei eine maximale Höhe von Emissionen als Randbedingung vorgegeben werden kann. Bevor

auf den Einsatz des Optimierungsmodells im Rahmen der Analyse von Politikszenerarien eingegangen wird, werden die Vorzüge und Grenzen der Verwendung eines Optimierungsmodelles kurz erläutert.

Vorzüge von Modellanalysen

- Computergestützte Modelle haben eine sehr hohe Informationsverarbeitungskapazität, d.h. große Datenmengen und *komplexe Vernetzungen* können leicht verarbeitet werden.
- Durch die simultane Bearbeitung der vernetzten energiewirtschaftlichen Prozesse werden die Wirkungen von bestimmten technischen und politischen Einzelmaßnahmen auf das gesamte Energiesystem erfaßt. Werden im Rahmen von Reduktionsstrategien z.B. bestimmte CO₂-Sparmaßnahmen im Verkehrssektor angesetzt, so kann deren Einfluß unter dem Kriterium der Kostenminimierung auf die anderen Sektoren direkt aufgezeigt werden. Der Vorteil gegenüber einer isolierten, modellexogenen Analyse besteht darin, daß *Konsistenz* unter Berücksichtigung der vorgegebenen Randbedingungen gewährleistet ist. Doppelzählungen sind ausgeschlossen und energiewirtschaftliche Sekundäreffekte werden berücksichtigt.
- Die Ergebnisse sind leicht *reproduzierbar* und nachvollziehbar. Die Datenbasis kann laufend *aktualisiert* werden, um jeweils neue Entwicklungen zu berücksichtigen.
- Verschiedene *Szenarien* und *Sensitivitätsanalysen* können zu einer bestimmten Fragestellung leicht durch eine systematische Veränderung der Eingabeparameter erstellt werden. Damit können bestimmte Hypothesen oder energiepolitische Zielsetzungen im Modell, z. B. im Hinblick auf die zu erwartenden Kosten oder die entstehenden Emissionen, getestet werden. Mit Hilfe der Szenariotechnik wird die Reaktion des Energiesystems auf geänderte Eingangsparameter analysiert. Sensitivitätsanalysen beinhalten die systematische Veränderung von Parametern oder Variablen. Bereits minimale Kostenunterschiede konkurrierender Technologien können zu völlig unterschiedlichen Lösungen führen. Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen werden solche Effekte festgestellt, um die Robustheit einer Lösung zu prüfen. Desweiteren können mit Sensitivitätsanalysen Aussagen zu Unsicherheiten (z.B. Nachfragebandbreiten, Datenunsicherheiten) und deren Auswirkung auf das gesamte Energiesystem getroffen werden.
- Unter konkurrierenden Technologieoptionen sucht das optimierende Modell diejenigen aus, die für eine Zielerreichung am kostengünstigsten sind. Durch gleichzeitige Einbeziehung der Angebotsseite (Umwandlungssektor) und des Endverbrauchssektors in die Optimierung

können konkurrierende angebots- und nachfrageseitige CO₂-Reduktionsmaßnahmen zur Minimierung der Gesamtkosten gegeneinander abgewogen werden. Insofern umfaßt der IKARUS-Modellansatz einen wesentlichen Aspekt von Konzepten eines *Least-Cost-Planning*.

- Die Modellierung von energiewirtschaftlichen Fragestellungen sowie die modellgestützte Analyse verbessern das *Verständnis für die quantitativen Zusammenhänge* im Energiesektor, schaffen eine einheitliche Begriffsbasis und tragen somit ganz wesentlich zu einer Präzisierung energiepolitischer Argumente bei.

Nachteile, Probleme und Einschränkungen bei der Modellverwendung

- Die Modelle sind groß und komplex, was einen sehr hohen *Personal-Bedarf* für die Entwicklung und besonders für die Erstellung der Datenbasis erfordert. Gleichfalls darf nicht der hohe *Zeitbedarf* für das Durchführen von Szenarien- und Sensitivitätsanalysen unterschätzt werden, zumal zur Interpretation der Ergebnisse die Kenntnis der Modell- und Datenstruktur unerlässlich ist.
- Modelle sind immer eine *vereinfachte Abbildung* einer viel komplexeren Realität. Ausgehend von einer Fragestellung werden die Systemgrenzen (Separierung einer Teilwirklichkeit) festgelegt. Danach werden das technische Systemmodell, das mathematische Systemmodell sowie das Datenmodell formuliert. Die „Kunst“ des Modellierens besteht im wesentlichen darin, die vor dem Hintergrund der Fragestellung wichtigsten Zusammenhänge herauszuarbeiten und in die drei obigen Modelle umzusetzen. Dabei können nur Zusammenhänge erfaßt werden, die sich - beizeitigem Kenntnisstand - mathematisch beschreiben lassen. Bestimmte politische, soziale und psychologische Faktoren, die das Verhalten energieproduzierender und energienachfragender Wirtschaftssubjekte entscheidend mitbestimmen, sind in solchen Modellen gar nicht oder derzeit nur ganz eingeschränkt modellierbar. Solche Unzulänglichkeiten müssen dann in der Modellierungspraxis durch abstrahierende Annahmen und Restriktionen überbrückt werden. Die Modellergebnisse sind daher als „Wenn-dann-Aussagen“ mit hypothetischem Charakter aufzufassen und dürfen deshalb nicht überinterpretiert werden.
- Optimierungsmodelle können Zahlengerüste für energiepolitische Entscheidungsprozesse liefern. Ihre Ergebnisse sind aber *keine Prognosen*. Wird z.B. eine optimale Strategie mit dem Modell errechnet, so bedeutet das nicht, daß sich diese in der zukünftigen Energiewirt-

schaft quasi automatisch durchsetzt. Eine mit einem Optimierungsmodell erzeugte Lösung entwirft unter Berücksichtigung exogener Vorgaben entsprechend dem Zielkriterium die günstigste Struktur des Energiesystems. Eine solche Optimallösung kann im Sinne einer Zielvorgabe als der beste Lösungspfad interpretiert werden. Da in der Realität aber einzelwirtschaftliche Akteure nach individuellen Kriterien handeln, weicht die tatsächliche Entwicklung der Energiewirtschaft von der durch das Optimierungsmodell skizzierten Optimallösung ab. Ursache hierfür können unvollkommene Märkte, andere Motivationen, vom Modell abweichende fiskalische Entscheidungsparameter oder Hemmnisse, z.B. das Investor-Mieter-Dilemma im Gebäudebereich, sein. Damit beschreibt ein kostenminimales System die Realität nur näherungsweise. Auf jeden Fall müssen zur Verwirklichung einer optimalen Entwicklung politische Maßnahmen (wie Verordnungen, Aus- und Fortbildung oder Anreize) ergriffen werden, die im Modell nicht abgebildet werden.

- Das Modell kann ein Energiesystem in kostenoptimaler Weise konfigurieren, dabei entwickelt es aber *keine eigene Kreativität*. Die auswählbaren Technologien oder Einsparmöglichkeiten sind vom Modellbenutzer vorher zu spezifizieren. Sie werden dann in den Datensatz eingegeben und stehen somit dem Modell als Alternative zur Verfügung.
- Die *Abbildung von Verhaltensmustern* von Akteuren stellt in jedem energiewirtschaftlichen Modell eine prinzipielle Schwierigkeit dar. So versucht man beispielsweise in ökonomieorientierten Modellen das Verhalten als eine Reaktion auf Änderungen von Preisen und Einkommen in Form von Elastizitäten abzubilden. Derartige Elastizitätskoeffizienten werden aus Vergangenheitsdaten abgeleitet und für eine in die Zukunft gerichtete Betrachtung verwendet. Im technologieorientierten IKARUS-Optimierungsmodell sind derartige Elastizitäten nicht abgebildet. Hier wird das Verhalten von Akteuren über Bounds in Form von oberen und unteren Begrenzungen vorgegeben. Die exogene Nachfrage nach Energiedienstleistungen ist im IKARUS-Optimierungsmodell nicht mit einer Änderung von Energiepreisen oder -kosten gekoppelt. Eine derartige Überlegung muß außerhalb des Modells erfolgen.

3.3.2 Einsatz des IKARUS-Optimierungsmodells für Politikszenerarien

Im Rahmen der Analyse von Politikszenerarien werden ein „Ohne-Maßnahmen-Szenario“, ein „Mit-Maßnahmen-Szenario“ sowie ein „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ unterschieden

(vgl. Abschnitt 3.2). Das „Mit-Maßnahmen-Szenario“ enthält bereits ergriffene Reduktionsmaßnahmen. Zur Ermittlung von Handlungsfeldern für weitere Maßnahmen, die zur Erreichung des nationalen Reduktionszieles erforderlich sind, wird das IKARUS-Optimierungsmodell folgendermaßen eingesetzt:

- 1) Es wird ein Referenzszenario für das Zieljahr 2005 formuliert, das im Sinne eines Szenarios ohne jegliche Emissionsreduktionsziele zu interpretieren ist. Nach den Modellrechnungen wird hierbei das angestrebte Reduktionsziel von 25 % gegenüber 1990 nicht erreicht.
- 2) Im Reduktionsszenario für das Jahr 2005 wird dem Modell - unter ansonsten gleichen Annahmen - eine Verminderung der CO₂-Emissionen gegenüber 1990 von 25 % vorgeschrieben. Das Modell ermittelt, mit welchem Technikmix diese Vorgabe kostenminimal erreicht werden kann.
- 3) Durch einen Vergleich des Reduktionsszenarios mit der Referenzentwicklung lassen sich die möglichen Handlungsfelder aufzeigen. Es können die CO₂-Minderungsbeiträge der einzelnen Sektoren, Technikkombinationen innerhalb der Sektoren sowie die entsprechenden Mehrkosten angegeben werden.
- 4) Die Ergebnisse sowie Erkenntnisse aus den vorherigen Arbeitsschritten sind intensiv zu analysieren. Hierbei sind auch Fragen der Umsetzung vor dem Hintergrund des nur noch bis 2005 verbleibenden Zeitraums zu diskutieren. Die Plausibilität der Ergebnisse kann auch durch einen Vergleich mit historischen Entwicklungen geprüft werden.
- 5) Die identifizierten Handlungsfelder bzw. Technikkombinationen bilden den Hintergrund für die Wirkungsanalyse politischer Maßnahmen mit Hilfe von Expertenschätzungen (Abschnitt 3.4).

3.3.3 Kostenberechnung im IKARUS-Optimierungsansatz

Im Vergleich zu üblichen Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen gibt es beim kostenminimierenden IKARUS-Ansatz einige methodische Besonderheiten. So führt das IKARUS-Modell keine betriebswirtschaftliche Investitionsrechnung durch, bei der üblicherweise erwartete Einnahmen mit erwarteten Ausgaben finanzmathematisch verglichen werden. Einnahmen werden nicht benötigt, da keine Wirtschaftlichkeitskontrolle von Einzelvorhaben erfolgt. Die IKARUS-

Kostenminimierung zielt auf einen Kostenvergleich alternativer Lösungsmöglichkeiten bei gleicher Energiedienstleistung. Entscheidend ist, daß die Gesamtkosten über alle Systemelemente, das sind Energieträger und Energietechnologien, minimiert werden. Im Modell konkurrieren Techniken auf der Energieangebotsseite (z. B. Kraftwerksausbau) mit Endbenutzertechnologien (z. B. Stromspartechniken). Dies entspricht dem Vorgehen im Least-Cost-Planning, d.h. einer integrierten Planung von Energieangebot und Energienutzung. Im Modell wird dies gleichzeitig auf alle Energieträger und Techniken in allen erzeugenden und verbrauchenden Sektoren der Energiewirtschaft angewendet, so daß alle Optionen miteinander konkurrieren. Entscheidungsrelevant sind deshalb nicht so sehr die Absolutbeträge der Einzelkosten, sondern deren Relationen bzw. Differenzen.

Um eine Optimierung durchführen zu können, müssen die Kosten der einzelnen Systemelemente vergleichbar gemacht werden. Hier wird auf eine vereinfachende Methode zurückgegriffen, deren wichtigste Kennzeichen sind:

- Die Annuitäten werden für alle Technologien mit einer einheitlichen Langfrist-Diskontrate berechnet und auf die jeweilige technische Nutzungsdauer bezogen.
- Kosten, die nicht ursächlich den Prozessen der Energiebereitstellung oder der Herstellung und dem Betrieb von Technologien zugeordnet werden können, werden nicht einbezogen. Dazu gehören Sondertarife, Subventionen, Zuschüsse und auch Steuern wie die Mineralölsteuer. Hier ist anzumerken, daß Steuern, die eine gleiche relative Belastung aller Systemelemente verursachen, für die Optimierung nicht relevant sind, weil durch sie die Kostenrelationen nicht geändert werden.

Das System von Ungleichungen im IKARUS-Energiemodell ist mathematisch unterbestimmt und hat unendlich viele Lösungen. Aus diesem Lösungsraum wird mit Hilfe der sogenannten Zielfunktion diejenige Lösung herausgesucht, welche zu den niedrigsten Gesamtkosten führt. Diese Gesamtkosten setzen sich aus der Summe der Einzelkosten aller Systemelemente zusammen. Die Einzelkosten-Komponenten sind:

- Primärenergiekosten: Importpreise, Gewinnungskosten sowie
- Technologiekosten: Herstellungskosten, fixe und variable Betriebskosten.

Fixe Betriebskosten sind kapazitätsabhängig und fallen immer an, gleichgültig, ob die Anlage läuft oder steht. Dagegen sind variable Kosten aktivitätsabhängig, d.h., sie verändern sich mit

der Energiemenge, die eine Technologie umwandelt. Die variablen Kosten enthalten keine Brennstoffkosten, weil Energiekosten in Form von Primärenergiekosten in das System eingehen und intern quasi von Technik zu Technik weiter gereicht werden. Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden die Investitionen (Herstellungskosten) einschließlich der Bauzeitzinsen in eine Annuität umgewandelt. Auf dieser Basis werden die Systemkosten vom Modell als Jahreskosten errechnet. Bei der Interpretation dieser Gesamtjahreskosten ist zu beachten, daß sie aus einem Mix von Kostenanteilen verschiedener Technologien mit unterschiedlichen Lebensdauern bestehen: z.B. im Verkehrssektor 12 Jahre für Pkw und im Gebäudesektor 40 Jahre für die Wärmedämmung. Die aus den Systemkosten abgeleiteten durchschnittlichen Reduktionskosten je Einheit CO₂ sind das Verhältnis der Mehrkosten eines Reduktionsszenarios gegenüber einem Referenzszenario zu den erzielten CO₂-Einsparungen.

Unter konkurrierenden technischen Optionen sucht das optimierende Modell diejenigen aus, die für eine Zielerreichung am günstigsten sind. Dabei wird zunächst die kostengünstigste Option ausgeschöpft und dann sukzessive die nächst teurere, bis die CO₂-Reduktionsvorgabe erfüllt ist. Die Kosten, welche bei der Reduktion der letzten Einheit CO₂ auftreten, werden Grenzkosten oder Schattenpreise genannt. Aufgrund der besonderen mathematischen Eigenschaften der linearen Programmierung werden diese Schattenpreise im Modell berechnet. Bei der Analyse ist im Einzelfall jedoch darauf zu achten, daß Begrenzungen (Bounds) die Schattenpreise erheblich verändern können. Die Grenzkosten geben einen Hinweis darauf, wie teuer eine weitere CO₂-Reduktion wird; sie sind daher eine nützliche Größe für die Analyse.

3.4 Expertenschätzungen sektoraler Maßnahmenwirkungen

3.4.1 Allgemeine Vorgehensweise

In diesem Abschnitt wird die methodische Vorgehensweise bei Expertenschätzungen von Wirkungen einzelner Maßnahmen erläutert. Aufgrund von sektorspezifischen Gegebenheiten und Wirkungsmechanismen sowie einer ungleichen Datenverfügbarkeit wird hierbei - ausgehend von einem allgemeinen Untersuchungsansatz - eine sektorale Betrachtung gewählt. Die methodischen Hinweise konzentrieren sich dabei auf die Beschreibung, wie die Wirkungen im Projekt „Politiksznarien für den Klimaschutz“ (Ziesing u.a. 1997) geschätzt worden sind und wie die

Analysen von einzelnen Maßnahmen und von Maßnahmenbündeln künftig verfeinert werden könnten. In Abschnitt 3.5 wird gezeigt, wie partiell abgeleitete Ergebnisse von sektoralen Analysen in strategische Politikszenerarien überführt werden.

Unter Berücksichtigung der in Abschnitt 2.1 beschriebenen, allgemeinen Ziele und Probleme von Schätzungen der Wirkungen von Klimaschutzpolitischen Maßnahmen können den zunächst auf der Expertenebene durchzuführenden Wirkungsanalysen grob die folgenden *Arbeitsschritte* zugrunde gelegt werden:

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

Obwohl nicht selbst Gegenstand der eigentlichen Schätzungen von Wirkungen sind *Klassifikation und genaue Beschreibung* der betrachteten Maßnahme von grundlegender Bedeutung für die Aussagefähigkeit von Wirkungsanalysen.¹³ Es sollte möglichst konkret benannt werden,

- wer Initiator und wer Träger der Maßnahme ist,
- welche Ziele verfolgt werden,

¹³ Die FCCC-Guidelines: Policies and measures, Geneva 17 July 1996, fördern eine Beschreibung der Maßnahmen (nach Sektoren) anhand der Kriterien: Objective, Type of Instrument, Interaction, Status of Implementation, Functioning, Monitoring, Impact, Cost (to the extent possible); für die tabellarische Auswertung werden dort folgende Merkmale vorgegeben: Name (* = not in Baseline), Type of Instrument, Objective, Method, Sector, Status of Implementation, Impact (2000,05,10,20), Monitoring.

- welche politischen Instrumente zum Einsatz kommen,
- wie die Maßnahmen dosiert sind,
- welche Zielgruppen, Sektoren oder Techniken unmittelbar betroffen (belastet oder begünstigt) werden,
- welchen räumlichen und zeitlichen Bezug die Maßnahme hat und
- welchen Status die Maßnahme erreicht hat (Umsetzungsstadium).

Hierbei sind auch Beziehungen zu anderen Maßnahmen von Interesse wie Restriktionen der Kumulierung von Begünstigungen oder die Notwendigkeit, Maßnahmen zur Überwindung mehrerer, simultan wirkender Hemmnisse zu bündeln.

Die genannten Definitionselemente bilden zugleich wichtige Kriterien für eine Klassifikation der Maßnahmen, die zur Vergleichbarkeit von Schätzergebnissen einheitlich angewendet werden sollte. In der Untersuchung sind die folgenden *Maßnahmenkategorien* (mit abnehmender Eingriffsintensität des Staates) berücksichtigt worden:

- 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, öffentliche Information, berufliche Fortbildung),
- Selbstverpflichtungen (aufgrund von Verhandlungen mit anderen Akteuren) und
- sonstige Maßnahmen (z.B. kooperative Beschaffung, Energiedienstleistungen).

Neben dieser Einteilung nach Maßnahmenarten und weiteren Klassifikationen nach Politik-ebenen, Ressorts, Zielen, Sektoren, zeitlichem Bezug, Status usw. stellt die Quantifizierbarkeit der Maßnahme ein wesentliches Kriterium dar. Im Zusammenhang hiermit steht auch die Frage direkter und indirekter Wirkungsmechanismen und der Anwendbarkeit von unterschiedlichen

qualitativen und quantitativen Methoden der Wirkungsanalyse. Im Hinblick auf die Begrenzung des Aufwandes für die jeweils durchzuführenden Analysen kann eine grobe apriori-Einschätzung der zu erwartenden Höhe des Zielbeitrages der Maßnahme sinnvoll sein.

Während Definition und Klassifikation von bereits ergriffenen Maßnahmen relativ einfach auf der Basis von Recherchen möglich sind, stößt die ausreichende Konkretisierung von geplanten oder bisher lediglich erwogenen Maßnahmen auf größere Schwierigkeiten, insbesondere wenn die Ausgestaltung der Maßnahme noch strittig oder undefiniert ist; gerade in solchen Fällen ist eine Dokumentation der zugrunde gelegten Annahmen erforderlich, damit die Analysen nachvollziehbar bleiben.

In einem zweiten Schritt wird die eigentliche Wirkungsanalyse mit der Schätzung von *Primärwirkungen* begonnen, wobei die Auswirkungen auf die unmittelbar betroffenen Zielgruppen bzw. Techniken im Vordergrund stehen. Anhaltswerte hierfür sind z.B. im Fall von Zuschußprogrammen für bestimmte Investitionsvorhaben das vorgegebene Fördervolumen und die Fördersätze oder auch vorgegebene Kontingente etwa hinsichtlich der zu fördernden Techniken.¹⁴ Die auf dieser Grundlage ermittelten begünstigten Investitionen (bzw. deren Beiträge zur Emissionsreduktion) sollten allerdings nicht mit den insgesamt der Maßnahme zurechenbaren (Netto-) Wirkungen verwechselt werden.

In einem dritten Schritt sollte versucht werden, die Größenordnung von *Sekundärwirkungen* im Sinne von Ausstrahlungseffekten und Mitnahmeeffekten zu quantifizieren. Mit Ausstrahlungseffekten sind hier Wirkungen gemeint, die indirekt bei Dritten hervorgerufen werden. Ein Beispiel hierfür sind Aktivitäten zur Emissionsreduktion durch Nachahmer. Außerdem besteht gerade das Ziel vieler Förderprogramme darin, eine sich später selbst tragende Marktentwicklung für neue Techniken anzustoßen. Soweit dies gelingt, können die längerfristig mobilisierten Einsparungen von Emissionen weitaus höher sein als der direkte Beitrag, den z.B. die begünstigten Projekte selbst liefern. Grundsätzlich sind allerdings auch negative Ausstrahlungseffekte von klimapolitischen Maßnahmen möglich, z.B. wenn durch die forcierte Nutzung begünstigter Techniken andere emissionsparende Techniken verdrängt werden. Zu einer eingeschränkten

¹⁴ In einer Reihe von Kategorien ist die Primärwirkung schwierig oder nicht abzuschätzen, weil ihre unmittelbaren Wirkungen nicht bei Investitionen festzustellen sind, sondern nur mittelbar (z.B. Forschung und Entwicklung, Information, Fortbildung und Infrastrukturmaßnahmen).

Wirkung von Maßnahmen kommt es außerdem aufgrund von Mitnahmeeffekten, die insbesondere bei Förderprogrammen nie ganz ausgeschlossen werden können. Unter Mitnahmeeffekt versteht man in diesem Zusammenhang die Inanspruchnahme einer Vergünstigung auch in solchen Fällen, in denen ohnehin - das heißt auch ohne Begünstigung - eine emissionsreduzierende Aktivität durchgeführt worden wäre.

Im vierten Schritt sind die insgesamt ausgelösten *technischen oder organisatorischen Maßnahmen* soweit zu konkretisieren, daß - unter Einbeziehung von Expertenwissen - der Beitrag zur Energieerzeugung oder Energieeinsparung quantifiziert werden kann.

Schon auf der Ebene der Expertenschätzungen sind darüber hinaus in einem fünften Schritt *energiewirtschaftliche Auswirkungen* zu berücksichtigen, wobei vor allem danach zu fragen ist, welche Energieträger und Energiesysteme durch die Einsparmaßnahme substituiert werden.

Auf dieser Grundlage kann in einem sechsten Schritt eine (erste) Schätzung der *Auswirkungen auf die Emissionen* erfolgen. Diese Berechnungen sind allerdings lediglich als vorläufig zu betrachten, da hierbei die energiewirtschaftlichen Interdependenzen nicht oder nur teilweise berücksichtigt werden können.

Über die Quantifizierung der Energie- und Emissionseffekte hinaus sollte im Rahmen der Maßnahmenbewertung durch Experten soweit möglich eine weitere, zumindest qualitative *Bewertung der Maßnahmen* nach ökologischen, ökonomischen und sozialen Kriterien erfolgen.

Das konkrete Verfahren zur Wirkungsanalyse von klimapolitischen Maßnahmen hängt naturgemäß stark von der jeweiligen Art und der Ausgestaltung der betrachteten Maßnahme ab. Aufgrund der spezifischen Ansatzpunkte und Wirkungsweise stehen hierbei von Maßnahme zu Maßnahme unterschiedliche Aspekte im Vordergrund (Tabelle 3-2).

Tabelle 3-2

Maßnahmenspezifische Aspekte von Wirkungsanalysen

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

Die hiermit skizzierte Vorgehensweise dient als allgemeine Richtschnur für die sektoral durchzuführenden Analysen. Das in den einzelnen Sektoren geeignete Verfahren der Schätzungen ist jeweils unterschiedlich zu konkretisieren und kann sich aufgrund von sektoralen Besonderheiten auch im Ablauf hiervon unterscheiden. Maßgeblich sind hierbei nicht nur von Sektor zu Sektor unterschiedliche Wirkungsmechanismen, sondern auch Fragen der Datenverfügbarkeit.

Im Rahmen einer sektoral orientierten Analyse ist besonders auf die konsistente Behandlung von sektorübergreifenden Maßnahmen zu achten. Beispiele hierfür sind bestimmte Maßnahmen in den Bereichen Beratung, Information, Aus- und Fortbildung sowie Forschung und Entwicklung. Größere Schwierigkeiten wirft hingegen die quantitative Analyse von Wirkungen allgemeiner Energie- oder Emissionssteuern auf. Die Bundesregierung hat die Einführung einer EU-weiten aufkommens- und wettbewerbsneutralen CO₂-/Energiesteuer von einem entsprechenden Beschluß auf EU-Ebene abhängig gemacht und somit einen nationalen Alleingang ausgeschlossen. In diesem Projekt sind Wirkungen von *allgemeinen* Energiesteuern nicht tiefergehend analysiert worden.¹⁵

Für die quantitativen Analysen ist in diesem Projekt eine Referenzentwicklung der Energiewirtschaft formuliert worden, die sich an Prognos (1995) anlehnt. Die Schätzungen von sektoralen Maßnahmenwirkungen orientieren sich an den drei in Abschnitt 3.2 erläuterten Szenarien: Neben einem hypothetischen „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ und einem „Mit-Maßnahmen-Szenario“, das der Referenzentwicklung entspricht, wird hierbei insbesondere ein „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ betrachtet, das eine Erreichung des klimapolitischen Zieles der Bundesregierung bis zum Jahr 2005 ermöglichen könnte.

¹⁵ Zur gesamtwirtschaftlichen Wirkungsanalyse von Energiesteuern vgl. die DIW-Studien Bach u.a. (1995) und Bach u.a. (1997).

3.4.2 Umwandlungssektor und erneuerbare Energiequellen

3.4.2.1 Vorbemerkung

Die Energie- und Umwandlungssektoren sind in vielen Ländern die Bereiche mit den höchsten CO₂-Emissionen. In Deutschland entfallen auf diese Sektoren 40 % der gesamten CO₂-Emissionen. Hierbei dominiert der Bereich der Elektrizitäts- und Fernwärmewirtschaft. Die übrigen Umwandlungsbereiche (z.B. Raffinerien, Kokereien, Petrochemie) werden aufgrund ihres geringen Anteils an den Emissionen in dieser Studie nicht gesondert berücksichtigt.

Generell ist zu beachten, daß die Emissionen der Energie- und Umwandlungssektoren wesentlich vom Endenergieverbrauch abhängt. Im Rahmen einer sektoralen Wirkungsanalyse sind deshalb den Interdependenzen zwischen dem Bereich der Energiebereitstellung und den Endverbrauchssektoren durch ein iteratives Verfahren Rechnung zu tragen.

Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen erfolgt zum Teil im Energiesektor, insbesondere in der Elektrizitätswirtschaft, zum Teil aber auch dezentral in anderen Sektoren. Da erneuerbare Energien ein eigenständiges Handlungsfeld im Rahmen der Energie- und Umweltpolitik darstellen, ist es sinnvoll, sie im Rahmen der Wirkungsanalyse gemeinsam zu behandeln (Abschnitt 3.4.2.3).

3.4.2.2 Elektrizitäts- und Fernwärmewirtschaft

Aufgrund des hohen Anteils an den Emissionen kommt der Elektrizitäts- und Fernwärmewirtschaft eine besondere Bedeutung zu. Allerdings finden sich im Katalog der Bundesregierung unter den direkt auf den Kraftwerksbereich zielenden Maßnahmen (abgesehen von Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien) nur solche zur Forschungsförderung, wobei das Ziel einer Erhöhung der Wirkungsgrade im Vordergrund steht. Daneben ist die Selbstverpflichtungserklärung des Verbandes VDEW zu nennen. Die CO₂-mindernde Wirkung dieser Selbstverpflichtung, die allerdings an eine Reihe von Bedingungen geknüpft ist, ergibt sich (neben der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien) aus Wirkungsgradsteigerungen konventioneller Kraftwerke und einer Leistungssteigerung bei Kernkraftwerken. Außerdem sind in der EU

die Weichen für eine Liberalisierung des Strommarktes gestellt worden. Die Bundesregierung ist bestrebt, den Elektrizitätssektor stärker wettbewerbsorientiert zu ordnen. Im Hinblick auf den Klimaschutz dürfte dies vor allem dazu führen, daß die Tendenz zugunsten einer Verstromung von Erdgas verstärkt wird. Hinzu kommen die durch politische Maßnahmen in den Endverbrauchsbereichen bewirkten Veränderungen der Stromnachfrage.

Insgesamt wären die Emissionen im Kraftwerksbereich im Jahr 2005 im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ um fast 27 Mill. t oder knapp 8 % niedriger als im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“. Verglichen mit 1995 blieben die Emissionen in diesem Szenario hingegen praktisch unverändert. Im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ wäre durch eine zusätzliche Verminderung des Stromverbrauchs eine Einsparung von 28 Mill. t CO₂ zu erreichen. Außerdem könnte bei einer Veränderung der Brennstoffstruktur in der Stromerzeugung ein Minderungseffekt von reichlich 17 Mill. t erzielt werden. Eine solche Strukturänderung könnte in einer verbesserten Selbstverpflichtung vorgesehen werden. Unter Berücksichtigung von Überlappungen bei den Maßnahmenwirkungen könnten die CO₂-Emissionen in der Elektrizitätswirtschaft im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ im Jahr 2005 um 44 Mill. t oder fast 14 % niedriger liegen als im „Mit-Maßnahmen-Szenario“.

Die Fernwärmewirtschaft hat gemessen an den Emissionen in Deutschland nur ein vergleichsweise geringes Gewicht. Die klimapolitische Bedeutung der Fernwärmewirtschaft ergibt sich insbesondere aus der Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung. Bei den Minderungseffekten in diesem Sektor handelt es sich im wesentlichen um die Konsequenzen der induzierten Änderungen in den Endverbrauchsbereichen.

3.4.2.3 Erneuerbare Energiequellen

Energiewirtschaftlicher Stellenwert

Erneuerbare Energiequellen tragen bisher in Deutschland mit rund 2 % nur in geringem Maße zur Energieversorgung bei. Es handelt sich überwiegend um Wasserkraft, Holz und Müll. Nach (Prognos 1995) werden erneuerbare Energien in Deutschland künftig zwar an Bedeutung gewinnen. Es wird aber unter Status-Quo-Bedingungen bis 2005 nur eine geringe Ausschöpfung der Potentiale erwartet, da viele Anwendungsfälle - ohne weitere Förderung - einzelwirtschaft-

lich nicht rentabel sind. Angesichts einer „moderaten“ Entwicklung der Energiepreise ändert sich dieses Bild bei einer Reihe von Techniken auch bis zum Jahr 2020 nur wenig. Die Prognose geht im Grundsatz von den heutigen energiepolitischen Rahmenbedingungen aus. Hierzu zählen vor allem die bereits umgesetzten bundespolitischen Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien wie das Stromeinspeisungsgesetz. Berücksichtigt werden auch Impulse, die von Demonstrationsprogrammen ausgelöst wurden. Daneben werden in der Regel nur erkennbare Initiativen auf regionaler und lokaler Ebene in Rechnung gestellt. Ohne weitere Maßnahmen wäre bis zum Jahr 2005 nur ein bescheidener Zuwachs erneuerbarer Energien zu erwarten.

Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien

Die Bundesregierung hat in den vergangenen zwei Jahrzehnten zahlreiche Maßnahmen ergriffen, die direkt oder indirekt die Nutzung erneuerbarer Energiequellen sowohl im Inland als auch im Ausland fördern. Gleichzeitig haben die Europäische Union, Länder und Gemeinden sowie einzelne Unternehmen zum Teil große Anstrengungen in diesem Bereich unternommen. Hinzu kommen unterschiedliche private Initiativen, die vorwiegend ökologisch motiviert sind. Die Bedeutung, die erneuerbaren Energien in den verschiedenen Ressorts auf der Ebene der Bundespolitik zugemessen wird, wird auch dadurch deutlich, daß über ein Drittel der Maßnahmen, die im ersten Nationalbericht der Bundesregierung genannt sind, erneuerbaren Energien zugute kommen.

Die Vielfalt dieser politischen Instrumente umfaßt technikübergreifende und technikspezifische Maßnahmen mit unterschiedlicher Eingriffsintensität des Staates. Es handelt sich überwiegend um preispolitische Maßnahmen, Zuschüsse zur Demonstration, Erprobung und Anwendung, um Forschungsförderung und um unterschiedliche Maßnahmen zur Information und zur Beseitigung von Hemmnissen. Die Maßnahmen sind an unterschiedliche Akteure und Zielgruppen gerichtet, wie Haushalte, Industrieunternehmen, EVU, Kommunen, bestimmte Anlagenbetreiber, öffentliche Einrichtungen und die Wissenschaft. Gefördert werden insbesondere die Nutzung von Windkraft, Photovoltaik, Wasserkraft, Solarkollektoren, Wärmepumpen, Geothermie und feste, flüssige sowie gasförmige Biomassen.

Der Beitrag erneuerbarer Energien zur Energieversorgung in Deutschland kann künftig nur dann wesentlich erhöht werden, wenn dies durch ausreichende politische Maßnahmen unter-

stützt wird. Wie bisher kann man hierbei nicht allein auf ein einzelnes Instrument zur Förderung setzen. Die Nutzung erneuerbarer Energien stößt an unterschiedliche Hindernisse, die zum Teil technikspezifisch sind, zum anderen Teil aber unterschiedliche Optionen gleichermaßen betreffen. Dementsprechend ist es erforderlich, unterschiedliche Kombinationen von politischen Maßnahmen in Betracht zu ziehen. Die Bewertung von Maßnahmenbündeln zur Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energiequellen muß eingebettet sein in Strategieüberlegungen, die die Energiewirtschaft und die mit ihr in Beziehung stehenden Politikbereiche insgesamt betreffen. Die geeignete Kombination und Dosierung von sektorbezogenen Maßnahmen können insbesondere davon abhängen, wie eine allgemeine Energie- oder Emissionssteuer ausgestaltet wird.

Spezielle Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien sind in den letzten Jahren unter anderem im Gesprächszirkel 6 beim BMWi erörtert worden (BMWi 1994). Als künftige Handlungsfelder von „breit anzulegenden“ Anstrengungen werden genannt:¹⁶

- Maßnahmen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit für erneuerbare Energien im Inland und Ausland.
- Verbesserung der rechtlichen und administrativen Rahmenbedingungen für den Einsatz erneuerbarer Energien sowie der Information, Aus-, Weiter- und Fortbildung.
- Marktorientierte Forschung, Entwicklung und Demonstration von Anlagen und Materialien zur Nutzung erneuerbarer Energien.

Wirkungsanalyse am Beispiel der Einspeisungsvergütung

¹⁶ Die Forderungen umfassen insbesondere ein Konzept der finanziellen Förderung bestehend aus erhöhten Mindestvergütungen für Stromeinspeisung, zusätzlichen, zeitlich begrenzten Investitionszuschüssen für Stromerzeugungsanlagen, deren Wirtschaftlichkeit mit der Mindesteinspeisungsvergütung allein nicht erreichbar ist, oder entsprechenden Betriebskostenzuschüssen, staatliche Zuschüsse für Anlagen zur Wärmeerzeugung, die teilweise Übernahme der Netzanbindungskosten durch Energieversorgungsunternehmen, Exportförderung für Anwendungssysteme oder einzelne Komponenten, die Einführung einer CO₂/Energiesteuer, die Befreiung von Biokraftstoffanteilen in Mischungen von der Mineralölsteuer, die Abschaffung der Investitionsaufsicht und die Genehmigungspflicht von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien, die Zulässigkeit der Versorgung von Nachbarn, eine Verbesserung der stromwirtschaftlichen Zusammenarbeit mit EVU, baurechtliche Privilegierungen, Nutzungsgebote für Solaranlagen, Berücksichtigung der Umweltvorteile im Natur- und Wasserrecht und Verzicht auf Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen, Beseitigung von Hemmnissen im Haushaltsrecht, im Mietrecht und in den Handwerksordnungen, Maßnahmen zur verbesserten Information, Beratung, Aus- und Fortbildung sowie nicht zuletzt Maßnahmen zur Förderung der anwendungsorientierten Forschung, Entwicklung und Demonstration.

Unter den bisher ergriffenen Maßnahmen hat das Stromeinspeisungsgesetz für die Markteinführung erneuerbarer Energien eine besondere Bedeutung. Die Wirkung dieses Gesetzes, das seit 1991 in Kraft ist, auf die bisherige und künftige regenerative Stromerzeugung und die dadurch bewirkte Emissionsreduktion ist allerdings nicht einfach zu berechnen. Der unmittelbare Effekt besteht in einer Verbesserung der Erlösentwicklung während der Lebensdauer der Anlagen. Hiervon profitieren Betreiber bestehender Anlagen ebenso wie Investoren, die ohnehin Anlagen errichten würden. In beiden Fällen entstehen insofern Mitnahmeeffekte. Die angestrebte Wirkung besteht hingegen in der Mobilisierung zusätzlicher Investitionen. Ein solcher Anreiz wird vor allem bei solchen Vorhaben wirksam, die an der Schwelle der Wirtschaftlichkeit stehen. Während auf der einen Seite wesentlich günstigere Projekte auch ohne erhöhte Vergütung realisiert würden, ändert sich die ökonomische Bewertung von sehr teuren Projekten hierdurch allein nur wenig. Hierbei ist aber auch zu beachten, daß die Vergütungshöhe in Kombination mit anderen Fördermaßnahmen auch bei größeren Differenzen zwischen Preis und Kosten von entscheidender Bedeutung sein kann. Unabhängig von der Höhe der Vergütung spielt das Stromeinspeisungsgesetz auch schon allein deshalb eine wesentliche Rolle, weil hiermit die Energieversorgungsunternehmen zur Abnahme von elektrischer Energie verpflichtet werden.

Die bisherige Wirkung läßt sich besonders deutlich an dem Ausbau der Windenergie in den letzten Jahren ablesen, der zugleich durch das 250-MW-Programm des BMBF und zusätzliche Programme der Bundesländer forciert wurde. Bei der gültigen Mindestvergütung sind mittlerweile zahlreiche Projekte auch ohne staatliche Zuschüsse wirtschaftlich. Andere Projekte konnten durch die Kombination mehrerer Maßnahmen verwirklicht werden. Die Realisierung hierdurch ermöglichter Vorhaben hat auch positive Ausstrahlungseffekte auf die weitere Entwicklung erneuerbarer Energien. Denn künftige Betreiber profitieren sowohl von der Demonstration des Betriebs als auch von den verbesserten Angebotsbedingungen hinsichtlich technischer Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit und Kosten.

Die direkte Wirkung des Stromeinspeisungsgesetzes auf die Entwicklung bis zum Jahr 2005 ist von Technik zu Technik unterschiedlich einzuschätzen. Es ist insbesondere zu berücksichtigen, daß Strom aus EVU-Anlagen von der Maßnahme nicht erfaßt wird. Die Wirkung auf die Investitionsbereitschaft von anderen Betreibern setzt zum Teil andere, zumindest flankierende Maßnahmen voraus. Bei Wind- und Wasserkraft bestehen diese vor allem in einem Abbau von

Hemmnissen, die in jüngster Zeit immer deutlicher zutage getreten sind. Der isolierte Mobilisierungseffekt der erhöhten Vergütung wird bei der Photovoltaik gering bleiben, da im Analysezeitraum nicht mit so hohen Kostensenkungen zu rechnen ist, daß für netzverbundene Anlagen die Wirtschaftlichkeitsschwelle erreicht werden könnte.¹⁷ Zu Mitnahmeeffekten kommt es vor allem bei Strom aus bereits bestehenden Wasserkraftanlagen.

Gesamtwirkungen

Die quantitativen Schätzungen der Wirkungen bisheriger und weiterer Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien auf die Höhe der Kohlendioxidemissionen beruhen bei den stromerzeugenden Systemen im wesentlichen auf Schätzungen der geförderten Nennleistung. Durch Multiplikation mit der hierauf bezogenen Jahresausnutzungsdauer ergibt sich die geschätzte jährliche Stromerzeugung. Mit Blick auf die Emissionsverminderung ist bei den hier betrachteten Techniken wegen des Lastganges eine Substitution von Strom aus Mittellastkraftwerken zu unterstellen. Bei wärmeerzeugenden Systemen ist zu beachten, welche Energieträger jeweils ersetzt werden.

Durch die nach der Status-Quo-Prognose im Jahr 2005 zu erwartende Nutzung erneuerbarer Energien wird in Deutschland insgesamt eine Einsparung von 36 Mill. t CO₂ bewirkt. Rund ein Drittel dieses Beitrages würde auch ohne energie- und umweltpolitische Maßnahmen realisiert. Diese Angabe sollte allerdings nur als Orientierungsgröße verstanden werden. Aufgrund von gewissen Doppelzählungen dürften die direkten Wirkungen der berücksichtigten Maßnahmen insgesamt kleiner sein; andererseits kommen indirekte Effekte von Maßnahmenkombinationen hinzu. Durch weitere Maßnahmen (insbesondere gemäß den genannten Vorschlägen in BMWi 1994) könnte der Reduktionsbeitrag erneuerbarer Energien im Jahr 2005 gegenüber der Status-Quo-Prognose beträchtlich gesteigert werden. Die zusätzliche Wirkung wird auf fast 10 Mill. t CO₂ geschätzt.

Aufgrund der bisher noch relativ hohen Kosten von Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energien sind pekuniäre Anreize wie Finanzierungshilfen und Vergütungsregelungen oftmals aus-

¹⁷ In diesem Zusammenhang ist allerdings auch zu beachten, daß in zahlreichen Gemeinden eine „kosten-deckende Vergütung“ gezahlt wird, die ein Vielfaches der Mindestvergütung beträgt.

schlaggebend. Daneben sind eher qualitative Maßnahmen der Information und des Abbaus von institutionellen Hemmnissen als flankierende Maßnahmen wirksam.

Im Zeitraum bis zum Jahr 2005 - und selbst bis 2020 - wird nur ein kleiner Teil des langfristig unter technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten bestehenden Potentials auszuschöpfen sein. Bewertungen politischer Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien sollten sich deshalb nicht allein an den bis dahin erreichbaren Beiträgen orientieren, sondern auch längerfristige Perspektiven berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für die Technologiepolitik.

3.4.3 Industrie und Kleinverbraucher

3.4.3.1 Vorbemerkungen

Die Sektoren Industrie und Kleinverbraucher sind unter technologischen wie auch betriebs- und unternehmensbezogenen Aspekten sehr heterogen: Branchen mit Großunternehmen oder mittelständischer Struktur, Subsektoren in der Verwaltung großer und kleiner Gebietskörperschaften, große Filialunternehmen und private Dienstleister mit sehr wenigen Beschäftigten deuten eine Vielfalt unterschiedlicher Entscheidungsprozesse und Kenntnisse energietechnischer Zusammenhänge an (Gruber, Brand 1991, Weber 1997).

Die Hemmnisse rationeller Energienutzung und rentabler Energiesubstitutionsmöglichkeiten zur Minderung von Treibhausgasen sind aufgrund der Heterogenität der Energieverbrauchssektoren Industrie und Kleinverbraucher sehr vielfältig (vgl. Abbildung 3-6). Diese Vielfalt führt aber auch zu einer weiten Palette von erforderlichen Maßnahmen und Maßnahmenbündeln, die zum Teil branchenspezifisch wegen der branchenspezifischen Prozesstechnologien, zum Teil unternehmensgrößenspezifisch oder querschnittstechnologiespezifisch (z.B. bezüglich Kraft-Wärme-Kopplung, Kälte- oder Druckluftherzeugung) konzipiert werden müssen (ISI, Ifo, GEU 1993).

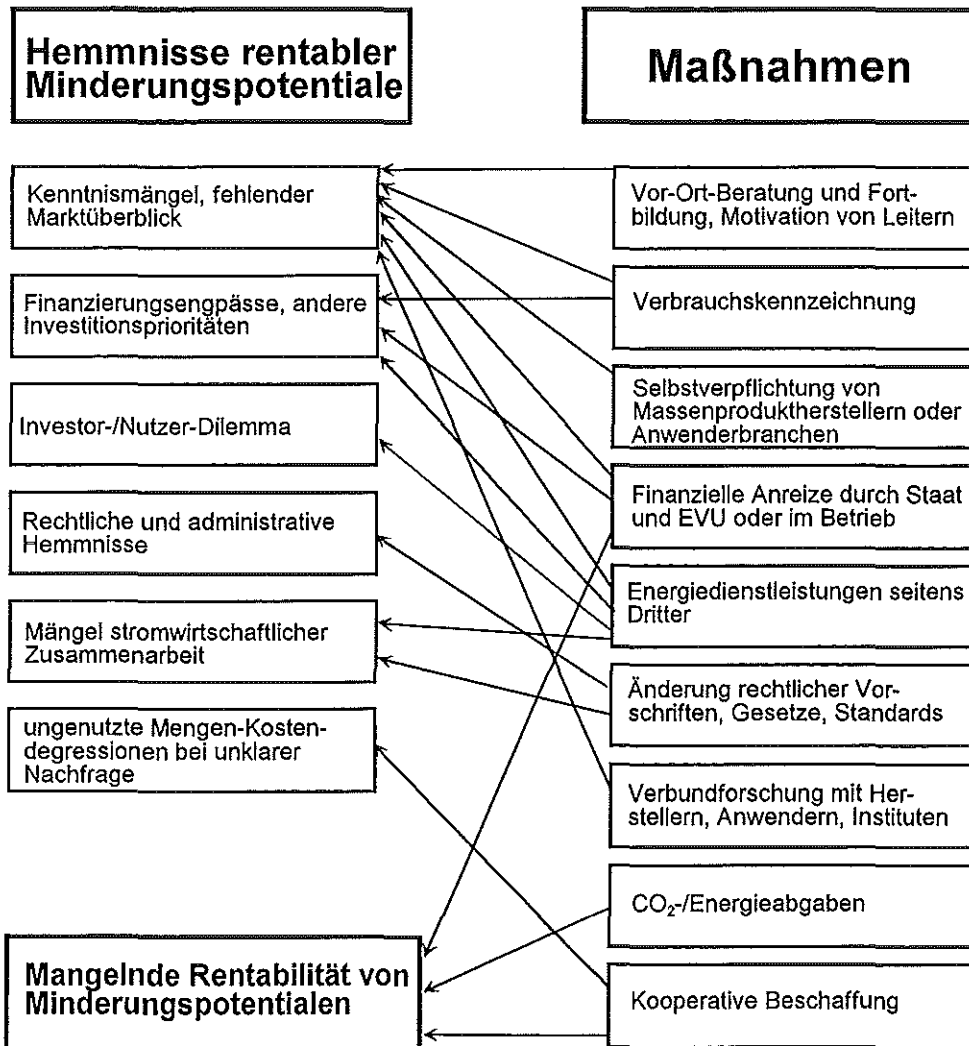
Die Vielfalt der bestehenden Hemmnisse führt einmal zu der Frage ihrer Position im Produktlebenszyklus (vom Stadium der Forschung und Entwicklung über Produktion, Weiterverarbeitung, Handel, Planung, Investition bis zur Nutzung), um an den wichtigen Innovationshemmnissen bei den jeweiligen Akteuren mit geeigneten Maßnahmen simultan ansetzen zu können (vgl. Abbildung 2-1 in Abschnitt 2.1.1). Zum anderen gibt es nicht selten alternative Maßnahmen oder additive, komplementär wirkende Maßnahmen - auch häufiger seitens Dritter, z.B. seitens der Bundesländer, der Kommunen, der Stadtwerke oder neuer Energiedienstleister -, die bei den Wirkungsanalysen die Frage nach Synergie- oder Überlappungseffekten aufwerfen.

Die relativ große Zahl erforderlicher oder möglicher Maßnahmen bzw. Maßnahmenbündel in Industrie und Kleinverbrauch führt auch dazu, daß Daten von empirischen Wirkungsanalysen häufig nicht hinreichend genau die jeweils vorliegenden Rahmenbedingungen oder die partiellen Wirkungen einzelner Maßnahmen beschreiben (und häufig aus statistischen Gründen auch

nicht beschreiben können). Deshalb ist man in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher häufig auf Expertenschätzungen angewiesen, die zwar empirische Kenntnisse und technisch-wirtschaftliche Informationen integrieren, aber auf den jeweiligen Kontext durch Schätzungen angepaßt werden müssen.

Abbildung 3-6

Hemmnisse von Minderungspotentialen und mögliche Maßnahmen zu ihrer Überwindung



Eine *typische Vorgehensweise* bei diesen Expertenschätzungen im Sektor Industrie und Kleinverbrauch ist die folgende:

- Ermittlung der rentablen Energieeffizienz- und Substitutionspotentiale, die entweder einzeltechnologisch und dann mit Hochrechnungen oder mittels LP-Modellen ermittelt werden können (vgl. Abschnitt 2.3.3),
- Identifikation wichtiger Hemmnisse in dem jeweiligen Subsektor mit der Frage, warum die rentablen Emissionsminderungspotentiale weniger als möglich realisiert werden; hierzu gibt es Identifikationsraster (vgl. Abbildung 3-6 und erste einschlägige Literatur (z.B. IEA 1987 oder die in ISIS u.a. (1997) beschriebene Datenbank MURE),
- Abschätzung der Hemmniswirkung, d.h. des theoretischen, maximal durch die identifizierten Maßnahmen mobilisierbaren Minderungspotentials (z.B. energietechnische Sanierung aller Industriehallen und Verwaltungsgebäude im Instandhaltungszyklus),
- Abschätzung der hemmnisbeseitigenden Wirkung einer Maßnahme bzw. eines Maßnahmenbündels, die möglicherweise auch eine genaue Beschreibung der Maßnahme (Intensität, Dauer und regionaler Deckungsgrad) erforderlich macht.

Für die Wirkungsabschätzung sei betont, daß *Mitnahme- oder Mitgebereffekte* nicht nur bei finanziellen Anreizen zu bedenken sind, sondern auch bei anderen Maßnahmenarten wie z.B. Information und Fortbildung ("Es kommen immer nur die gleichen") oder technischen Standards bei neuen Kesselanlagen mit Jahresnutzungsgraden deutlich oberhalb der Anforderungen der TA Luft oder Kleinf Feuerungsanlagen VO, die von einem Teil der Investoren aus eigenem Antrieb sowieso gewählt würden. Auch über diese Effekte, die zielgruppenspezifisch sehr unterschiedlich sein können, gibt es nur sehr vereinzelt empirische Untersuchungen für Branchen, Industrie und Kleinverbrauch (vgl. auch Bruce et al. 1996).

Bei Addition von Wirkungen mehrerer Maßnahmen zu einem Maßnahmenbündel verzichtet man häufig auf die explizite Berücksichtigung *synergetischer Effekte*, weil der Analyst erfahrungsgemäß dazu tendiert, Einzelwirkungen als zu groß anzusehen, d.h. die Kraft der Hemmnisse zu unterschätzen. Andererseits sind *Überlappungseffekte* insbesondere dann explizit zu berücksichtigen, wenn alternative Maßnahmen von mehreren Akteuren simultan unterstellt werden (z.B. von Bund, Ländern und Energieversorgungsunternehmen), die auf den Abbau des

gleichen Hemmnisses und seines Potentials abzielen. Dies ist bei Industrie und Kleinverbrauch häufiger der Fall.

3.4.3.2 Industrie

Für den Sektor Industrie wurden für das "Mit-Maßnahmen-Szenario" und das "Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario" zunächst 39 Maßnahmen einzeln analytisch in ihren Wirkungen bis zum Jahre 2005 bewertet, von denen dann 27 Maßnahmen zu zwei Maßnahmen-Katalogen für die beiden Szenarien zusammengestellt wurden (vgl. Beispiel in Tabelle 3-3).

Bei der Wirkungsanalyse dieser zwei Szenarien mußten insbesondere *Überlappungen von Maßnahmen* herausgerechnet werden, so z.B. die Überlappung

- eines gezielten Fortbildungsprogramms und der Initialberatungen von Energieagenturen (d.h. ein Teil der Betriebe läßt sich fortbilden und investiert mit den eigenen Fachkenntnissen, ein Teil läßt sich mit verbilligten Beratungshonoraren beraten),
- der Unterstützung eines zweiten Kapitalmarktes (z.B. mit verbilligten Krediten) und der Contracting-Förderung durch bewußte Inanspruchnahme seitens der öffentlichen Hand, um den Aufbau einer Kompetenz von Contracting-Unternehmen zu ermöglichen,
- der nachgebesserten Ziele von Selbstverpflichtungen der Anwenderbranchen, die einen hohen Überlappungsgrad haben müssen, weil sie als Brutto-Reduktionsziele angegeben werden, in denen auch sämtliche Maßnahmen anderer Akteure miteinfließen. (Außerdem fließt hier häufig der brancheninterne Strukturwandel zu weniger energieintensiven Produkten mit ein, vgl. DIW, FhG-ISI 1998).

In den ersten beiden o.g. Überlappungsfällen wurde die Wirkung der Einzelmaßnahmen um 30 bis 50 % gekürzt, in anderen Fällen betrug die Überlappung häufig 10 bis 20 %. Bei den Selbstverpflichtungen wurden zunächst die autonom stattfindenden Emissionsminderungen sowie die Wirkungen der sowieso beschlossenen CO₂-Minderungsmaßnahmen Dritter herausgerechnet, um zu einem "Nettoeffekt" der Selbstverpflichtungen durch "besondere Maßnahmen" der Betriebe zu kommen (vgl. auch Hillebrand u.a. 1996, S.71, und Ziesing u.a. 1997, S.157-164). Die Wirkungen weiterer Zielverschärfung der Selbstverpflichtungen von BDI und

den Energiewirtschaftsverbänden gegenüber den Zielen von März 1996 wurden dann unmittelbar als Nettoeffekt nach dem in Abschnitt 3.4.3.1 skizzierten allgemeinen Vorgehen geschätzt.

Der Überlappungseffekt des Maßnahmenbündels, gemessen an der Summe der Einzelmaßnahmen, kommt für die Industrie deutlich zum Ausdruck, wenn die Gesamtsumme der Einzelmaßnahmen der beiden Szenarien von 35,8 Mio. t CO₂ im Durchschnitt um rd. 35 % gekürzt wurde und so die Gesamtwirkung des Maßnahmenbündels nur mit gut 23 Mio. t CO₂-Minderung zu veranschlagen ist. Beim Vergleich der beiden Szenarien "Mit-Maßnahmen" (eine moderate Klimapolitik) und "Mit-weiteren-Maßnahmen" fällt außerdem auf, daß der Überlappungseffekt im ersteren, moderaten Szenario bei lediglich 5 % der Summe der Emissionsminderung liegt und sich im zweiten wesentlich erhöht (vgl. Tabelle 3-3). Dies ist auch verständlich, da mit weitergehenden Maßnahmen die Betroffenheit energierelevanter Entscheidungen in den Unternehmen und Betrieben durch mehrere Instrumente zunimmt.

Die Schätzunsicherheiten bezüglich der Wirkungen der Einzelmaßnahmen aufgrund von Faktoren wie z.B. Mitnehmer- und Mitgabeeffekte sind aufgrund mangelnder Kenntnisse und empirischer Daten erheblich. So führt die Summe der unteren und oberen Schätzwerte der Einzelmaßnahmen zu einem Unsicherheitsbereich von etwa $\pm 20\%$, der sich auch in der Summe des Maßnahmenbündels nicht vermindert, sondern - im Gegenteil - durch die Unsicherheiten der überlappenden Wirkungen sich i.a. noch vergrößern dürfte (Tabelle 3-3). Dieser Unsicherheitsbereich von mindestens $\pm 20\%$ der Gesamtreduktion eines Maßnahmenbündels macht auch noch einmal deutlich, daß die jeweiligen Unterschiede einzelner Wirkungen mehr als qualitative Hinweise für wichtige Maßnahmen zu interpretieren sind; andernfalls besteht die Gefahr, die quantitativen Angaben als prognostische Werte zu verstehen.

Tabelle 3-3

**Maßnahmenbündel zur Reduktion der CO₂-Emissionen
in den Sektoren Industrie und Kleinverbraucher in Deutschland
im „Mit-weiteren-Maßnahmen“-Szenario**

Maßnahmen	CO ₂ -Reduktionsbeitrag im Jahre 2005 ¹⁾ in Mill. t CO ₂
Novellierung der WärmeschutzVO	6,0
ElektroanwendungenVO	2,0
GebäudevermietungsVO	0,6
GrundsteuerVO	0,5
Angebot von grünem Strom	1,0 bis 1,5
neue Verbändevereinbarung BDI/DEW/VIK/VEA	2,4 bis 3,2
verbesserte Kreditprogramme ERP, DfA, KfW	2 bis 4
gezieltes Fortbildungsprogramm	2 bis 4
Initialberatungen und Info über Energieagenturen	2 bis 4
Unterstützung zweiter Kapitalmarkt	1
Contracting-Förderung	1
verbesserte Ziele der Selbstverpflichtungen	5 bis 10
verstärkte Forschung und Entwicklung	2,5 bis 4
bewußte Beschaffungsprogramme von Großunternehmen	4 bis 5
zusätzliche Länder- und Kommunalprogramme	5 bis 7
Insgesamt unter Berücksichtigung von Alternativen, technischen Restriktionen und Überschneidungen	23 bis 32,5
¹⁾ Einschl. CO ₂ -Minderung durch Stromeinsparungen.	

Quelle: Ziesing u.a. (1997).

3.4.3.3 Kleinverbraucher

Auch im Sektor Kleinverbraucher wurde eine erhebliche Anzahl von Maßnahmen für die beiden Szenarien gemäß den Anforderungen der Nationalberichterstattung zunächst einzeln analytisch untersucht und dann in ihrer Wirkung als Gesamtmaßnahmenbündel durch Abzug der Überlappungseffekte geschätzt. Bei einigen Maßnahmen wurde wegen mangelnder Kenntnis der Wirkungen keine Schätzung vorgenommen (z.B. kooperative Beschaffung) oder ausschließlich im Stromsektor berücksichtigt (z.B. die Wirkung der ElektroanwendungsVO und des "grünen Tarifs").

Auch in diesem Sektor wurde die Überlappung der Einzelwirkungen der Maßnahmen im moderaten "Mit-Maßnahmen"-Szenario als relativ gering eingeschätzt, während sie im zweiten Szenario etwa 50 % beträgt.

Der nicht unerhebliche Umfang von Expertenschätzungen über die Wirkungen von Einzelmaßnahmen oder Maßnahmenbündeln im Sektor "Kleinverbraucher" wird in Deutschland noch zusätzlich belastet durch eine sehr dürftige Datengrundlage über die Struktur des Nutzenergiebedarfs in den einzelnen Subsektoren. Denn sehr häufig müssen anhand von Einzelfällen betroffener Betriebe, Gebäude oder Institutionen Annahmen über die energietechnische Struktur des jeweiligen Subsektors getroffen werden. Hier leistet die IKARUS-Datenbank (Laue u.a. 1997) heute erste Hilfestellung, aber die statistisch abgesicherte Repräsentanz durch Breitenerhebungen, wie sie in den USA alle drei Jahre mit einem Aufwand von 4 Mill. US-Dollar durchgeführt werden, ist für Deutschland und viele andere Industriestaaten nicht gegeben. Wenn aber die technische Struktur nicht hinreichend bekannt ist, stehen auch empirisch angelegte Wirkungsanalysen in diesen Ländern vor dem Problem einer sehr unsicheren Hochrechnung von fallspezifisch beobachteten Effekten klimapolitischer Maßnahmen. Auch diese unsichere Datenausgangslage des Sektors Kleinverbraucher führt zu dem Ergebnis, die jeweilige CO₂-mindernde Wirkung von Einzelmaßnahmen oder Maßnahmebündeln als "educated guess" eher qualitativ zu begreifen, denn als prognostische quantitative Aussage, die im Kern nicht eindeutig "ableitbar" wäre.

Um nicht der Gefahr einer unüberprüfaren Willkür des "educated guess"-Prozesses zu erliegen, wird man die jeweiligen zugrunde liegenden Annahmen transparent und nachvollziehbar darlegen müssen. Diese Dokumentation akkumuliert durch Revisionen und Aktualisierungen zu einem Erfahrungswissen, das letztlich in Expertensystemen aufbereitet werden könnte und somit in Zukunft schnell für ex ante-Evaluationen verfügbar wäre. Erste Anfänge in diese Richtung zeichnen sich in der MURE-Datenbank ab (vgl. ISIS u.a. 1997).

3.4.4 Haushalte

3.4.4.1 Raumwärme

Anmerkungen zur Quantifizierbarkeit

Die Maßnahmen im Gebäudebereich umfassen ein breites Spektrum, das von Informationen, Beratung und Steuervergünstigungen über Investitionszuschüsse bis hin zu Gesetzen und Verordnungen reicht. Nur für einen Teil dieser Maßnahmen können die Wirkungen auf die CO₂-Emissionen, d.h. die erreichbare Einsparung in Tonnen pro Jahr, quantifiziert werden. Dies ist jedoch nicht so sehr ein methodisches Problem, sondern eher eine Frage der verfügbaren Daten. Andere Maßnahmen können dagegen gar nicht quantifiziert werden. Je geringer die politische Eingriffsintensität einer Maßnahme ist, um so größer ist der Freiheitsspielraum der privaten Haushalte und um so schwieriger sind die Wirkungen von solchen Maßnahmen zu schätzen. Die zu betrachtenden Maßnahmen werden allgemein in folgende zwei Hauptkategorien eingeteilt:

- *Nicht quantifizierbar* sind meist Maßnahmen qualitativer Natur wie Öffentlichkeitsarbeit (Information, Motivation), um den Verbraucher zum Energiesparen zu bewegen. Hierzu können z.T. auch solche Maßnahmen gehören, mit denen versucht wird, rechtliche, administrative oder sonstige zielgruppenspezifische Hemmnisse abzubauen. Hier ist es schwierig oder vielleicht sogar unmöglich, den zurechenbaren Teil der Energiesparergebnisse hinreichend sicher zu ermitteln. Wegen der Vielzahl von Einflußfaktoren auf die Reaktion der Betroffenen läßt sich der Einfluß bestimmter Maßnahmen kaum isolieren. In diesen Fällen ist bestenfalls eine qualitative Bewertung von Maßnahmenwirkungen durchführbar.
- *Quantifizierbar* sind Maßnahmen, bei denen mit Hilfe von empirischen Wirkungsanalysen aus der Literatur, mit plausiblen und konsistenten Annahmen sowie sonstigen geeigneten Daten- und Informationsquellen die erzielbare CO₂-Reduktion mit meist ausreichender Genauigkeit entweder modellexogen oder mit Hilfe von Modellen berechnet werden kann. Generell sind die Wirkungen solcher Maßnahmen quantifizierbar, die sich wie bei bestimmten Verordnungen und Standards in technischen Größen beschreiben lassen, sowie Förderprogramme, die in energetischen Verbesserungen und monetären Größen ausgedrückt werden können.

Modellexogene Rechnungen und Schätzungen

Die erreichbare CO₂-Einsparung einer Maßnahme hängt von einer Vielzahl ökonomischer und technischer Einflußfaktoren ab. Aufgrund fehlender detaillierter Daten und Informationen ist es nicht immer möglich, alle Bestimmungsgrößen zu erfassen und modellgestützte Berechnungen durchzuführen. Deshalb wird für einen Teil der Einzelmaßnahmen der Weg der modellexogenen Berechnung gewählt. Für jede zu betrachtende Reduktionsmaßnahme sind empirische Daten aus verschiedenen Quellen aufzubereiten und durch konsistente und fundierte Annahmen zu ergänzen. Die jeweiligen Bestimmungsgrößen für die erreichbare CO₂-Einsparung haben eine erhebliche Variationsbreite. Zur Vereinfachung können bei Überschlagsrechnungen gewichtete Mittelwerte verwendet werden. Aufgrund vereinfachender Annahmen müssen die Ergebnisse solcher Berechnungen als Schätzwerte angesehen werden (educated guess).

Im Bereich Raumwärme für Haushalte stehen drei energetische Effekte bzw. Maßnahmenbereiche im Vordergrund:

- Verbesserung der Wärmedämmung an der Gebäudehülle,
- Erhöhung des Jahresnutzungsgrades der Wärmeerzeuger und
- Wechsel zu kohlenstoffärmeren Brennstoffen.

Bei der Wirkungsanalyse der Maßnahmen sind folgende Punkte zu beachten:

- Die gesamten hier betrachteten Einsparungen beziehen sich auf den Raumwärmebedarf ohne Warmwasserbereitung.
- Die Emissionen durch Heizen mit Strom werden nicht in dem Haushaltsbereich, sondern dem Umwandlungssektor zugerechnet.
- Die Berechnung der CO₂-Einsparungen erfolgt durch einen Vergleich der Entwicklung ohne Maßnahme und der Entwicklung mit Maßnahme.
- Nach Möglichkeit sollen die errechneten CO₂-Minderungen von Einzelmaßnahmen, die im Bündel durchgeführt werden, ohne Doppelzählungen addiert werden können. Sofern Überschneidungen auftreten, werden diese separat ausgewiesen.

Zur Illustration der Vorgehensweise wird als Beispiel eine Verschärfung der Anforderungen an den *Wärmeschutz in Neubauten* betrachtet. Es geht hier speziell um die isolierte Wirkung der Wärmeschutzverordnung 1995 (WSchV95), die gegenüber der früher gültigen WSchV82 zu einem um 30 % niedrigerem Wärmebedarf führt. Unter der Annahme, daß die Standards in der Praxis jeweils gerade eingehalten werden, ergibt sich die Gesamteinsparung aus der spezifischen Einsparung und der im Betrachtungszeitraum neugebauten Wohnfläche (Tabelle 3-4). Die Mehremission durch den Zubau von Wohnfläche wird dabei nicht berücksichtigt. Hier geht es lediglich darum, aufzuzeigen, um wieviel die CO₂-Emission größer wäre, wenn die Neubauten ab 1995 nicht nach der WSchV95 gedämmt würden, sondern nach der vorangehenden WSchV82.

Tabelle 3-4

Wirkung eines verstärkten Wärmeschutzes in Deutschland
WSchV95 gegenüber WSchV82 im Jahr 2005

	Einheit	ABL	NBL	Gesamt	
a	Neue Wohnfläche bis 2005	Mill. m ²	420	72	492
b	Heizwärmebedarf WSchV95	GJ/(m ² a)	0,306	0,306	0,306
c	Jahresnutzungsgrad	-	0,8	0,8	0,8
d	Energieverbrauch WSchV95	PJ/a	161	28	189
e	Energieverbrauch WSchV82	PJ/a	230	39	269
f	Energieeinsparung	PJ/a	69	12	80
g	Spezifische CO ₂ -Emission	kt/PJ	62	60	
h	CO ₂ -Einsparung	Mill. t/a	4,3	0,7	5,0

Quellen: zu a: Prognos (1995), zu b: Kolmetz, Rouvel (1995).
 Berechnung: d = a·b/c; e = d/(1-0,3); f = e-d; h = f·g.

Nach der WSchV95 beträgt der maximale Jahresheizbedarf in Neubauten (bei einem geschätzten mittleren A/V-Verhältnis von 0,75) 85 kWh/m² oder 0,306 GJ/m². Der angenommene mittlere Jahresnutzungsgrad der Wärmeerzeuger (Stand 1995) von 0,80 wird konstant gehalten, da der Einfluß der Nutzungsgradverbesserung auf die CO₂-Einsparung der Novellierung der Heizungsanlagenverordnung zugerechnet wird. Der gesamte Endenergieverbrauch der zugebauten Heizungen beträgt dann 189 PJ/a. Bei Gültigkeit der WSchV82 wäre er mit 269 PJ/a um 80 PJ/a höher. Für die mittleren spezifischen CO₂-Emissionen, die im wesentlichen vom Verhältnis Gas- zu Öleinsatz abhängen, ergeben sich für die alten Bundesländer 62 kt/PJ (Gas/Öl: 1,7) und für die neuen Bundesländer 60 kt/PJ (Gas/Öl: 3,0). Dies bewirkt eine CO₂-Reduktion im Sektor Haushalte um 5 Mill. t/a.

Ableitung von weiteren Einzelmaßnahmen aus Rechnungen mit dem IKARUS-LP-Modell

Das Reduktionsniveau im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ wird für den Bereich der privaten Haushalte aus LP-Modellrechnungen übernommen. Betrachtet wird hier die gesamte Reduktion aller Minderungsmaßnahmen im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ gegenüber dem „Mit-Maßnahmen-Szenario“. Dabei wird das IKARUS-Reduktionsszenario zugrunde gelegt, bei dem unterstellt wurde, daß im Zusammenspiel aller Sektoren das von der Bundesregierung verfolgte Minderungsziel für das Jahr 2005 erreicht wird. Der mit dem Modell errechnete optimale Wert für die CO₂-Minderung im Haushaltssektor wird ohne Veränderung auf das „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ übertragen. Mit dem LP-Modell werden kostenminimale Handlungsfelder für CO₂-Reduktionen im Haushaltssektor identifiziert, die dann mit Hilfe weiterer Informationen und modellexogener Überschlagsrechnungen in Einzelmaßnahmen aufgliedert werden.

3.4.4.2 Elektrische Geräte und Warmwasserbereitung

Die Bereiche elektrische Geräte und Warmwasserbereitung im Sektor Haushalte zeichnen sich für Deutschland dadurch aus, daß die Strukturdaten zur Bestimmung des Energieverbrauchs sehr detailliert vorliegen.¹⁸ Eine Einschränkung in der Datenverfügbarkeit ergibt sich jedoch für die neuen Bundesländer. Zwar sind auch hier differenzierte Daten zum summarischen Bestand verfügbar, lange Zeitreihen fehlen jedoch weitgehend. Auf der Grundlage dieser vergleichsweise guten Datenbasis kann die Wirkungsschätzung zumindestens für die alten Bundesländer sehr detailliert durchgeführt werden. Für die neuen Bundesländer müssen die Ergebnisse über eine Hochrechnung der Ergebnisse für die alten Bundesländer geschätzt werden.

¹⁸ So liegen bezüglich der *elektrischen Haushaltsgeräte* neben den amtlichen Statistiken eine ganze Reihe von regelmäßigen Untersuchungen zu Ausstattungsraten bzw. Gerätealter (z.B. ZVEI 1992, VDEW 1991 und 1996, ebök/TUM 1990, Prognos 1995, Geiger u.a. 1993, Kolmetz u.a. 1994 und 1995), aber auch einige Detailuntersuchungen zum spezifischem Energieverbrauch sowohl von durchschnittlichen als auch von Neugeräten vor (z.B. ebök/TUM 1990, ebök 1997, Michael 1991 und 1993, NEI 1995, Prognos 1995, ZVEI 1992). Die vorliegenden Daten zur *Warmwasserbereitung* sind zwar für sich weniger differenziert, können aber über plausible Zuordnungsrechnungen über die Struktur der Beheizungssysteme (für die wiederum detaillierte Daten vorliegen) relativ gut bestimmt werden (z.B. Kolmetz u.a. 1994 und 1995).

Untersucht werden nur Maßnahmen, die auf jeweils *neue* Geräte bzw. Anlagen abzielen; Eingriffe in Bezug auf Altgeräte (also den Bestand) werden nicht unterstellt. Als Modell für die verschiedenen Maßnahmen wird jeweils ein ordnungsrechtlicher Eingriff mit Vorgabe von Mindeststandards für die Energieeffizienz der jeweiligen Geräte betrachtet:

- Eine *Heizanlagenverordnung* definiert Mindestanforderungen an die Effizienz von Heizungsanlagen (v.a. Öl- und Gasheizungen).
- In einer *Elektroanwendungsverordnung* werden Mindeststandards für bestimmte elektrische Geräte (Waschmaschinen, Kühl- und Gefriergeräte, Geschirrspüler) bzw. Komponenten (Standby-Schaltungen) festgelegt.

Prinzipiell ist die im folgenden beschriebene Methodik der Wirkungsschätzung jedoch auch für gleichwertige Instrumente, z.B. freiwillige Selbstverpflichtungen der Hersteller bzw. Importeure von Geräten bzw. Anlagen anwendbar.

Das *Wirkungspotential* der jeweiligen Instrumente wird - in Abhängigkeit von der Datenverfügbarkeit - auf zwei verschiedenen Wegen berechnet:

- Für diejenigen Fälle, in denen historische Daten zu Ausstattungsraten und spezifischem Energieverbrauch vorliegen wird das Wirkungspotential über ein *Stock-Exchange-Modell* errechnet.
- Liegen keine nach Altersklassen differenzierten Strukturdaten vor, wird für die jeweiligen Szenariostützpunkte mit *über die gesamte Geräteflotte gemittelten* Werten gearbeitet.

Im *Stock-Exchange-Modell* wird der Energieverbrauch für das jeweilige Gerät bzw. die jeweilige Anlage nach folgender Beziehung ermittelt:

$$E_i = E_{i-1} + n_{neu,i} \cdot e_i - \sum_{j=1}^i (n_{ges,j} \cdot k_{Abg,i,j} \cdot e_j) + \sum_{j=1}^i (n_{ges,j} \cdot k_{Abg,i,j} \cdot k_{Ers,i,j} \cdot e_i)$$

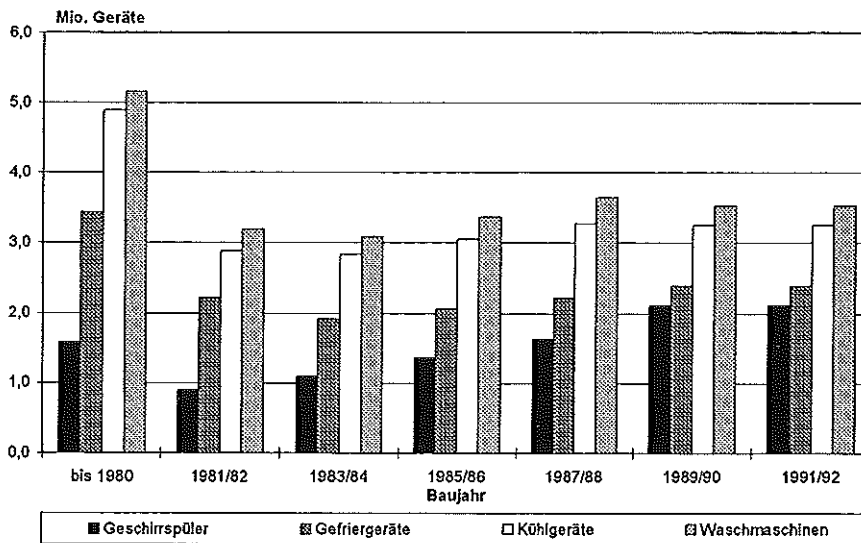
mit

i	Index der Szenariostützpunkte
j	Index der Geräte-Altersklassen
E_i	Energieverbrauch in Szenarioscheibe i
$e_{i,j}$	spezifischer Energieverbrauch von Neugeräten in der Szenarioscheibe i bzw. der Altersklasse j
$n_{neu,i}$	Netto-Zugang an Geräten in der Szenarioscheibe i
$n_{ges,j}$	gesamter Gerätebestand der Altersklasse j
$k_{Abg,i,j}$	altersbedingte Abgangsrate von Geräten der Altersklasse j in der Szenarioscheibe i
$k_{Ers,i,j}$	Substitutionsgrad altersbedingter Geräteabgänge der Altersklasse j durch Neugeräte in der Szenarioscheibe i

Für den historischen Anlagenzuwachs kann hier entweder auf entsprechende Erhebungen zurückgegriffen werden oder es müssen einfache Schätzungen angestellt werden. Für die elektrischen Haushalts-Großgeräte Waschmaschine, Kühl- und Gefriergeräte sowie für Spülmaschinen liegen für die alten Bundesländer Deutschlands entsprechende Erhebungen vor (VDEW 1991 und 1996, ZVEI 1992).

Abbildung 3-7

Altersstruktur für Haushalts-Großgeräte in Deutschland (alte Bundesländer) im Jahr 1992



Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Die Auswertung dieser Erhebungen (Abbildung 3-7) zeigt, daß die durchschnittliche Nutzungsdauer der gezeigten Elektrogeräte in guter Näherung mit 15 Jahren angesetzt werden kann, wobei die altersbedingten Substitutionsraten für die einzelnen Geräte durchaus variieren. Bei einem Szenariozeitraum von 13 Jahren (1992-2005) wird damit der im Ausgangsjahr in Nutzung befindliche Anlagenbestand nahezu vollständig durch neue Geräte ersetzt.

Für Warmwasserbereitungsanlagen sind derartige Strukturdaten nicht bekannt, so daß auf Mittelwertüberlegungen zurückgegriffen werden muß. Es wird davon ausgegangen, daß Anlagen zur Warmwasserbereitung aus Altersgründen etwa alle 20 Jahre ersetzt werden müssen.

Unter Berücksichtigung des Anlagenzuwachses in Neubauten ergibt sich, daß im Jahre 2005 ein Bestand von ca. 66 % der Ölanlagen und 76 % der Gasanlagen zur Warmwasserbereitung nach 1992 neu eingebaut wurde. Die Wichtigkeit einer gesonderten Betrachtung der Austauschprozesse verdeutlicht beispielsweise die Situation bei der Warmwasserbereitung in den neuen Bundesländern: Da Warmwasseranlagen auf Erdgas- oder Ölbasis hier 1992 nur eine äußerst untergeordnete Rolle spielten, wird der Bestand im Jahre 2005 absolut durch den Neueinbau dominiert. Für das Jahr 2005 wird so der Anteil von nach 1992 eingebauten Anlagen mit 90 % (Öl) bzw. 93 % (Erdgas) geschätzt.

Die Berechnungen mit dem Stock-Exchange-Modell ermöglichen neben der Ermittlung von Energieverbrauchsdaten für den *Endpunkt* des Szenariozeitraums auch die Ermittlung von *Zwischen-Stützwerten* im Szenariozeitraum.

Die Ermittlung des Wirkungspotentials für die jeweiligen Instrumente auf der Basis von *Mittelwertschätzungen für gesamte Geräteflotten* erfolgt mit folgender Beziehung:

$$E_i = n_{ges,i} \cdot e_{mittel,i}$$

mit

i	Index der Szenariostützpunkte
E_i	Energieverbrauch in der Szenarioscheibe i
$e_{mittel,i}$	spezifischer Energieverbrauch im Durchschnitt aller Geräte in der Szenarioscheibe i
$n_{ges,i}$	gesamter Gerätebestand in der Szenarioscheibe i

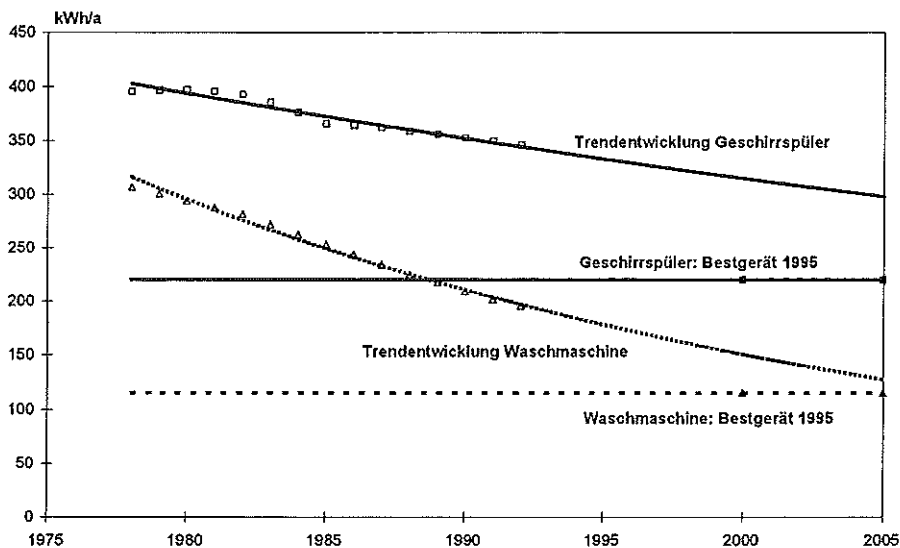
Liegen keine Bestandsdaten, aber Angaben zur Entwicklungsdynamik der entsprechenden Energieanwendung vor, kann dieses Mittelwertverfahren natürlich auch über auf den Ausgangsstützpunkt normierte Werte vollzogen werden. Ein Anwendungsfall für ein solches Verfahren ist die Ermittlung des Energieverbrauchs für Standby-Schaltungen, für die nur ein summarischer Verbrauch und keine anwendungs- bzw. gerätealtersspezifische Differenzierung vorlag. Dieses Verfahren ist hier jedoch unproblematisch anwendbar, da angesichts der schnellen Gerätealterung davon ausgegangen werden kann, daß in einem Szenariozeitraum von 10 bis 15 Jahren *alle* Geräte zumindest einmal ausgetauscht werden.

Neben dem Wirkungsraum für die betrachteten Instrumente, also den im Szenariozeitraum betroffenen Neugeräten, muß der *spezifische Energieverbrauch* bzw. die *spezifische Energieeinsparung* für die zu vergleichenden Varianten bestimmt werden.

Für die *Haushalts-Großgeräte* kann auf der Grundlage der vorliegenden langen Zeitreihen aus der Vergangenheitsentwicklung eine Trendentwicklung für die Zukunft fortgeschrieben werden. Auch wenn natürlich eine solche Schätzungen spekulativer Natur ist und möglicherweise (sprunghafte) technologische Neuerungen vernachlässigen könnte, zeigt die Analyse in Abbildung 3-8, daß zumindest in der Vergangenheit die Verbesserung der Geräteeffizienz durchaus einer stetigen Funktion folgte.

Abbildung 3-8

Entwicklung des durchschnittlichen Verbrauchs von neuen Geschirrspülern und Waschmaschinen in Deutschland (alte Bundesländer), 1978-2005



Quelle: Berechnungen des Öko-Instituts

Die Abbildung zeigt am konkreten Beispiel auch, welche Folgen eine Beschleunigung der Effizienzverbesserung durch den Einsatz zusätzlicher politischer Instrumente haben kann:

- Am Beispiel der Waschmaschine wird deutlich, daß der in der Referenzprojektion gezeigte spezifische Energieverbrauch nur wenig über dem (durch die Verordnung als Mindeststandard definierten) Verbrauch des Bestgerätes von 1995 liegt. Der ganz überwiegende Effekt des politischen Instruments liegt hier darin, die Durchdringung des Gerätebestands durch diese Geräte zu beschleunigen und damit den Flottenverbrauch schneller zu senken (2005: 11 % geringer als in der Referenz).

- Das Beispiel des Geschirrspülers zeigt, daß mit dem analysierten politischen Instrument sowohl ein in der Trendentwicklung zunächst nicht zu erwartendes Effizienzniveau erreicht werden kann als auch der Flottenverbrauch mit der schnelleren Durchdringung deutlich verbessert würde (2005: 25% geringer als in der Referenz).

Naturgemäß ist in beiden Fällen der Effekt für den Verbrauch der gesamten Geräteflotte um so höher, je dynamischer der Zuwachs der Ausstattungsraten verläuft. Wegen des großen Sättigungsgrades bei Waschmaschinen (d.h. Anschaffung von Neugeräten überwiegend als Ersatz) ist die Veränderung des durchschnittlichen Flottenverbrauchs durch einen Höchstverbrauchsstandard geringer als bei Geschirrspülern, bei denen ein hoher Zuwachs der Ausstattungsraten erwartet werden kann.

Eine andere Möglichkeit für die Bestimmung des spezifischen Energieverbrauchs besteht bei der Effizienzerhöhung von Energieumwandlungsanlagen über eine Analyse der Nutzungsgrad-Entwicklung. So läßt sich der spezifische Energieverbrauch für die *zentralen Warmwasserbereitungsanlagen* über die sich *im Mix ergebenden Nutzungsgrade* bzw. deren Differenz (z.B. 7 Prozentpunkte bei Warmwasserbereitung mit Ölheizung, 8 Prozentpunkte bei Gasheizungen) ermitteln.

Neben den genannten Möglichkeiten zur indirekten Ermittlung der Sparpotentiale können die Sparpotentiale aus der Literatur oder Prototypenvergleiche auch direkt abgeschätzt werden und den entsprechenden Instrumenten über Normierungsverfahren zugeordnet werden. Für Standby-Schaltungen wird z.B. ein Gesamt-Sparpotential von 80 % angegeben, welches mit einer Fortschreibung für den Gesamtstromverbrauch bei TV- und Videogeräten im Ausgangsjahr (7,3 TWh) überlagert wird. Dabei wird angenommen, daß sich die Zahl dieser Anwendungen mit Standby-Schaltungen bis zum Ende des Szenariozeitraums um 50 % erhöht.

Ohne Zweifel existiert bei der Analyse der beschriebenen Instrumente die Gefahr einer *Überschätzung der Wirkungen*, denn auch ohne eine entsprechende Vorschrift hätte ein Teil der neu angeschafften Geräte bzw. Anlagen den entsprechenden Standards genügt:

- Durch die explizite Berücksichtigung der Effizienzverbesserungen in den durchschnittlichen spezifischen Verbrauchswerten für Neuanlagen im *Stock-Exchange-Modell* können solche Doppelzählungen weitgehend vermieden werden.

- Bei der Bewertung über den *mittleren Flottenverbrauch* müssen plausible Annahmen zur Ohnehin-Anwendung der Komponenten mit den entsprechend geforderten Verbrauchsstandards getroffen werden. Dieser Anteil wird z.B. bei Standby-Schaltungen mit einer Effizienzsteigerung von 80 % in konservativer Schätzung auf rund 30 % veranschlagt.

Außerdem sind bei der Wirkungsanalyse die folgenden Punkte zu beachten:

- *Anhalte- oder Ausstrahlungseffekte* können bei den untersuchten politischen Instrumenten allenfalls mittelbar erwartet werden (Innovationsentwicklung etc.), so daß sie in einer auf wenige Jahre beschränkten Analyse nur bedingt berücksichtigt werden müssen.
- Da die untersuchten Instrumente vor allem auf die Hersteller bzw. Importeure abzielen und relativ gut kontrolliert werden können, kann grundsätzlich ein *Befolgungsgrad* von 100 % unterstellt werden.
- *Synergie- und Überlappungseffekte* sind aufgrund der sektorspezifischen und zielgenauen Ausrichtung der politischen Instrumente nicht zu erwarten.

Die *emissionsseitige Bewertung* der ermittelten Energieeinsparungen muß auf unterschiedlichen Wegen erfolgen:

- Die auf direkte Öl- und Gaseinsparung zielenden Instrumente werden ohnehin brennstoffspezifisch bewertet. Die entsprechenden Energieeinsparungen können so direkt mit den zugehörigen Emissionsfaktoren überlagert werden.
- Die errechneten Stromeinsparungen werden nur mittelbar emissionswirksam und fließen als veränderte Stromnachfrage in die Modellierung des Kraftwerksparks ein. Für den *nachrichtlichen Ausweis* wurden diese Stromeinsparungen jedoch mit einem mittleren Emissionsfaktor für die gesamte Strombereitstellung im *Referenzfall* bewertet. Eine Differenzierung nach Grenzressourcen in verschiedenen Lastbereichen erfolgte hier nicht.

3.4.5 Verkehr

3.4.5.1 Vorbemerkungen

Im Verkehrsbereich sind in Deutschland gegenwärtig rund 30 Einzelmaßnahmen - sowohl „ergriffene“ als auch „weitere“ (von der Bundesregierung vorgesehene sowie zusätzlich vorgeschlagene Maßnahmen) - hinsichtlich ihres möglichen CO₂-Reduktionspotentials zu betrachten.¹⁹ Wie in den anderen CO₂-relevanten Bereichen ergeben sich auch bei der Wirkungsanalyse der Einzelmaßnahmen im Verkehrsbereich erhebliche methodische Probleme. Die verschiedenen Einzelmaßnahmen stehen häufig in Wechselbeziehungen zueinander; die Wirkungen können sich ergänzen und verstärken (z.B. Geschwindigkeitsverringerungen, Erhöhung der Mineralölsteuer, Maßnahmen zur Verstetigung des Verkehrsflusses, Vorgabe von Kraftstoffverbrauchsgrenzwerten, allgemeine Schulung in mehr Energieeffizienz, Informationskampagnen), sich überlagern (z.B. BVWP '92, Kombi-Verkehre über Wasserstraßen, Verlagerung des Transitverkehrs von der Straße auf Schiene und Schiff) oder auch neutralisieren (Stärkung der kombinierten Verkehre, Verlagerung des Transitverkehrs auf Schiene und Schiff und Ausbau der Schienenwege und Wasserstraßen einerseits sowie Ausbau des Straßennetzes und Tarifaufhebungsgesetz andererseits). Gleiches gilt im übrigen auch für Entwicklungen und Entscheidungen in anderen Politikfeldern und Bereichen, die in ihren Auswirkungen die CO₂-Reduktionsbemühungen im Verkehrssektor unterstützen (z.B. raumsparende Flächennutzungs-

¹⁹ Geordnet nach der Eingriffsintensität des Staates (hier abnehmend) lassen sie sich - wenn auch nicht immer trennscharf - folgenden Kategorien zuordnen:

- *ordnungsrechtliche Maßnahmen*: Gaspandel-VO, Strukturreform der Bahn; Tarifaufhebungsgesetz, Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Straßenverkehr, Vorgabe von Kraftstoffverbrauchsgrenzwerten;
- *preispolitische Maßnahmen*: Erhöhung der Mineralölsteuer, emissionsbezogene Kfz-Steuer, Gebühren für die Benutzung bestimmter Straßen, Anhebung der EU-Mindestsätze bei der Mineralölsteuer, emissionsbezogene Kfz-Steuer, CO₂-Emissionen bei neuen Kfz, Besteuerung von Flugkraftstoffen, Anhebung des Kraftstoffpreises, fahrleistungsabhängige Straßenbenutzungsgebühren;
- *investitionspolitische Maßnahmen*: Bundesverkehrswegeplan, Steigerung der Attraktivität des öffentlichen Personennahverkehrs, Verkehrsbeeinflussung durch Verstetigung des Verkehrsflusses, Güterverkehrszentren, Kombi-Verkehre über Wasserstraßen, Standortkonzeption der Bahn, Verlagerung des internationalen Transitverkehrs von der Straße auf die Schiene und das Schiff, Anwendung moderner Informationstechnik zur Vermeidung und Regulierung weiteren Verkehrsaufkommens;
- *forschungsfördernde Maßnahmen*: Forschungsprogramm Stadtverkehr, Forschungsförderung und Information über Stadtverkehrsplanung und umweltschonenden Stadtverkehr, Verkehrsforschung, Forschungsprogramm Schadstoffe in der Luftfahrt sowie
- *informative und sonstige Maßnahmen*: Informationen zum energiesparenden und umweltfreundlichen Verkehrsverhalten, Änderung der gemeinsamen Geschäftsordnung der Bundesministerien, Einführung einer Verkehrsauswirkungsprüfung, allgemeine Schulung in mehr Energieeffizienz.

politik) oder hierauf kontraproduktive Auswirkungen haben können (z.B. Globalisierung und Internationalisierung von Wirtschaft und Handel, lean production).

Bei allen Einzelmaßnahmen ist zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Reaktionen der Verkehrsteilnehmer zu unterscheiden. Auf eine kräftige Kraftstoffverteuerung - z.B. über eine Anhebung der Mineralölsteuer - wird es kurzfristige Reaktionen geben, die sich auf mittlere und längere Sicht jedoch durch Gewöhnung und Anpassung (z.B. Umschichtung der Haushaltsbudgets, höhere Einkommen) erheblich vermindern dürften.

Außerdem ist zu beachten, daß viele Einzelmaßnahmen nur qualitativ (z.B. Forschungsprogramm Stadtverkehr) benannt werden bzw. hinsichtlich ihrer Ausprägung (z.B. Anhebung der EU-Mindestsätze bei der Mineralölsteuer) nicht quantifiziert wurden und daß ferner viele Einzelmaßnahmen im Betrachtungszeitraum nicht vollständig oder anders umgesetzt werden.

Vor dem Hintergrund der vorgenannten Überlegungen dürfen Abschätzungen von CO₂-Minderungswirkungen bestimmter Einzelmaßnahmen nicht fehlinterpretiert werden. Angesichts der vielen Unwägbarkeiten und der häufig nicht quantifizierbaren oder auch kontraproduktiven Wirkungen einzelner Maßnahmen erlauben die ermittelten CO₂-Minderungspotentiale lediglich einen groben Vergleich verschiedener Maßnahmen hinsichtlich ihres möglichen CO₂-Reduktionsbeitrages. Wegen der vielfältigen Wechselbeziehungen sind die Wirkungen von Einzelmaßnahmen im Verkehrsbereich in der Regel auch nicht addierbar.

3.4.5.2 Wirkungen ausgewählter Einzelmaßnahmen im Verkehr

Die hinsichtlich ihres CO₂-Reduktionspotentials untersuchten *preispolitischen Maßnahmen* (Erhöhung der Mineralölsteuer, Anhebung der Mindestsätze bei der Mineralölsteuer, Anhebung des Kraftstoffpreises, Straßenbenutzungsgebühren) gehen im Verkehrsbereich von der Annahme eines klassischen Marktversagens aus. Die Inanspruchnahme von Verkehrsleistungen verursacht Schäden (durch Luftschadstoffe, Lärm, Flächenverbrauch, Verminderung der allgemeinen Lebensqualität) und führt bei Dritten zu Kosten, die nicht die Verkehrsteilnehmer selbst, sondern die Allgemeinheit zu tragen haben. In der Wissenschaft unbestritten ist, daß diese externen Kosten beim Individual- und beim Straßengüterverkehr je Leistungseinheit (DM je Pkm bzw. tkm) höher sind als - mit Ausnahme des Luftverkehrs - bei den übrigen Verkehrs-

trägern. Insofern soll die Forderung nach höheren Kraftstoffpreisen bzw. einer Verteuerung des Straßenverkehrs die Herstellung eines funktionierenden Marktmechanismus bewirken.

Das Ziel aller preispolitischen Maßnahmen ist, Anreizmechanismen für Energieeinsparungen im Personen- und Güterverkehr zu schaffen. Diese Energieeinsparungen werden über folgende Reaktionsmöglichkeiten erreicht:

- geringere Motorisierung (Personenverkehr),
- höhere Besetzung (Personenverkehr) und höhere Auslastung (Güterverkehr) der Fahrzeuge,
- Veränderung der Verkehrsmittelwahl (Personen- und Güterverkehr),
- kürzere Fahrtziele (Personenverkehr) und kürzere Beschaffungs- und Absatzwege und Vermeidung von Leerfahrten (Güterverkehr),
- Herstellung, Anschaffung und Nutzung verbrauchseffizienterer sowie sparsamerer Fahrzeuge (Personen- und Güterverkehr),
- Verkehrsvermeidung (Personen- und Güterverkehr) sowie
- generell ein energieverbrauchsbewußteres Verhalten (Personen- und Güterverkehr).

Die Wirkung preispolitischer Instrumente hängt wesentlich von der Ausgestaltung der Maßnahmen ab. So ist bei einer Anhebung der Kraftstoffpreise auf 3 DM je Liter (VK und DK) eine kontinuierliche und schrittweise Anhebung zu berücksichtigen. Für die verkehrlichen Wirkungen wichtig ist auch eine entsprechende Anhebung in den übrigen EU-Ländern, um Tanktourismus zu vermeiden.

Der im Personen- und Güterverkehr quantifizierte CO₂-Minderungseffekt dieser Maßnahme (von 23 Mill. t gegenüber Referenzentwicklung von Prognos bis 2005) wurde - trotz vieler methodischer Bedenken - über bestimmte Annahmen über die Preiselastizität der Nachfrage ermittelt. In der Literatur werden hierfür Werte von -0,1 bis -0,7 genannt. Bei einem hier unterstellten Wert von -0,25 führt z.B. eine reale Preiserhöhung um 50 % zu einer Verminderung der Fahrleistung um etwa 13 %. Es ist darauf hinzuweisen, daß im Güterverkehr die prozentualen Minderungseffekte (-5 %) erheblich unter denen im Personenverkehr (-12 %) liegen.

Die Lkw-Unternehmer können den Fuhrparkbetrieb generell effizienter gestalten (wie höhere Auslastung, geringerer Leerfahrtenanteil, bessere Logistik) sowie die erhöhten Transportkosten z.T. auf die Verlader überwälzen. Diese wiederum können ihre Produktions-, Beschaffungs- und Absatzlogistik ebenfalls rationalisieren, andere Verkehrsmittel wählen oder die erhöhten Transportkosten auf ihre Kunden überwälzen. Im Straßengüternahverkehr sind die Reaktionen - mangels ausreichender Alternativen - noch sehr viel unelastischer als im Fernverkehr einzuschätzen.

Fahrleistungsabhängige Straßenbenutzungsgebühren (Road-Pricing) erlauben - anders als die Mineralöl-, CO₂-, Energie- oder die Kfz-Steuer - eine unmittelbare Lenkung der Verkehrsnachfrage über den dafür zu entrichtenden Preis. Da sie direkt an den gefahrenen Kilometern, Streckenabschnitten, Wegelängen und/oder Fahrtzielen anknüpfen, kann über eine entsprechende Abgabenhöhe der motorisierte Straßenverkehr so beeinflußt werden, daß sich die jeweils gewünschten „Ziel-Verkehrsmengen“ einstellen.

Unter dem Gesichtspunkt der CO₂-Reduktion ist zu fordern, daß diese Gebühr für sämtliche Straßenkategorien zu entrichten ist. Zeitliche, gebiets- und/oder streckenbezogene Gebühren können zwecks Verminderung lokaler Umweltbelastungen durchaus sinnvoll sein, implizieren aber die Gefahr von Ausweich- und Umgehungsreaktionen mit möglicherweise kontraproduktiven Auswirkungen auf die Fahrleistungen, den Kraftstoffverbrauch und damit auch die CO₂-Emissionen.

Die Wirkungen dieser Gebühr (-,10 DM je Pkw-km; -,20 DM je Lkw-km) werden ähnlich wie bei einer Verteuerung der Kraftstoffe ermittelt. Umgerechnet auf die Tankstellenabgabepreise würde diese Abgabe einem Kraftstoffpreis von 2,60 DM je Liter VK und 2,45 DM je Liter DK entsprechen. Die Energieeinsparungen ergeben sich durch

- geringere Motorisierung,
- erhöhte Besetzungs- und Auslastungsgrade,
- Verringerung der Reise- und Fahrtweiten,
- Routen-/Streckenoptimierung,
- Änderung des Modal Split,

- Vermeidung von Fahrten sowie indirekt
- über energieverbrauchsbewußteres Verhalten und
- die Herstellung, Anschaffung und Nutzung energieeffizienterer Fahrzeuge.

Das CO₂-Minderungspotential (rund 15 Mill. t) kann aufgrund derzeit fehlender technischer Einrichtungen und der entsprechenden (datenschutz-) rechtlichen Voraussetzungen bis zum Jahr 2005 nicht ausgeschöpft werden. Obwohl Straßenbenutzungsgebühren aufgrund der direkten Lenkungs- und Steuerungsmöglichkeiten einer Mineralölsteuererhöhung vom Grundsatz her vorzuziehen sind, haben letztere den Vorteil der unter den gegebenen Rahmenbedingungen relativ einfachen Implementierung und der sofortigen Mehreinnahmen für den Staatshaushalt.

Eine Vorgabe von Kraftstoffverbrauchsgrenzwerten ist neben der Vorgabe von CO₂-Grenzwerten (z.B. 90 g CO₂/km) der einfachste und direkteste Weg, bestimmte quantitative CO₂-Minderungsziele zu erreichen. Sinnvollerweise können sich derartige Limits nur auf neu zugelassene Fahrzeuge beziehen. Aus der Vielzahl der Ausgestaltungsmöglichkeiten derartiger gesetzlicher und administrativer Regelungen wird der Fall betrachtet, daß alle in Deutschland neu zugelassenen Pkw ab sofort jährlich einen um 5 % verminderten Durchschnittsverbrauch (Liter je 100 km) aufweisen müssen, jeweils bezogen auf Verbrauchswerte, die im Durchschnitt realistische Fahrzyklen (Testverbrauchswerte) widerspiegeln. Diese Minderungsraten gelten gleichermaßen für VK- und DK-Fahrzeuge. Die für 2005 ermittelten durchschnittlichen Verbrauchsabsenkungen für den Pkw-Bestand (für VK-Fahrzeuge von 9,2 auf 7,8 Liter je 100 km und für DK-Fahrzeuge von 7,5 auf 6,4 Liter je 100 km) sowie die ermittelten CO₂-Minderungen von 11,3 Mill. t gelten unter folgenden Voraussetzungen:

- Durchschnittsalter der Fahrzeuge bei der Löschung 11 Jahre,
- gleichbleibende Pkw-Bestandsentwicklung,
- konstante Struktur des Pkw-Bestandes nach Hubraumklassen,
- gleichbleibendes Verhältnis von VK- und DK-Fahrzeugen sowie
- unveränderte Fahrleistungen.

Dies erfordert allerdings Verwaltungskosten für verstärkte Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen.

Von den *ordnungsrechtlichen Maßnahmen* ist hinsichtlich der Höhe des CO₂-Minderungseffektes die Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten im Straßenverkehr (T 100, T 120 und T 130: BAB; T 80: sonstige Außerortsstraßen) besonders hervorzuheben. Eine allgemeine Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (T 100/80) läßt einen reibungsloseren Verkehrsfluß und eine Kraftstoffeinsparung erwarten. Beide Effekte sind unmittelbar CO₂-reduktionswirksam.

Grundlage der Berechnungen für die Einsparpotentiale im motorisierten Individualverkehr durch Geschwindigkeitsbeschränkungen sind Geschwindigkeitsverteilungen für einen Zustand entsprechend den bisherigen Höchstgeschwindigkeitsregelungen und Geschwindigkeitsverteilungen nach Einführung niedrigerer Geschwindigkeitsgrenzen. In diesen Verteilungen sind die jeweiligen Fahrleistungsanteile und die zugehörigen Durchschnittsverbrauchswerte für Klassen von mittleren Fahrgeschwindigkeiten ausgewiesen. Diese Geschwindigkeitsverteilungen wurden zunächst nach alten und neuen Bundesländern, nach Pkw mit Otto- und Dieselmotor sowie nach Bundesautobahnen und sonstigen Außerortsstraßen aufgrund vorhandener Untersuchungen, Verkehrserhebungen und -zählungen getrennt geschätzt. Durch die Verknüpfung von Durchschnittsverbrauch je Geschwindigkeitsklasse mit der Verteilung des Pkw-Bestandes auf die Geschwindigkeitsklassen lassen sich die entsprechenden Minderungspotentiale ableiten.

Der Lkw-Verkehr ist zunächst nicht von dieser Maßnahme betroffen. Geschwindigkeitsmessungen der Bundesanstalt für das Straßenwesen zeigen jedoch, daß mehr als die Hälfte der größeren Lkw das heute vorgeschriebene Tempolimit von 80 km/h auf Autobahnen überschreitet. Die mittlere Fahrgeschwindigkeit auf freien Autobahnstrecken betrug z.B. im Jahr 1992 etwa 87 km/h. Da ein genereller Befolgungsgrad von 80 % der für Pkw geltenden Höchstgeschwindigkeiten unterstellt wird, der über verstärkte Überwachungs- und Kontrollmaßnahmen erreicht wird, ist sichergestellt, daß auch ein Teil der beim Straßengüterverkehr „schlummernden“ Potentiale erschlossen werden kann.

Ein CO₂-Reduktionsbeitrag durch Tempo 100 auf Autobahnen und Tempo 80 auf sonstigen Außerortsstraßen in Höhe von 12,5 Mill. t (2005 bezogen auf den Prognos-Referenzfall) dürften eher einer vorsichtigen Schätzung entsprechen. Denn es wurde unterstellt, daß die Fahrleistungen konstant bleiben. Tatsächlich dürften sie tendenziell jedoch eher zurückgehen. Eine

Begrenzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf Bundesautobahnen auf höherem Niveau (BAB 120 km/h bzw. 130 km/h) würde unter ansonsten unveränderten Bedingungen naturgemäß zu niedrigeren Reduktionsmengen führen.

Verringerungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten haben generell den Vorteil, daß sie - abgesehen von verstärkten Überwachungsmaßnahmen und neuen Verkehrsschildern - den Bundeshaushalt nur geringfügig belasten, sofort umsetzbar wären und vor allem auch sofort wirken würden.

3.4.5.3 Wirkungen von Maßnahmenbündeln im Personen- und Güterverkehr

Eine Politik, die darauf abzielt, in einem marktwirtschaftlichen Ordnungsrahmen die CO₂-Emissionen zu verringern, sollte im Verkehrsbereich darauf hinwirken, daß

- umweltverträglichere Verkehrsmittel benutzt werden,
- die Verkehrs-/Transportbedürfnisse verringert werden,
- der spezifische Energiebedarf und die daraus resultierenden spezifischen CO₂-Emissionen gesenkt werden.

Den Kern einer zielorientierten CO₂-Reduktionsstrategie könnten folgende Komponenten bilden:

- Anhebung der EU-Mindestsätze bei der Mineralölsteuer (Kraftstoffpreis 2 DM je Liter VK und DK),
- CO₂-Emissionen bei neuen Kfz (Umstellung der Kfz-Steuer),
- Besteuerung von Flugkraftstoffen (Mineralölsteueranlastung) und Aufhebung der Mehrwertsteuerbefreiung im grenzüberschreitenden Luftverkehr,
- Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten im Straßenverkehr (BAB: 120 km/h; (sonstige) außerorts: 80 km/h; innerorts: unverändert).

Angesichts der zeitlichen und inhaltlichen Probleme bei der politischen Durchsetzung auch nur einer Maßnahme im nationalen Bereich bzw. auf europäischer Ebene muß eine derartige Ge-

samtstrategie, die zwecks Erreichung nennenswerter CO₂-Reduktionen im Jahre 2005 (40 Mill. t CO₂ - Stabilisierung auf dem Niveau von 1990) unverzüglich beschlossen und umgesetzt werden müßte, allerdings als unrealistisch eingeschätzt werden.

Zur Untersuchung eines „realistischeren“ Strategiekonzeptes zur Verminderung von CO₂-Emissionen im Verkehrsbereich sind vorliegende Untersuchungen der Effizienz von Maßnahmenbündeln ausgewertet worden (Delphi, Expertenschätzungen, Befragungen und Erhebungen, hierarchisch geordnete Wirkungsanalyse der in den Maßnahmenbündeln enthaltenen Einzelmaßnahmen, Faktorenanalyse, ökonometrische Modellrechnungen u.a.m.). Dieses Konzept geht von der Grundannahme aus, daß die Akzeptanz der eingesetzten Maßnahmen (und damit zugleich ihre Wirksamkeit) in starkem Maße davon abhängt, daß die gesamtwirtschaftliche Entwicklung möglichst wenig beeinträchtigt wird und daß die Strategie sozialpolitisch ausgewogen ist. Die alleinige Belastung bzw. Behinderung von Pkw und Lkw, als den bedeutsamsten CO₂-Emittentengruppen, ohne die gleichzeitige nennenswerte Verbesserung alternativer Verkehrsangebote würde als schikanös empfunden werden und zugleich zu erheblichen Störungen im Wirtschafts- und Lebensablauf führen.

Eine integrierte Verkehrs- und Umweltpolitik läßt sich am ehesten durch eine ausgewogene Mischung vielfältiger Einzelmaßnahmen umsetzen. Wichtig ist ein verkehrs- und umweltpolitisches Gesamtkonzept, in dem sich einzelne Maßnahmen nicht kontraproduktiv zueinander auswirken.²⁰

In allen vorliegenden Untersuchungen erstreckt sich das Spektrum der Maßnahmen (bis zu rund 100 Einzelmaßnahmen) vor allem auf die Bereiche Ordnungspolitik, Preispolitik, (Finanzpolitik), Investitionspolitik (Infrastrukturpolitik) und Flächennutzungspolitik. Sinnvoll ergänzt um organisatorische Maßnahmen, eine erweiterte Öffentlichkeitsarbeit (Werbekampagnen für umweltverträgliches Verhalten und für die Benutzung umweltfreundlicher Verkehrsmittel), eine gezielte Technologiepolitik (Steigerung der Energieeffizienz der Fahrzeuge, der Verkehrs- und Betriebssysteme) sowie eine umfassende Schulung in umweltfreundlicher

²⁰ Das DIW war bereits mehrfach an der Definition und Ausformulierung derartiger Gesamtstrategien zur Verminderung negativer Folgewirkungen des Verkehrs beteiligt. Auch Prognos (1991) hat in seiner Maßnahmenstudie zum Verkehr darauf hingewiesen, daß erst die sinnvolle Zusammenstellung von Maßnahmenbündeln die tatsächlichen CO₂-Reduktionsspielräume aufzeigen kann, und deshalb die untersuchten Einzelmaßnahmen abschließend in Maßnahmen-Szenarien gebündelt (Szenario „Anreize“ führt im Jahr 2005 gegenüber dem Trend zur CO₂-Reduktion um 20 %; Szenario „Regeln“ um 46 %).

Fahrweise können derartig umfassend zusammengesetzte Maßnahmenbündel beträchtliche CO₂-Minderungen bewirken.

Angesichts der kurzen Umsetzungszeit ließe sich durch ein solches Strategieprogramm bis 2005 zwar „nur“ ein Reduktionspotential von rund 30 Mill. t CO₂ (-13 % gegenüber Prognos „Referenzfall“ 2005) erschließen; längerfristig wären die CO₂-Minderungen jedoch beachtlich. Eine solche Strategie hätte durch die Vielzahl der aufeinander abgestimmten Einzelmaßnahmen den Vorteil, daß sie sich eher durchsetzen ließe. Die Einzelmaßnahmen in dieser Strategie sind weniger stark ausgeprägt (dosiert) und daher eher konsensfähig und erstrecken sich auch vorwiegend auf die nationale Ebene, so daß ein langwieriger Einigungsprozeß auf europäischer Ebene entfällt bzw. weniger schwierig ist. Allerdings sind in einem solchen Konzept auch die Bundesländer und die Kommunen (z.B. bei der Parkraumbewirtschaftung) im größeren Umfang eingebunden, wobei insbesondere der Flächennutzungs politik „vor Ort“ unter dem Gesichtspunkt der Verkehrsreduktion eine größere Rolle als bisher zukommen muß.

3.5 Zusammenführung der sektoralen Schätzungen zu Gesamtszenarien

Bei der Verdichtung der - zunächst parialanalytischen abgeleiteten - sektoralen Schätzungen zu gesamtenergiewirtschaftlichen Szenarien kommt es vor allem darauf an, sektorspezifische und sektorübergreifende Maßnahmen und deren Wirkungen zu einem konsistenten Bild der energiewirtschaftlichen Entwicklung zusammenzuführen. Dabei sind iterativ insbesondere die Interdependenzen zwischen den Endverbrauchssektoren und dem Umwandlungssektor zu beachten.

Unter Berücksichtigung dieser Wechselwirkungen lassen sich die wichtigsten Ergebnisse der für Deutschland untersuchten Szenarien wie folgt skizzieren (Ziesing u.a. 1997, vgl. auch Abbildungen 3-9 und 3-10):

- Im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“ würden die CO₂-Emissionen im Jahre 2005 um rund 3 % niedriger sein als 1990. Dabei stünden kräftigen Emissionsminderungen in der Industrie ebenso deutliche Emissionserhöhungen im Verkehr gegenüber.

- Im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ würden die CO₂-Emissionen im Jahre 2005 um 14,5 % niedriger sein als 1990. Dabei kommt es zu einer überdurchschnittlich starken Emissionsminderung in 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 ein Fünftel höher sein als 1990.
- Das „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ kommt zu dem Ergebnis, daß die CO₂-Emissionen im Jahre 2005 um knapp 27 % niedriger sein könnten als 1990. Damit erscheint also das Ziel der Bundesregierung als grundsätzlich erreichbar. 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. Im Verkehr kommt es in diesem Szenario gegenüber 1990 nur noch zu einem leichten Anstieg der Emissionen.

Abbildung 3-9

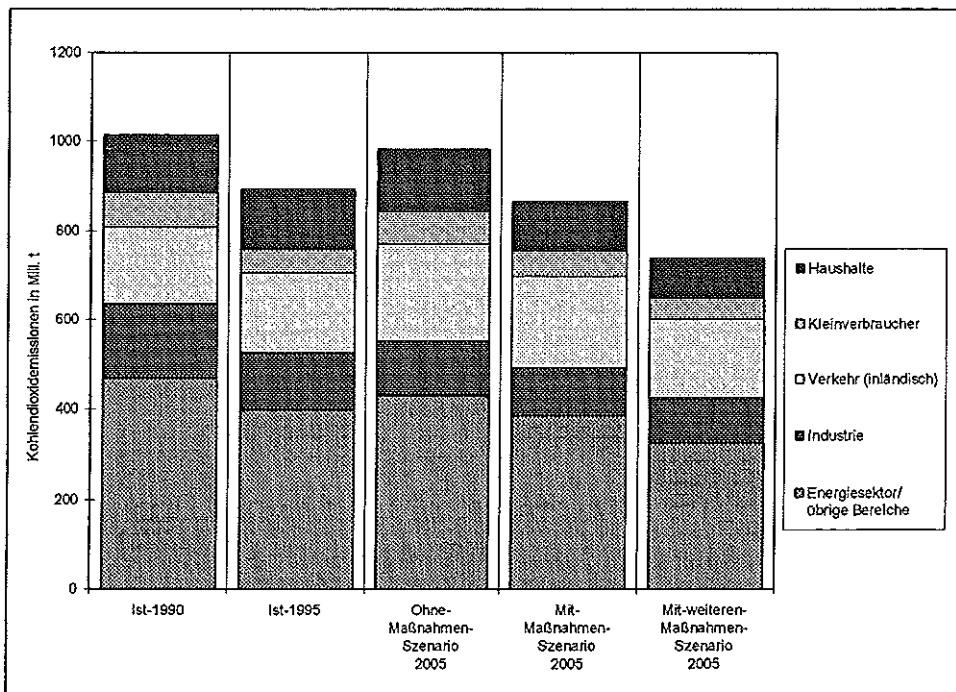
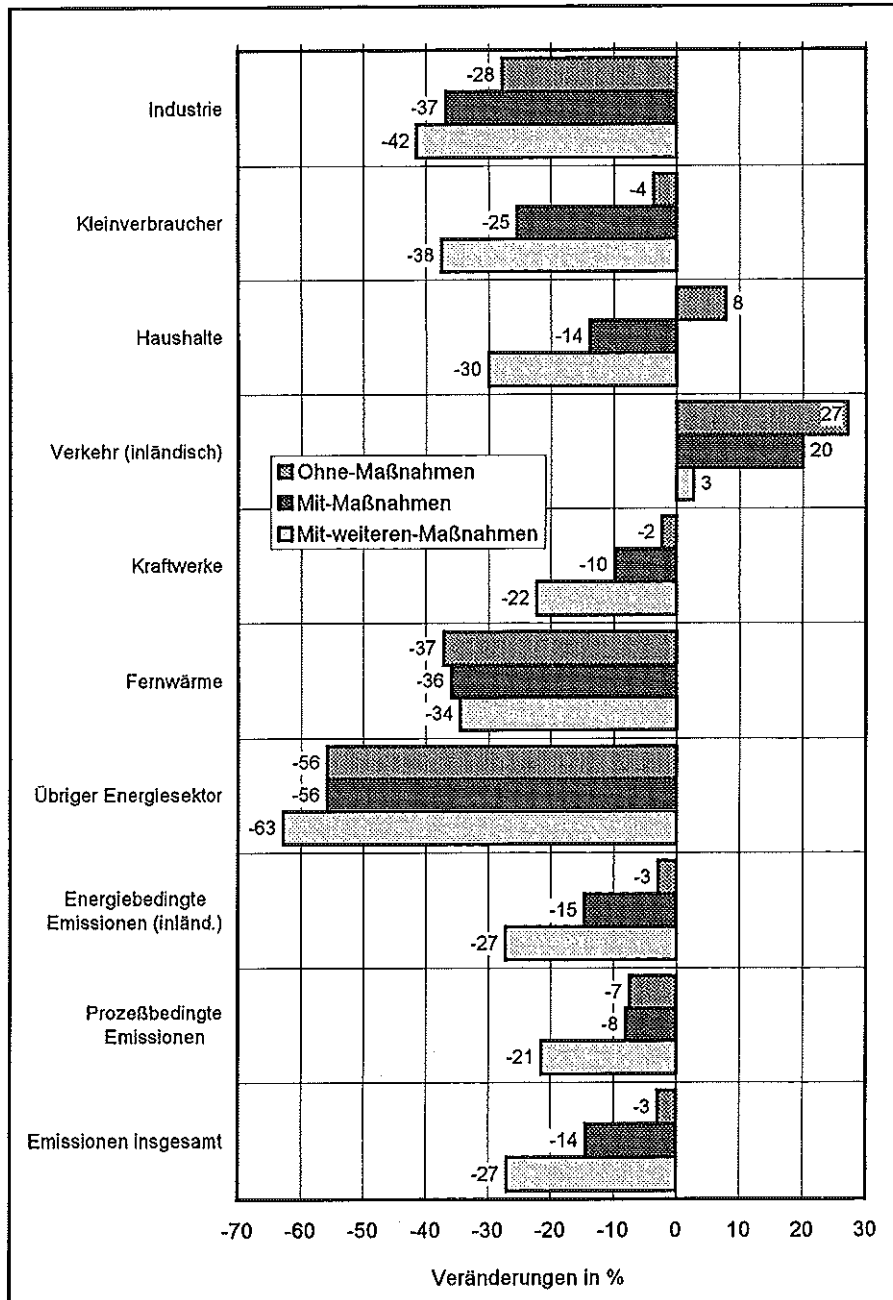
CO₂-Emissionen in Deutschland bis 2005 in den drei Szenarien

Abbildung 3-10

Relative Veränderungen der CO₂-Emissionen in Deutschland von 1990 bis 2005 in den drei Szenarien



Im Quervergleich der Szenarien für das Jahr 2005 zeigt sich folgendes Bild der Maßnahmenwirkungen:

- Im „Mit-Maßnahmen-Szenario“ fallen die CO₂-Emissionen um 12 % niedriger aus als im „Ohne-Maßnahmen-Szenario“. Besonders hohe absolute Beiträge zu dieser Reduktion leisten die Haushalte und der Bereich der Stromerzeugung; ins Gewicht fallen aber auch die Beiträge der übrigen Endenergiesektoren Kleinverbraucher, Industrie und Verkehr.
- Im „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“ werden die CO₂-Emissionen gegenüber dem „Mit-Maßnahmen-Szenario“ um weitere 14 % reduziert. Zu dieser zusätzlichen Verminderung tragen vor allem der Energiesektor, der Verkehr sowie die Haushalte bei.

Wesentliche Erkenntnis der Szenarienanalyse ist, daß sich die Realisierung des Reduktionszieles nicht nur auf einige wenige Maßnahmen stützen darf - dies müßte notwendigerweise in den betroffenen Bereichen zu übersteigerten Eingriffen führen -, sondern den Einsatz komplexer Maßnahmenbündel in allen Bereichen erfordert. Von zentraler Bedeutung für die Erreichbarkeit des Reduktionszieles ist aber der zeitliche Aspekt: Nur wenn die notwendigen Maßnahmen und Maßnahmenbündel unverzüglich umgesetzt werden, besteht bei dem kurzen Zeithorizont bis 2005 die Chance auf Zielerreichung.

4 Schlußfolgerungen

Energie- und umweltpolitische Maßnahmen sind generell aus zwei Gründen erforderlich:

- Zum einen verursacht der Energieverbrauch durch Umweltbelastungen, langfristige Klimaänderungen und den Abbau erschöpfbarer Ressourcen externe Kosten, die in den Preisen für Energie nicht enthalten sind und deshalb aus gesamtwirtschaftlicher Sicht zu einer suboptimalen Nutzung der Ressourcen führen.
- Zum anderen existieren bei der Energieerzeugung und beim Energieverbrauch rentable Potentiale der Energieeinsparung und -substitution, die infolge vielfältiger Hemmnisse und Marktunvollkommenheiten nicht realisiert werden; hierbei liegen nicht nur Investitionen, sondern auch organisatorische und Verhaltensänderungen brach.

Wirkungsanalysen von politischen Maßnahmen zum Klimaschutz sind erforderlich, um den Erfolg der bisherigen Klimaschutzpolitik beurteilen zu können, um - gemessen an einem definierten Ziel - weiteren politischen Handlungsbedarf zu begründen und um eine geeignete Kombination von Maßnahmen vorzuschlagen. Sie sind auch Bestandteil der nationalen Berichtspflicht der Annex I-Staaten im Rahmen der Klimarahmenkonvention.

Im Vordergrund stehen die Auswirkungen von klimaschutzpolitischen Maßnahmen auf den Energieverbrauch und die dadurch bedingten Emissionen von Treibhausgasen. Hierbei geht es zum einen um die Schätzung der Wirksamkeit von einzelnen politischen Maßnahmen und zum anderen um die Quantifizierung der klimapolitischen Zielerreichung in Politikszenerien im Sinne von *bedingten* Prognosen. Zur Beurteilung der politischen Optionen sind grundsätzlich auch die ökonomischen und sozialen Konsequenzen zu betrachten.

Grundlegende methodische Probleme

Methodische Probleme von Wirkungsanalysen bestehen 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, Handel mit CO₂-Emissionszertifikaten, grünen Tarifen, kooperativer Beschaffung) konnten noch gar 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).

Die bisher vorliegenden Berichte der Regierungen im Rahmen der Klimarahmenkonvention beruhen auf unterschiedlichen methodischen Ansätzen. Eine Analyse der ersten Nationalberichte von 25 Vertragsstaaten zeigt im internationalen Vergleich große Unterschiede in der Informationstiefe, in der Quantifizierung von Emissionsreduktionspotentialen und ihre sektorale oder nach Einzelmaßnahmen gegliederte Aufschlüsselung, den Untersuchungszeiträumen oder auch den Ausgangsdaten. Die Kategorisierung in „umgesetzte“ und „geplante“ Maßnahmen ist uneinheitlich. Vorgelagerte Emissionen, z.B. durch Stromimporte, werden kaum einbezogen, und nur in wenigen Fällen werden Reduktionseffekte durch Verhaltensänderungen oder durch CO₂- bzw. Energiesteuern ermittelt. Die Methoden zur Wirkungsabschätzung von Maßnahmen sind vielfach nicht transparent, und es fehlen häufig Angaben über verwendete Modelle. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Nationalberichte ist daher eingeschränkt.

Der Beitrag rechnergestützter Modelle

Bei modellgestützten Szenarienanalysen sind Simulations- und Optimierungsmodelle zu unterscheiden. Während mit Simulationsmodellen die Änderungen von Parametern (z.B. Preisen) auf bestimmte Zielgrößen (z.B. Energieverbrauch, Emissionen) auf der Grundlage von Reakti-

onsfunktionen berechnet werden, dienen Optimierungsmodelle der Ermittlung von (überwiegend technikbezogenen) Aktivitätsvektoren (z.B. Kraftwerksstruktur und -einsatz) bei vorgegebenen Zielen und weiteren Restriktionen.

Eine angemessene Interpretation von Modellergebnissen setzt die Kenntnis der methodischen Grundlagen und Fragestellungen der Modellformulierung voraus. Besonders zu beachten ist auch, welche Mechanismen im Modell endogen abgebildet und welche Variablen und Rahmenbedingungen dem Modell exogen vorgegeben werden. Von nicht minderer Bedeutung ist die genaue Kenntnis der empirischen Datenbasis und der Modellannahmen über die künftige Entwicklung von Technik, Kosten, Wirtschaftsstruktur und Verhalten.

Es gibt allerdings kein Modell, das alle bei der Wirkungsanalyse politischer Maßnahmen relevanten Wechselwirkungen ausreichend abbildet. Erforderlich sind interdisziplinäres Expertenwissen und systemanalytische Szenarienansätze.

Kombinierter Ansatz zur Ableitung von Politikszenerien

Im Rahmen eines kombinierten Ansatzes zur Ableitung von Politikszenerien ist ein Optimierungsmodell (IKARUS) insbesondere im Hinblick auf die Frage angewendet worden, welchen (energietechnischen) Handlungsfeldern bei einer weiteren Verminderung von Emissionen in Deutschland unter Kostenaspekten Priorität eingeräumt werden sollte. Die energie- und emissionsseitigen Auswirkungen von entsprechenden politischen Maßnahmen sind auf dieser Grundlage im Rahmen von sektoralen Expertenschätzungen quantifiziert und in eine übergreifende Szenarienanalyse eingebettet worden.

Stufen der Wirkungsanalyse und Szenarienvergleich

Für detaillierte Wirkungsschätzungen empfiehlt sich eine sektorale Betrachtung, da viele der zu analysierenden Maßnahmen entweder unmittelbar auf bestimmte Sektoren (oder Techniklinien wie Kraft-Wärme-Kopplung, Windenergie) abzielen oder zumindest sektorspezifische Wirkungsmechanismen aufweisen. Außerdem ist auch die Datenverfügbarkeit von Sektor zu Sektor unterschiedlich. Die auf Expertenebene durchzuführenden sektoralen Wirkungsschätzungen orientieren sich grob an den folgenden Analyseschritten:

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

Die zunächst partiell abgeleiteten Ergebnisse von sektoralen Analysen werden in einem iterativen Verfahren in "Politikszenerarien" überführt. Hierbei geht es zum einen um die Zusammenführung der Effekte in den Endenergiesektoren auf den Umwandlungssektor (und damit den Primärenergieverbrauch) und dessen Emissionen, zum anderen um gegebenenfalls notwendige Korrekturen bei Verletzung von gesetzten Rahmenbedingungen (z.B. zu hoher Erdgasbedarf) sowie um die konsistente Abstimmung der Wirkungsschätzungen zwischen verschiedenen Sektoren und ergänzende Einschätzungen von sektorübergreifenden Synergieeffekten (z.B. Fortbildung, Motivation im Sektor Kleinverbraucher auf das Verhalten von privaten Haushalten).

Es werden - in Anlehnung an die Anforderungen der Nationalberichterstattung - drei Szenarien unterschieden: ein hypothetisches „Ohne-Maßnahmen-Szenario“, ein „Mit-Maßnahmen-Szenario“, das einer Referenzentwicklung entspricht, und ein „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario“, das eine Erreichung des angestrebten klimapolitischen Zieles ermöglichen könnte.

Bei der Interpretation der Ergebnisse von derartigen Szenarienanalysen ist generell zu beachten, daß die Aussagefähigkeit quantitativer Analysen maßgebend von der Qualität der zugrun-

de liegenden Daten abhängt. In energiewirtschaftlichen Zukunftsanalysen sind technische Parameter, Kostengrößen und die für den Energiebedarf relevanten Rahmendaten der gesamtwirtschaftlichen und demographischen Entwicklung stets mit Unsicherheiten behaftet, die mit der Weite des Analysehorizontes zunehmen. Es kommt hinzu, daß im Zeitablauf die direkten Wirkungen politischer Maßnahmen abklingen, während indirekte Effekte, die allerdings nur mit größeren Unsicherheiten zu schätzen sind, eher noch zunehmen. Dies gilt insbesondere für die längerfristigen Wirkungen auf technischen Fortschritt, Marktentwicklung und Lebensstil. Andererseits kommen bei einer längerfristigen Betrachtung aus technischen, sozio-ökonomischen und politischen Gründen grundsätzlich größere Änderungen des Energiesystems in Betracht als in einer auf wenige Jahre beschränkten Analyse.

Politische Schlußfolgerungen

Ein wichtiges Ergebnis der für Deutschland durchgeführten Szenarienanalyse von Wirkungen politischer Maßnahmen zum Klimaschutz besteht darin, daß sich Klimapolitik aus Gründen der Wirksamkeit nicht auf einige wenige Maßnahmen beschränken darf, sondern komplexe Maßnahmenbündel in allen Bereichen erfordert.

Aus dem Vergleich von Mit-Maßnahmen-Szenario und Ohne-Maßnahmen-Szenario läßt sich ein deutlicher Beitrag der bisher ergriffenen Maßnahmen zur Verminderung von Emissionen ablesen. Für das gesteckte Ziel sind aber weitere Maßnahmenbündel nötig. Das Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario belegt, daß in Deutschland bis zum Jahr 2005 eine Reduktion der CO₂-Emissionen um etwa 25 % gegenüber 1990 möglich wäre. Solche weiteren Maßnahmen müssen aber unverzüglich umgesetzt werden, um die Reduktion im angestrebten Zeitraum realisieren zu können.

Politik zum Schutz des Klimas ist national und international ein kontinuierlicher Prozeß, dessen künftiger Verlauf noch offen ist. Deshalb können Szenarienanalysen zur Bewertung von Anstrengungen der verschiedenen Akteure nur Momentaufnahmen sein, die keine abschließende Beurteilung liefern, sondern Hinweise geben sollen, wie der Weg zum Schutz des Klimas fortgesetzt werden kann.

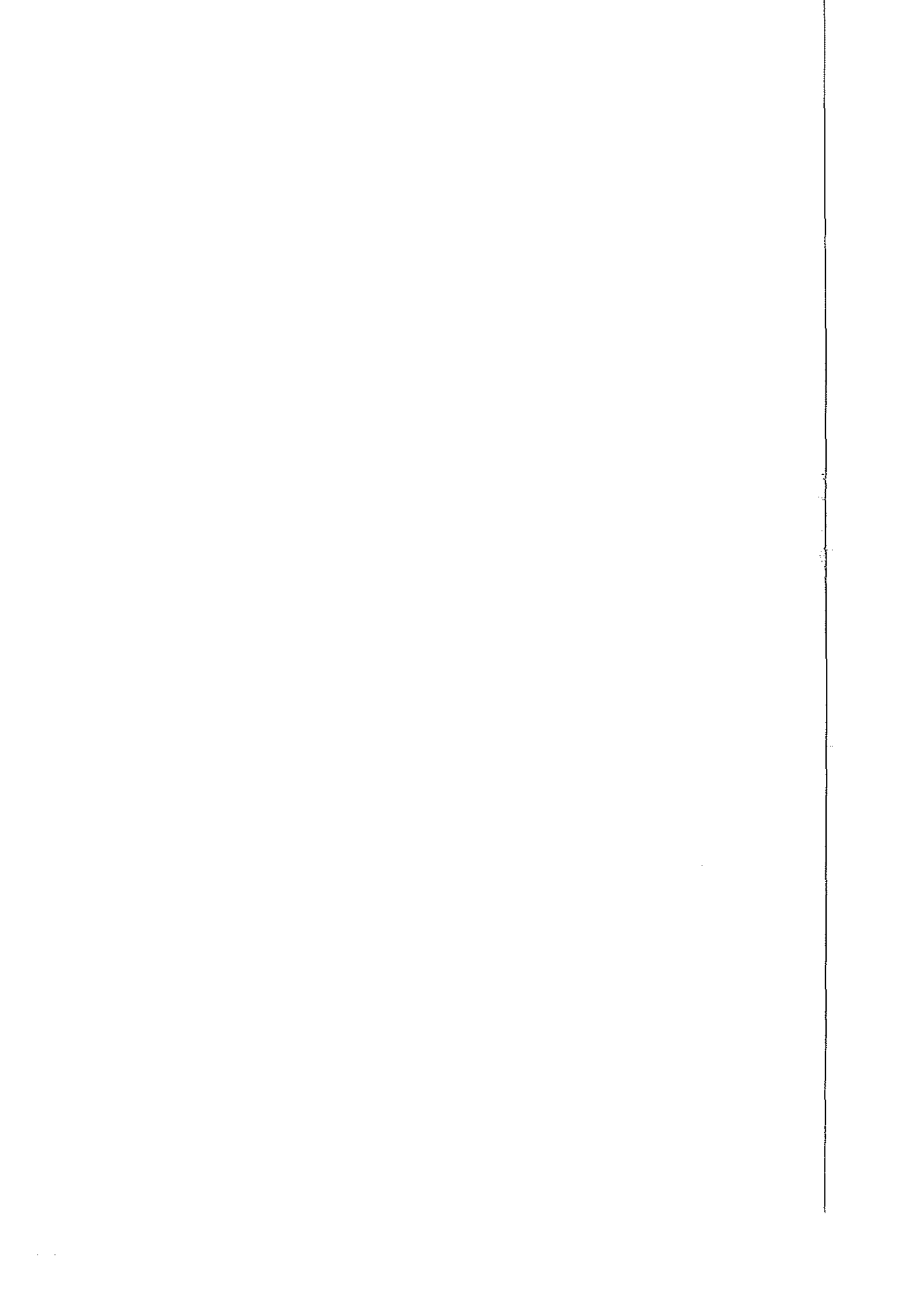
Wirkungsanalysen klimaschutzpolitischer Maßnahme sollten vor diesem Hintergrund - trotz mancher Probleme der Quantifizierung und Zurechnung von Politikeffekten - künftig regelmäßig durchgeführt werden. Dabei geht es in erster Linie um die Evaluation des nationalen Minderungsprogrammes im Vergleich zu den Zielsetzungen, wobei identifizierte Lücken - unter Beachtung sämtlicher Akteure - in „Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenarien“ geschlossen und längerfristige Perspektiven in die Analyse einbezogen werden sollten. Im Hinblick auf die internationale Auswertung von Wirkungsanalysen der Klimaschutzpolitik ist vor allem auf Transparenz und Vergleichbarkeit der Analysen zu achten.

5 Literaturverzeichnis

- Bach, St. u.a. (1995): Wirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform. Gutachten des DIW im Auftrag von Greenpeace. DIW-Sonderheft 153. Berlin 1995.
- Bach, St. u.a. (1997): Sonderregelungen zur Vermeidung von unerwünschten Wettbewerbsnachteilen bei energieintensiven Produktionsbereichen im Rahmen einer Energiebesteuerung mit Kompensation. Gutachten des DIW im Auftrag der Länder Schleswig-Holstein, Hessen, Niedersachsen, Brandenburg, der Freien und Hansestadt Hamburg und des Saarlandes. Berlin, April 1997. (DIW-Sonderheft in Druck)
- BMU (1994): Klimaschutz in Deutschland. Erster Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn, September 1994.
- BMU (1997): Klimaschutz in Deutschland. Zweiter Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn, April 1997.
- BMWi (1994): Energieeinsparung und erneuerbare Energien. Berichte aus den energiepolitischen Gesprächszirkeln beim Bundesministerium für Wirtschaft. BMWi-Dokumentation. Bonn 1994.
- Bruce, J.P., Lee, H., Haites, E.F. (1996): Climate Change 1995. Economic and Social Dimensions of Climate Change. Cambridge University Press 1997. S. 408-433.
- Diekmann, J. (1997): Umwelt, Ökonomik und empirische Sozialforschung. Bemerkungen zum interdisziplinären Diskurs. In: Umwelt und empirische Sozialforschung. Sonderhefte des DIW Nr. 163. Berlin 1997.
- DIW, FhG-ISI (1998): Ursachen der CO₂-Entwicklung in Deutschland in den Jahren 1990 bis 1995. Untersuchung im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin, Karlsruhe 1998.
- DOE (1994): U.S. Department of Energy. The Climate Change Action Plan: Technical Supplement. Washington, March 1994.
- ebök (Büro für Energieberatung und ökologische Konzepte)/TUM (Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der Technischen Universität München) (1990): Emissionsminderung durch rationelle Energienutzung bei Elektrogeräten. In: Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages (Hg.): Energie und Klima, Bd. 2, S. 321-408. Bonn; Karlsruhe 1997.
- ebök (Ingenieurbüro für Energieberatung, Haustechnik und ökologische Konzepte) (1997): Klimaschutz durch Minderung von Leerlaufverlusten bei Elektrogeräten. Sachstand-/Projektionen/CO₂-Minderungspotentiale. UBA-Texte Nr. 45/97. Berlin 1997.
- Enquête-Kommission (1990): Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" des 11. Deutschen Bundestages (Hrsg.): Energie und Klima. Bonn, Karlsruhe 1990.
- Enquête-Kommission (1993): Enquête-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des 12. Deutschen Bundestages. Karlsruhe, München, Leipzig, November 1993.
- Enquête-Kommission (1995): Enquête-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des 12. Deutschen Bundestages (Hrsg.): Mehr Zukunft für die Erde. Bonn 1995.

- FCCC (1996): FCCC-Guidelines: Policies and measures, Geneva 17 July 1996.
- FCCC (1997): First Compilation and Synthesis of Second National Communications from Annex I Parties, FCCC/SBI/1997/19, 30. Sept. 1997.
- Geiger, B. u.a. (1993): Analyse, Synthese und Entwicklung des Stromverbrauchs im Sektor Haushalt der BRD. IKARUS-Texte 5-20. Jülich.
- Glatzel, W.-D., Strobel, B. (1997): Greenhouse Gas Emission Projections for Germany. Methods addressed - discussed Approaches. Annex I Experts Group on the UNFCCC. Workshop on Methods for Producing Greenhouse Gas Emission Projections and Estimating of the Effects of Measures. Paris, 29-30 September 1997.
- Gruber, E., Brand, M. (1991): Promoting energy conservation in small and medium-sized companies. In: Energy Policy, April 1991, p. 279-287.
- Hake, J.-Fr., Jagodzinski, P., Kuckshinrichs, W., Markewitz, P., Martinsen, D., Walbeck, M.: IKARUS: An Energy-Economy Model to Reduce Energy Related Greenhouse Gas Emissions in Germany. In: Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level. Hake, J.-Fr. et al. (Ed.): Konferenzen des Forschungszentrums Jülich. Band 15. Jülich 1994.
- Hillebrand, B. u.a. (1996): Gesamtwirtschaftliche Beurteilung von CO₂-Minderungsstrategien. Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 19/1996.
- IEA (1987): Energy Conservation in IEA-Countries. OECD, Paris 1987.
- IfS (Institut für Stadtforschung und Strukturpolitik) (1996): Perspektiven eines Umweltzeichens für Elektro- und Elektronikgeräte im Haushalt, UBA-Texte 42/96. Berlin 1996.
- ISI, Ifo, GEU (1993): Analyse von Hemmnissen und Maßnahmen für die Verwirklichung von CO₂-Minderungszielen. Schlußbericht an die Enquête-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre", Karlsruhe, München, Leipzig, November 1993.
- ISIS u.a. (1997): The MURE Database - General Overview and Main Features. ISIS (Rom), March Consulting (Manchester), INESTENE (Paris), FhG-ISI (Karlsruhe) 1997. MURE (Mésure d'Utilisation Rationelle de l'Energie) ist eine im SAVE-Programm der Europäischen Union (DG 17) entwickelte Datenbank zu Maßnahmen der rationellen Energienutzung.
- Kolmetz, S. u.a. (1994): Endenergiebedarf der Privaten Haushalte für Raumheizung und Warmwasserbereitung in der Bundesrepublik Deutschland. IKARUS-Texte 5-28. Jülich 1994.
- Kolmetz, S. u.a. (1995): Nachfragevektoren in den Sektoren Haushalt und Kleinverbraucher. IKARUS-Texte 5-29. Jülich 1995.
- Kolmetz, S., Rouvel, L. (1995): Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Haushalte. IKARUS-Monographien Band 17. Jülich 1995.
- Kunz, I., Holtrup, P. (1997): Maßnahmen zur CO₂-Minderung. Ein internationaler Vergleich. Forschungszentrum Jülich, TFF. Jülich, März 1997.
- Laue, H.-J. u.a. (1997): IKARUS-Datenbank. Ein Informationssystem zur technischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Bewertung von Energietechniken. Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt. Band 4. Jülich 1997.

- Messer, R., Ziesing, H.-J. (1992): Aktueller und längerfristiger bedarf an energiestatistischen Basisdaten. Gutachten des DIW im Auftrage des Bundesministers für Wirtschaft. Berlin 1992.
- Michael, K. (1991): Besonders sparsame Haushaltsgeräte. Auswertung der Domotechnika 1991. Detmold 1991.
- Michael, K. (1993): Besonders sparsame Haushaltsgeräte. Auswertung der Domotechnika 1991. Wiesbaden 1993.
- Neckarwerke (1994): Aktion Stromsparen. Esslingen 1994.
- NEI (Niedrig-Energie-Institut) (1995): Besonders sparsame Haushaltsgeräte 1995. Detmold 1995.
- Prognos (1991): Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen zur Reduktion der verkehrlichen CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005. Untersuchung im Auftrag des Bundesministers für Verkehr. Basel 1991.
- Prognos (1995): Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2000. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft. Basel 1995.
- Schön, M. u.a. (1997): Emissionsminderungsmaßnahmen für Treibhausgase, ausgenommen energiebedingtes CO₂. Politikszenerien für den Klimaschutz Band 2. Herausgegeben von G. Stein und B. Strobel. Studie von DIW, FhG-ISI, Forschungszentrum Jülich und Öko-Institut im Auftrag des Umweltbundesamtes. Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt Band 6. Jülich 1997.
- VDEW (Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke) (1991): Haushaltskundenbefragung 1991. Frankfurt a.M 1991.
- VDEW (Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke) (1996): Haushaltskundenbefragung 1996. Frankfurt a.M. 1996.
- Weber, L. (1997): Some Reflections on Barriers to the Efficient Use of Energy. Energy Policy 25 (1997) 10. S. 833-835.
- Ziesing, H.-J u.a. (1997): Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO₂-Emissionen in Deutschland bis zum Jahr 2005. Politikszenerien für den Klimaschutz Band 1. Herausgegeben von G. Stein und B. Strobel. Studie von DIW, FhG-ISI, Forschungszentrum Jülich und Öko-Institut im Auftrag des Umweltbundesamtes. Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt Band 5. Jülich 1997.
- ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.) (1992): Entwicklung des Stromverbrauchs von Elektro-Hausgeräten 1988-1991. Frankfurt a.M. 1992.



Schriften des Forschungszentrums Jülich. Reihe Umwelt:

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. **Politiksznarien 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. **Politiksznarien 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

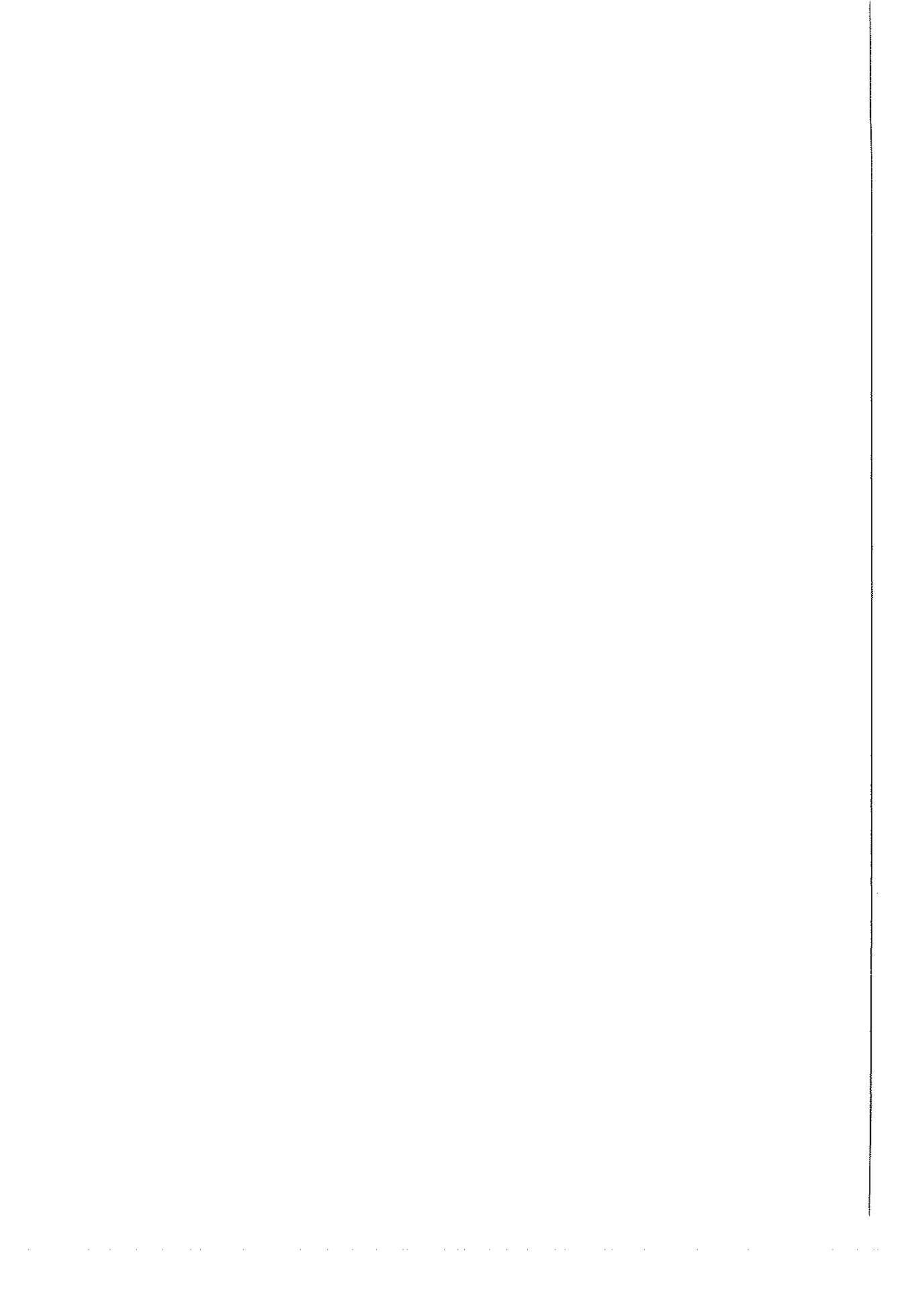
8. Politikszenerarien für den Klimaschutz

Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes

Band 3. Methodik-Leitfaden für die Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung

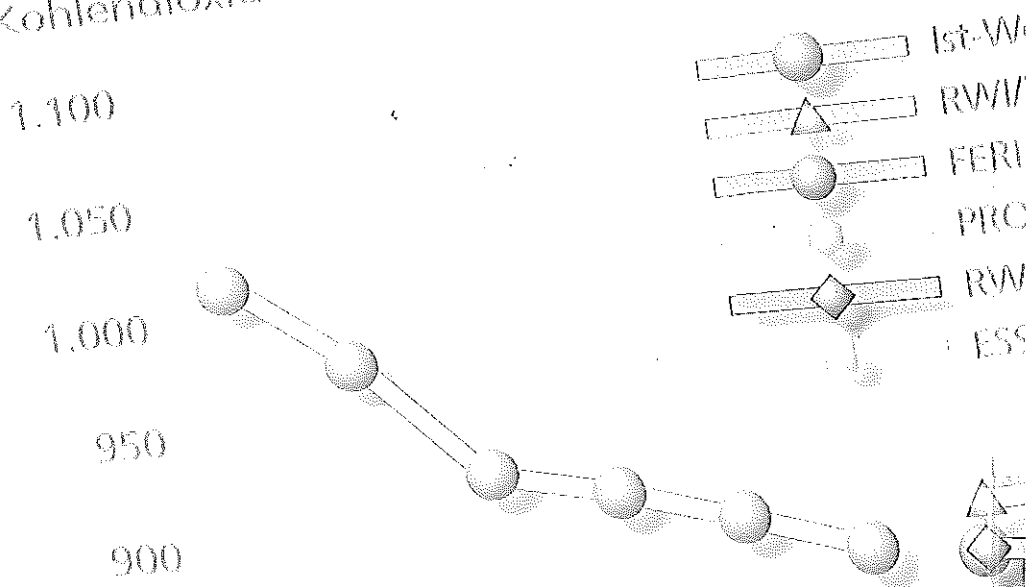
herausgegeben von G. Stein, B. Strobel (1998), VIII, 95 Seiten


ISBN 3-89336-222-3



Entwicklung der CO₂-Emissionen
sowie nach ausgewählten

Kohlendioxidemissionen in Mill. t



Forschungszentrum Jülich 

Band/Volume 8
ISBN 3-89336-222-3

1990 1991 1992 1993 1994 1995
Umwelt
Environment

R