

Joachim Frohn, Ulrich Leuchtmann, Roman Kräussl

Fünf makroökonometrische Modelle zur Erfassung der Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen – eine vergleichende Betrachtung

**Abschlußbericht im Projekt „Modellvergleich“
des wissenschaftlichen Beirats
zur Umweltökonomischen Gesamtrechnung**

Band 7 der Schriftenreihe

Beiträge zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen

Herausgeber: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden

Herausgeber: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden



Fachliche Informationen zu dieser Veröffentlichung können Sie direkt beim Statistischen Bundesamt erfragen:
Gruppe IV B, Telefon: 06 11 / 75 27 37 oder Fax: 06 11 / 75 39 71

Verlag: Metzler-Poeschel, Stuttgart

Verlagsauslieferung: SFG – Servicecenter Fachverlage GmbH
Postfach 43 43
72774 Reutlingen
Telefon: 0 70 71 / 93 53 50
Telefax: 0 70 71 / 3 36 53
Internet: <http://www.s-f-g.com>
E-Mail: staba@s-f-g.com

Erschienen im Dezember 1998

Preis: DM 28,50

Bestellnummer: 2300207-98900

ISBN: 3-8246-0581-3

Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Allgemeine Informationen über das Statistische Bundesamt und sein Datenangebot erhalten Sie:

- im Internet: <http://www.statistik-bund.de>

oder bei unseren Allgemeinen Auskunftsdiensten

65180 Wiesbaden

- Telefon: 06 11 / 75 24 05
- Telefax: 06 11 / 75 33 30
- E-Mail: auskunftsdienst@stba.bund400.de

Zweigstelle Berlin

Postfach 276

10124 Berlin

- Telefon: 030 / 23 24 68 66
- Telefax: 030 / 23 24 68 72
- E-Mail: stba-berlin.infodienst@t-online.de

© Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 1998
Alle Rechte vorbehalten.

Für nichtgewerbliche Zwecke sind Nachdruck und Verbreitung mit Quellenangabe gestattet. Die Verbreitung über elektronische Systeme bedarf stets der vorherigen Genehmigung.

Vorbemerkung

Im Statistischen Bundesamt wurden seit 1989 die Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) mit dem Ziel aufgebaut, in Ergänzung der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen ein Berichterstattungssystem zu entwickeln, das die Wechselwirkungen zwischen den wirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen und der natürlichen Umwelt statistisch abbildet. Darüber hinaus soll es als Grundlage für weitergehende Analysen zur Beantwortung umwelt- und wirtschaftspolitischer Fragestellungen dienen.

Die UGR sind am Konzept der nachhaltigen Entwicklung orientiert und in folgende fünf Themenbereiche untergliedert:

1. Material- und Energieflußrechnungen,
2. Nutzung von Fläche und Raum,
3. Umweltzustand,
4. Maßnahmen des Umweltschutzes,
5. Vermeidungskosten zur Erreichung von Standards im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung

Konzeptionelle Neu- bzw. Weiterentwicklungen sowie die Ergebnisse entsprechender Forschungsprojekte werden in der Schriftenreihe „Beiträge zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen“ in unregelmäßigen Abständen vorgestellt.

Der vorliegende Band 7 der Schriftenreihe beinhaltet den Abschlußbericht einer Studie, die von Mitarbeitern der Universität Bielefeld unter Leitung von Prof. Frohn durchgeführt wurde. Die Studie wurde vom wissenschaftlichen Beirat „Umweltökonomische Gesamtrechnung“ beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in Auftrag gegeben. Im Projekt wurden fünf ausgewählte ökonometrische Modelle im Hinblick auf ihre Eignung zur Erfassung der Veränderungen der Volkswirtschaft der Bundesrepublik Deutschland in Richtung auf eine stärkere Umweltverträglichkeit untersucht und bewertet. Um einen fundierten Vergleich von Modellstruktur und -ergebnissen zu ermöglichen, wurden in Abstimmung mit einer Arbeitsgruppe des UGR-Beirats Vorgaben entwickelt, auf deren Basis gleichlautende Modellläufe für alle fünf Modelle durchgeführt wurden. Neben dieser vergleichenden Betrachtung war zu diskutieren, inwieweit makroökonomische Modelle einen generellen Beitrag zur Beantwortung der im Rahmen der UGR relevanten Bewertungsfrage über den Vermeidungskostenansatz leisten können.

Die Verantwortung für den Inhalt der Studie liegt bei den Autoren.

Fünf makroökonometrische Modelle zur Erfassung der
Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen –
eine vergleichende Betrachtung

(Abschlußbericht im Projekt „Modellvergleich“ des
wissenschaftlichen Beirats zur Umweltökonomischen
Gesamtrechnung)

J. Frohn, U. Leuchtmann, R. Kräussl

(Universität Bielefeld, April 1998)

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung des Projekts	1
2	Vorgehensweise	3
3	Zur grundsätzlichen Eignung makroökonometrischer Modelle zur Lösung der Bewertungsfragen im Rahmen der UGR	5
3.1	Umweltökonomische Gesamtrechnungen	5
3.2	Einsatz makroökonometrischer Modelle	5
4	Ein „Idealmodell“	9
4.1	Wichtige Charakteristika	9
4.1.1	Behandlung der Ziele	9
4.1.2	Behandlung der umweltpolitischen Instrumente	9
4.1.3	Modellzusammenhänge	10
4.1.4	Gebietsstand	10
4.2	Modellstruktur	11
4.3	Schlußfolgerungen für das Projekt	14
5	Modelldiskussion	16
5.1	Einleitung	16
5.2	Modellspezifikation	16
5.3	Die ökonometrische Beurteilungsebene	17
5.4	Die Ebene des Datenbedarfs	17
6	Kurzdarstellung der Modelle	19
6.1	Das PANTA RHEI-Modell (Universität Osnabrück)	20
6.1.1	Überblick	20
6.1.2	Zur Theorie	21
6.1.3	Zur Methodik	24
6.1.4	Zur Simulation	25
6.1.5	Vorläufige Beurteilung	26
6.2	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI)	28
6.2.1	Überblick	28
6.2.2	Zur Theorie	28
6.2.3	Zur Methodik	30
6.2.4	Zur Simulation	31
6.2.5	Vorläufige Beurteilung	32
6.3	Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW)	34
6.3.1	Überblick	34
6.3.2	Zur Theorie	35

6.3.3	Zur Methodik	38
6.3.4	Zur Simulation	38
6.3.5	Vorläufige Beurteilung	39
6.4	Forschungszentrum Jülich – IKARUS	40
6.4.1	Überblick	40
6.4.2	Zur Theorie	41
6.4.3	Zur Methodik	44
6.4.4	Zur Simulation	45
6.4.5	Vorläufige Beurteilung	46
6.5	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)	47
6.5.1	Überblick	47
6.5.2	Zur Theorie	47
6.5.3	Zur Methodik	49
6.5.4	Zur Simulation	50
6.5.5	Vorläufige Beurteilung	51
7	Ein Simulationsexperiment	52
7.1	Vorbemerkung	52
7.2	Das Simulationsszenario	52
7.3	Kompensation	53
7.4	Dokumentation	54
8	Dokumentation der Modellsimulationen	55
8.1	Dokumentation der Simulationsergebnisse	55
8.1.1	Beteiligung	55
8.2	Simulationsergebnisse	56
8.3	Die Ergebnisse der Modelle im einzelnen	80
8.3.1	Das Osnabrücker PANTA RHEI-Modell	80
8.3.2	Das Modell des RWI	81
8.3.3	Das Modell des ZEW	82
8.3.4	Das IKARUS-Modell	83
8.4	Die Ergebnisse der Modelle im Vergleich	84
9	Zusammenfassung und Fazit	85
	Anhang	89
A	Fragenkatalog und Antworten	89
A.1	Allgemeine Fragen	89
A.2	Die ökonomische Beurteilungsebene	94
A.3	Die ökonometrische Beurteilungsebene	102

A.4	Die Ebene des Datenbedarfs	107
B	Anmerkungen der Modellautoren zum Simulationsexperiment	109
B.1	B. Meyer: Das umweltökonometrische Modell PANTA RHEI: Simulationsergebnisse im Rahmen des Projekts „Modellver- gleich“	109
B.1.1	Das Modell im Überblick	109
B.1.2	Die ex-post-Prognose	111
B.1.3	Die Ergebnisse der Politiksimulationen	112
B.1.4	Die Wirkungen einer CO_2 -Steuer bei Kompensation der Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung	115
B.2	B. Hillebrand: Sektorale und makroökonomische Wirkungen einer CO_2 -Steuer: Ausgewählte Simulationsergebnisse für den Umweltökonomischen Beirat beim Statistischen Bundesamt . .	132
B.2.1	Problemstellung und Aufbau der Untersuchung	132
B.2.2	Steuersätze und Bemessungsgrundlage	134
B.2.3	Kosten der Energiebereitstellung	136
B.2.4	Einspar- und Substitutionseffekte im Energieverbrauch .	142
B.2.5	Sektorale Wirkungen	148
B.2.6	Gesamtwirtschaftliche Wirkungen	153
B.3	T. Schmidt: Technische Details zur Simulation des ZEW . . .	155
B.3.1	Durchgeführte Szenarien	155
B.3.2	Begründung für Auswahl der Szenarien	155
B.3.3	Modelleinstellung	156
B.3.4	Zusammenfassung der Simulationsergebnisse in Stich- punkten	157
B.4	W. Kuckshinrichs: Der IKARUS-Beitrag zum Simulationsex- periment des Beirats für Umweltökonomische Gesamtrechnung	163
B.4.1	Vorschlag für ein Simulationsexperiment im Rahmen des UGR-Projekts „Modellvergleich“	163
B.4.2	IKARUS-Modellkonzeption und Durchführbarkeit der Simulationsexperimente	164
B.4.3	Simulationsexperiment ohne Kompensation	169
B.4.4	Variationsrechnung	171
	Literatur	174

1 Zielsetzung des Projekts

Am 10.03.1997 beschloß der Wissenschaftliche Beirat zur Umweltökonomischen Gesamtrechnung (UGR-Beirat) die Einrichtung eines Arbeitskreises (Mitglieder: Prof. Dr. Cansier (Universität Tübingen), Prof. Dr. Frohn (Universität Bielefeld, Vorsitzender), Prof. Dr. Klemmer (RWI, Essen), Prof. Dr. Meyer (Universität Osnabrück), Reg. Dir. Radermacher (Statistisches Bundesamt, Wiesbaden)), der einen Vergleich von „vier genannten bundesdeutschen Modellen [des DIW, des RWI, der Universität Osnabrück und des ZEW, später wurde auch noch das IKARUS-Modell des Forschungszentrums Jülich aufgenommen] zum Auftrag hat“ (vgl. Protokoll zur 17. Sitzung des UGR-Beirats). Einem Brief des Statistischen Bundesamtes vom 09.04.1997, in dem die konkrete Ausgestaltung des Vorhabens genauer skizziert ist, ist zu entnehmen, daß die Arbeitsgruppe „einige der vorliegenden Modellrechnungen untersuchen soll, mit dem Ziel, daraus Erkenntnisse über die Anforderung an derartige Modelle ableiten zu können.“ Dabei soll es u.a. darum gehen, „ob das Modell auf den vorliegenden statistischen Daten der UGR aufbaut und ob die Modellstruktur der damit zu untersuchenden Fragestellung gerecht wird.“

Die Arbeitsgruppe hat daraufhin bei ihrem ersten Zusammentreffen in Bielefeld im Mai 1997 – auf der Grundlage eines Projektentwurfs ihres Vorsitzenden vom April 1997 – folgende Zielsetzung festgelegt:

Im Projekt soll „die Eignung von zumindest vier ausgewählten ökonometrischen Modellen [siehe oben] zur Erfassung der Veränderungen der Volkswirtschaft der Bundesrepublik Deutschland in Richtung auf eine stärkere Umweltverträglichkeit“ untersucht werden.

Dabei ist festzustellen, „inwieweit Modelle fähig sind,

- den Ist-Zustand einer Volkswirtschaft zu umschreiben,
- Zielvorgaben zur Festlegung von Umweltverträglichkeit aufzunehmen und
- den Prozeß vom Ist-Zustand zum Soll-Zustand einer umweltverträglicheren Wirtschaft zu dokumentieren“.

Neben dieser „engeren Zielsetzung“ (Untersuchung der Eignung ökonomischer Makromodelle zur Erfassung der Veränderung der Volkswirtschaft aufgrund von umweltpolitischen Maßnahmen) steht im Hintergrund – wie die ausführliche Diskussion auf der Sitzung des UGR-Beirats am 10.03.1997 (vgl. Protokoll) deutlich gemacht hat – die grundsätzliche Frage, inwieweit

makroökonometrische Modelle einen generellen Beitrag zur Beantwortung der im Rahmen der UGR relevanten Bewertungsfrage über den Vermeidungskostenansatz leisten können.

Zur Durchführung der Arbeiten wurde eine Projektgruppe am Lehrstuhl Statistik und Ökonometrie der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Bielefeld eingerichtet.

In diesem Bericht ist das Ergebnis des Vergleichs der in die Analyse einbezogenen Modelle dokumentiert. In einem einleitenden Kapitel wird auch auf die erwähnte umfassende Fragestellung eingegangen.

Im einzelnen ist der Bericht wie folgt gegliedert: In Kapitel 2 findet sich die von der Arbeitsgruppe für die Durchführung des Projekts festgelegte Vorgehensweise. Kapitel 3 enthält einige grundsätzliche Überlegungen über die Eignung makroökonometrischer Modelle zur Lösung der Bewertungsfragen im Rahmen der UGR. In Kapitel 4 werden im Zusammenhang mit der „weiteren Fragestellung“ die Grundzüge eines „Idealmodells“ vorgestellt; dieses Modell wird später auch als Bezugsrahmen für die konkreten Modelluntersuchungen herangezogen. Kapitel 5 enthält die wichtigsten Kriterien für den Modellvergleich, Kapitel 6 Kurzdarstellungen der fünf Modelle. In Kapitel 7 wird das für alle Modelle identische Simulationsexperiment festgelegt, dessen Ergebnisse sich in Kapitel 8 finden. Kapitel 9 enthält eine kurze Zusammenfassung sowie die Schlußfolgerungen aus dem Projekt. In einen Anhang A sind außerdem die bei der Diskussion der Modelle verwendeten Fragen sowie die Antworten aufgenommen worden, in einen Anhang B Erläuterungen zu den Simulationen (Beiträge von B. Meyer, B. Hillebrand, T. Schmidt und W. Kuckshinrichs).

Den Modellautoren sei an dieser Stelle für ihre vorbehaltlose Mitarbeit gedankt. Die Ergebnisse des Projekts sind auf mehreren Sitzungen der Arbeitsgruppe und des UGR-Beirats ausführlich diskutiert worden.

2 Vorgehensweise

Zunächst wurde – zur Beantwortung der Frage nach der Eignung makroökonomischer Modelle zur Lösung des Bewertungsproblems und zur Erarbeitung eines Referenzrahmens für die Einzeluntersuchungen – ein „Idealmodell“ entwickelt, mit dessen Hilfe die grundsätzlichen Anforderungen an umweltökonomische Modelle herausgearbeitet werden können, wenn eine vollständige Umsetzung des Vermeidungskostenansatzes erreicht werden soll.

Bei der Analyse der Eignung der einzelnen Modelle im Hinblick auf die *engere Fragestellung* (Aufnahmefähigkeit bestimmter umweltpolitischer Maßnahmen und Erfassung ihrer Wirkungen) wurde wie folgt vorgegangen:

1. Um das gesamte Spektrum unterschiedlicher Modelltypen mit Umweltbezug möglichst umfassend in die Untersuchung einzubeziehen, wurde auf der ersten Sitzung der Arbeitsgruppe am 30.05.1997 beschlossen, neben den vier bereits genannten Modellen auch das IKARUS-Modell des Forschungszentrums Jülich in die Untersuchung aufzunehmen. Dieses Modell zeichnet sich durch eine deutlich stärkere Betonung der technischen Komponente in der Beziehung Ökonomie – Ökologie als die übrigen vier Modelle aus.
2. Ebenfalls auf der Sitzung der Arbeitsgruppe wurde festgelegt, daß zur Untersuchung der Eignung der fünf Modelle folgende Arbeitsschritte durchgeführt werden sollten:
 - (a) Zunächst ist eine grundsätzliche Einschätzung durch Einsichtnahme in die Veröffentlichungen und Arbeitspapiere, die über die Modelle vorliegen, vorzunehmen.
 - (b) Danach sind in ausführlichen Gesprächen mit den für die Spezifikation und Nutzung des jeweiligen Modells Verantwortlichen noch verbleibende Fragen zu klären.
 - (c) Hierzu wurde – unter Berücksichtigung des „Idealmodells“ – ein Fragenkatalog erstellt (siehe Anhang A).
 - (d) Nach Abschluß der Sichtung sollten die Modellverantwortlichen gebeten werden, für alle Modelle einheitliche Simulationen durchzuführen und die Simulationsimplementationen sowie die -ergebnisse zu dokumentieren. Das Simulations-Szenario (Einführung einer Energiesteuer zur Erreichung einer Verminderung des Ausstoßes klimarelevanter Gase) wurde von der Arbeitsgruppe vorgegeben.

- (e) Die Simulationsergebnisse sollten ausgewertet und verglichen werden.

3 Zur grundsätzlichen Eignung makroökonomischer Modelle zur Lösung der Bewertungsfragen im Rahmen der UGR

3.1 Umweltökonomische Gesamtrechnungen

Im gegenwärtigen Konzept der umweltökonomischen Gesamtrechnungen (vgl. Statistisches Bundesamt (1996), *Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Basisdaten und ausgewählte Ergebnisse*. Fachserie 19, Reihe 4. Metzler-Poeschel, Stuttgart) sind folgende Themenbereiche enthalten:

1. Material- und Energieflußrechnung,
2. Nutzung von Fläche und Raum,
3. Indikatoren des Umweltzustandes,
4. Maßnahmen des Umweltschutzes,
5. Vermeidungskosten zur Erreichung von Standards (Abschreibung).

3.2 Einsatz makroökonomischer Modelle

Alle 5 Themenbereiche sind als Informationsgrundlagen für den Einsatz umweltorientierter makroökonomischer Modelle von entscheidender Bedeutung. Umgekehrt können diese Modelle auf zwei verschiedenen Ebenen für die Umweltökonomische Gesamtrechnung hilfreich sein: Auf einer konzeptionellen Ebene liefern sie die nötige „gedankliche Ordnung“, an der sich die Aufbereitung statistischer Ergebnisse orientieren sollte. Die Berechnung kumulierter Emissionsmengen der einzelnen Sektoren (d.h. unter Einbeziehung der Emissionsmengen, die durch Vorleistungserstellung entstanden sind) zielt in diese Richtung. Dies ist eine Aufbereitung der Daten, die durch Makromodell-Konzepte motiviert scheint und eine sinnvolle Datenaufbereitung zur Information der Öffentlichkeit darstellt.

Darüber hinaus sind makroökonomische Modelle als „Datenlieferanten“ unerlässlich, allerdings im wesentlichen nur im Themenbereich 5: Die Bereiche 1, 2 und 4: „Material- und Energieflußrechnung“, „Nutzung von Fläche und Raum“ und „Maßnahmen des Umweltschutzes“ sind weitgehend als Gebiete üblicher amtlicher Statistik anzusehen, in denen es darum geht, bestehende Sachverhalte statistisch zu erfassen. Von wissenschaftlicher Seite können hier allerdings Vorschläge gemacht werden zur Identifizierung umweltschädigender Stoffgruppen und zu ihrer stofflichen, räumlichen und zeitlichen

Disaggregation. Ökonometrische Makromodelle spielen hierbei sicher keine Rolle. Will man aber erreichen, daß gesamtwirtschaftliche Abschätzungen der Auswirkungen alternativer Szenarien mit Hilfe solcher Modelle möglich sein sollen, muß gewährleistet sein, daß die entsprechenden Variablen in die Modelle aufgenommen werden.

Zur „Indikatorbildung“ (Bereich 3) ist wissenschaftliche Unterstützung in einem höheren Maße nötig, allerdings ebenfalls nicht von wirtschaftswissenschaftlicher Seite zu erbringen. Die entsprechenden Umweltbelastungen sind gemäß ihres Beitrags zu verschiedenen Umweltzuständen zu gewichten. Beispielsweise reicht es bei Vorhandensein verschiedener Treibhausgase nicht aus, die Emissionsmengen dieser Gase zu addieren, wenn die verschiedenen Gase einen unterschiedlichen Beitrag zum Treibhauseffekt liefern. Dies impliziert, daß eine Indexbildung dringend erforderlich ist. Da die Aggregationsfunktion in diesem Fall aber natürlich chemische bzw. biologische Interaktionen widerspiegelt, ist auch hier kein Beitrag der Wirtschaftswissenschaft denkbar. Gefragt sind vielmehr angemessene chemische bzw. biologische Modelle.

Im Bereich 5 „Vermeidungskosten“¹ hingegen ist der *direkte* Einsatz von Makromodellen unerlässlich.

Die Idee ist hier, mittels ökonometrischer Modelle „opportunity costs“ umweltverbessernder Maßnahmen festzustellen, indem man das ökonomische Ergebnis in einer Situation ohne und in einer Situation mit umweltverbessernden Maßnahmen vergleicht und die Wertänderungen bei den wichtigsten ökonomischen Variablen (Bruttoinlandsprodukt, sektorale Produktion, Einkommensgrößen etc.) erfaßt.

Dies scheint ein Ausweg aus der schwierigen Situation einer allgemeinen monetären Bewertung von Umweltsituationen zu sein.² Allerdings tre-

¹Der Begriff „*Vermeidungskosten*“ schränkt – wenn mit Kosten nur direkt monetarisierbare Folgen gemeint sind – die Folgenabschätzung unangemessen stark ein. Neben Folgen für Einkommens- und Produktionsgrößen, also einfach monetarisierbaren Variablen (wenn auch z.B. die interpersonelle und zeitliche Verteilung der Effekte sehr wohl Bewertungsprobleme aufwirft!) sind auch Einflüsse auf andere wirtschaftliche Variablen mit eigenem Zielcharakter (z.B. Inflation, Arbeitslosigkeit) und andere ökologische Variablen (Erhöhung der Emission anderer Schadstoffe etc.) zu betrachten. Eine Monetarisierung dieser Größen dürfte äußerst schwierig sein und außerhalb des Rahmens positiver Wirtschaftsforschung liegen. Es wäre also angemessener, von *Vermeidungsfolgen* zu sprechen. Eine politische Bewertung der möglichen Entwicklungspfade ist unerlässlich. Modellrechnungen können lediglich dazu dienen, die Menge der möglichen Entwicklungspfade zu umgrenzen und durch Szenarienvorgabe den politischen Entscheidungsprozeß zu unterstützen.

²Diese Bewertung stellt die dritte Ebene einer umfassenden umweltökonomischen Gesamtrechnung dar (1. Ebene: übliche VGR, 2. Ebene: Wechselwirkungen Umwelt – Wirtschaft in physischen Einheiten (Menge, Raum, Zeit), 3. Ebene: monetäre Bewertung der Umweltebene bei Einbeziehung der Umweltsituation in die VGR; vgl. z.B. W. Radermacher

ten bei einem solchen Vorgehen offensichtliche Schwierigkeiten auf: Eine bestimmte Umweltverbesserung kann unter Einsatz sehr unterschiedlicher Mittel-Kombinationen erreicht werden; außerdem werden sich infolge dieser Maßnahmen im allgemeinen die ökonomischen, technischen und ökologischen Rahmenbedingungen verändern.

Dies sei an einem Beispiel verdeutlicht: Zur Einführung einer CO₂-Reduktion kann eine entsprechend ausformulierte Energiesteuer, ein hoheitliches Genehmigungsverfahren oder auch ein Verbot bestimmter Produktionen eingesetzt werden. In allen drei Fällen wird es zu sehr unterschiedlichen Auswirkungen auf Ökonomie, Technologie und Ökologie kommen. Sehr wahrscheinlich werden Substitutionsprozesse (wie z.B. Einsetzung anderer, einen geringeren CO₂-Ausstoß produzierender Herstellungsverfahren, Vermeidung bestimmter Produktionen, Verlagerung von Produktionen ins Ausland und ähnliches) inganggesetzt werden. Außerdem muß beachtet werden, daß Verschlechterungen in anderen Bereichen der Umwelt auftreten können, daß also die CO₂-Reduktion unter Umständen zu einem Anstieg anderer Umweltschäden führen kann.

Darauf aufbauend wird deutlich, daß dieser Weg zu einer umfassenden Gesamtbeurteilung von Umweltsituationen über makroökonometrische Modelle nur dann möglich erscheint, wenn zumindest folgende Punkte realisiert sind:

1. Es muß ein Zielkatalog vorliegen, der alle als wichtig erkannten ökonomischen, sozialen und ökologischen Variablen enthält. Die in diesen Katalog aufgenommenen Ziele sind gemäß ihrer gesellschaftlichen Bedeutung zu bewerten. Neben den Zielen muß zumindest auch ein Teil der für die Erreichung der gewünschten Umweltsituation einsetzbaren Mittel aufgenommen werden, wenn ein unterschiedlich starker Einsatz dieser Instrumente ebenfalls gesellschaftlich unterschiedlich eingeschätzt wird.
2. Es muß gewährleistet sein, daß im Zusammenspiel von Ökonomie, Technik und Ökologie alle möglichen (auch die in der Zukunft noch realisierbaren) technischen Prozesse einbezogen werden, um sicherzustellen, daß die bestmögliche Kombination im Rahmen der Modellanalyse ausgewählt werden kann.
3. Es müssen sowohl kurz-, als auch mittel- und langfristige Effekte erfaßt werden können. Häufig besitzen wirtschaftspolitische Maßnahmen mit

und C. Stahmer (1994): Vom Umweltsatellitensystem zur Umweltökonomischen Gesamtrechnung: Umweltbezogene Gesamtrechnungen in Deutschland – Erster Teil. *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung* 7(4), S. 533 f.)

vorteilhaften kurzfristigen Effekten nachteilige langfristige Folgen (z.B. für den langfristigen Wachstumspfad einer Ökonomie). Daher muß im Zielkatalog eine Bewertung der verschiedenen Fristigkeiten enthalten sein.

Auf makroökonometrische Modelle bezogen bedeuten diese Anforderungen: Soll es möglich sein, über das Modell den „optimalen Politik-Mix“ zu ermitteln, so ist ein ökonometrisches *Entscheidungsmodell* unter Einschluß einer den obigen Vorgaben Rechnung tragenden umfassenden *Zielfunktion* (ökonomische, soziale und ökologische Zielsetzungen, Aufnahme und Bewertung von Instrumenten, Fristigkeit) bei *endogener Technologie* (Einbeziehung aller in Zukunft realisierbarer Techniken) zu spezifizieren.

Um die Bestandteile, die ein solches Modell aufweisen muß, herauszuarbeiten, wird im folgenden Abschnitt ein auf den bisherigen Überlegungen aufbauendes „Idealmodell“ entwickelt, das dann auch als Referenz für die Untersuchung der Eignung der zu betrachtenden ökonometrischen Modelle im Sinne der engeren Fragestellung dienen kann.

4 Ein „Idealmodell“

In diesem Abschnitt soll ein „Idealmodell“ skizziert werden, das alle Eigenschaften aufweist, die ein für die vorliegende Fragestellung geeignetes Modell idealerweise haben sollte. Selbstverständlich wird keines der existierenden Modelle die Kriterien dieses Idealmodells erfüllen. Dennoch ist die Konstruktion eines solchen Idealmodells sinnvoll, da es als einheitlicher „Maßstab“ zur Beurteilung der betrachteten Modelle dienen kann. Mit einem solchen Modell kann aufgezeigt werden, welche Mängel allen betrachteten Modellen gemeinsam sind bzw. welche konzeptionellen Schwierigkeiten es bei der Formulierung solcher Modelle gibt.

4.1 Wichtige Charakteristika

4.1.1 Behandlung der Ziele

Die Festlegung der umweltpolitischen (wie übrigens auch der wirtschafts- und sozialpolitischen) Zielvariablen kann nicht durch den Ökonometriker erfolgen, sondern muß von außen vorgegeben werden. Außerdem: Von *quantitativen* Modellen können lediglich *quantitative* Variablen beschrieben werden.

Wichtige Umweltziele wie z.B. „reine Gewässer“ sind also zunächst in quantitative Begriffe zu übersetzen, wie z.B. „maximale Belastung der Gewässer mit Schadstoff X “. Ihre Umsetzung in nicht quantifizierbare Zielgrößen, d.h. im Beispiel in den Grad der Erreichung des Umweltziels „reine Gewässer“, erfolgt über die Zielfunktion.

Idealerweise sollten diese Variablen in der zur Zustandsbeurteilung notwendigen stofflichen und regionalen Disaggregation und zeitlichen Staffelung (d.h. ggf. unterschieden in kurz-, mittel- und langfristige Effekte) *direkt* im Modell erfaßt sein und die wesentlichen Ursachen ihrer Variation vom Modell beschrieben werden. Dies impliziert u.a., daß diese Variablen an sich modellendogen sein müssen. Sollte eine direkte Einbeziehung der Zielgrößen unmöglich sein (z.B., weil sie nicht direkt meßbar sind oder die Daten mit einer zu großen zeitlichen Verzögerung anfallen), sind geeignete Indikatoren in das Modell aufzunehmen.

4.1.2 Behandlung der umweltpolitischen Instrumente

Die umweltpolitischen Instrumente lassen sich im wesentlichen in folgende Gruppen einteilen:

- Steuern und Abgaben,
- Auflagen und Haftungspflichten,

- Zertifikate,
- Verhandlungslösungen.

Ihre Behandlung im umweltpolitischen Idealmodell setzt im wesentlichen voraus, daß Preis- und Substitutionselastizitäten für die relevanten Umweltinputs der Wirtschaft im Modell enthalten sind (ggf. für unterschiedliche Zeithorizonte). Zum anderen müßte das Idealmodell so detailliert sein, daß jede umweltrelevante Einzelsteuer und -abgabe im Modell erfaßt ist und die technischen Zusammenhänge so genau beschrieben sind, daß Auflagen bzgl. aller umweltrelevanter Wirtschaftstätigkeiten in ihren Auswirkungen auf die Modellvariablen berücksichtigt werden können. Zertifikat- und Verhandlungslösungen lassen sich dann analog zu Auflagenlösungen im Modell einstellen.

Der Staatsteil ist so zu modellieren, daß Steuer- und Abgabewirkungen auf die öffentlichen Haushalte erfaßt werden und in einer „Staats-Verhaltensfunktion“ die indirekten Wirkungen eingestellt werden können (d.h. z.B.: In welchen Bereichen expandieren die Staatsausgaben, wenn sich die Einnahmen durch Steuern oder Abgaben um einen bestimmten Betrag erhöhen?).

4.1.3 Modellzusammenhänge

Bei der genauen Festlegung der Modellzusammenhänge sind im wesentlichen die ökonometrischen Modellspezifikationskriterien zu beachten (wie z.B. Vollständigkeit, Theoriekonformität, Validierung durch Tests etc.).

Dabei darf sich das Modell keinesfalls auf ökonomische und soziale Zusammenhänge beschränken. Technologische und ökologische Zusammenhänge müssen so detailliert beschrieben werden, daß die umweltrelevanten Größen (in der nötigen Disaggregation) erfaßt werden. Auch müssen darüber hinaus die relevanten biologischen Wirkungszusammenhänge modelliert werden, es müssen also quasi „biologische Produktionsfunktionen“ erstellt werden.

Das Idealmodell muß alle in der Zukunft realisierbaren Produktions- und Konsumptionsalternativen als Möglichkeiten enthalten, die bei durch umweltpolitische Maßnahmen veränderten Kosten-Situationen gewählt werden könnten.

4.1.4 Gebietsstand

Ein umweltpolitisches Idealmodell kann nicht auf die Wirtschaft Deutschlands beschränkt bleiben. Zum einen existieren starke außenwirtschaftliche Verflechtungen, zum anderen sind gerade Emissionen i.d.R. grenzüberschreitend, so daß Wechselwirkungen sowohl wirtschaftlicher, als auch technologischer und biologischer Art mit Wirtschaften und Ökologien insbesondere in

Europa (in Bezug auf globale Umwelteffekte aber auch weltweit) berücksichtigt werden müssen.

4.2 Modellstruktur

Nach diesen grundsätzlichen Überlegungen soll nun ein solches Idealmodell skizziert werden.

Zunächst sollen die zu verwendenden Variablen in ihrer grundsätzlichen Gliederung dargestellt werden. Die einzelne Ausgestaltung dieser Variablen, d.h. ihre Zuordnung zu tatsächlichen statistischen Größen, wird hier bewußt ausgeklammert.

Die Variablen des Modells:

$\mathbf{Y} = (Y_1, \dots, Y_k)'$	Vektor der Produktionsmengen der Wirtschaftsgüter in der nötigen zeitlichen, sektoralen und regionalen Disaggregation.
$\mathbf{C} = (C_1, \dots, C_l)'$	Vektor der Größen der Endnachfrage, disaggregiert sowohl nach Endnachfrage- als auch nach Güterarten.
$\mathbf{E} = (E_1, \dots, E_m)'$	Vektor der Emissionsmengen der gesamtwirtschaftlichen Tätigkeit, aufgeteilt in einen Teil \mathbf{E}^p (durch die Produktion erzeugte Emissionen) und einen Teil \mathbf{E}^c (durch die Endnachfrage erzeugte Emissionen). Es gilt: $\mathbf{E} = \mathbf{E}^p + \mathbf{E}^c$.
$\mathbf{M} = (M_1, \dots, M_n)'$	Vektor der Produktionsinputs, die neben wirtschaftlichen Primärinputs auch Verbrauch an Rohstoffen und Umweltressourcen erfassen.
$\Lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_o)'$	Vektor, der die der Volkswirtschaft zur Verfügung stehende Technologie und deren zeitliche Entwicklung beschreibt.
$\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_p)'$	Vektor der ökonomischen und sozialen Zielvariablen.
$\mathbf{U} = (U_1, \dots, U_q)'$	Vektor aller Umweltqualitätsziele. Diese enthalten auch Umweltvariablen i.w.S. (z.B. Gesundheit etc.).
$\Theta = (\theta_1, \dots, \theta_r)'$	Vektor aller wirtschaftspolitischen Mittel. Dies sind Steuersätze, durch Auflagen variierbare Höchstgrenzen von Emissionen etc.

Die Produktion \mathbf{Y} ist im allgemeinen abhängig von Λ und \mathbf{M} . Neben den Wirtschaftsgütern fallen als Kuppelprodukte auch Emissionen \mathbf{E} an. Der Umweltzustand kann Rückwirkungen auf die Menge der Produktionsmög-

lichkeiten haben.³ All diese Einflußfaktoren müssen bei der Beschreibung der Produktionsfunktion berücksichtigt werden:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{Y} \\ \mathbf{E}^p \end{pmatrix} = f_p(\mathbf{M}, \mathbf{U}; \Lambda, \Theta).$$

Bei der Spezifikation und Parameterfestlegung der gesamtwirtschaftlichen Produktionsfunktion ist darauf zu achten, daß diese alle Produktionsmöglichkeiten, die bei gegebenem Λ möglich sind, umfaßt, d.h. auch solche, die in der Vergangenheit nicht realisiert wurden. Bei Schätzung mit Daten aus der Vergangenheit dürften damit nicht alle Möglichkeiten angemessen berücksichtigt werden. Idealerweise sollten also Aspekte einer sogenannten Engineering-Production-Function in die Spezifikation und Parameterfestlegung einfließen.

Neben der Produktion bildet die Endnachfrage (hier im wesentlichen: Konsum und Investitionen) die zweite Ursache für Emissionen. Die Endnachfragegrößen \mathbf{C} müssen also im ökonomischen Modellteil erklärt und ihre Auswirkungen auf die Emissionen erfaßt werden. Diese sind abhängig vom Stand der Technologie:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{C} \\ \mathbf{E}^c \end{pmatrix} = f_c(\mathbf{Y}; \Lambda, \Theta).$$

Auch hier ist darauf zu achten, daß nicht nur historisch realisierte \mathbf{E}^c - \mathbf{C} -Kombinationen in der Spezifikation und Parameterfestlegung beachtet werden, sondern alle bei gegebenem Λ realisierbaren Kombinationen.

Der ökonomische Modellteil muß neben den Produktionsmengen \mathbf{Y} und Endverbrauchsmengen \mathbf{C} alle ökonomischen Zielvariablen \mathbf{X} erklären.⁴ Exogen dürften hier im wesentlichen (neben in dieser Darstellung nicht explizit aufgeführten Variablen) die wirtschaftspolitischen Mittel sein. Aufgrund der Emissionsbeziehungen für den Produktions- und den Endverbrauchsmodellteil sind neben den ökonomischen Zielvariablen auch die Emissionsmengen als endogene Variablen einzustellen. Für die Grundstruktur des ökonomischen Modellteils ist also anzunehmen:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{X} \\ \mathbf{E} \end{pmatrix} = f_e(\mathbf{Y}, \mathbf{C}, \mathbf{M}; \Lambda, \Theta)$$

³Eine Verschlechterung des Umweltzustandes kann die Menge der Produktionsmöglichkeiten ausdehnen oder einschränken. So können z.B. Luftverschmutzungen häufigere Filterwechsel nötig machen oder eine Erwärmung des Klimas die landwirtschaftlichen Erträge erhöhen.

⁴Dies schließt nicht aus, daß Elemente von \mathbf{Y} und \mathbf{C} in \mathbf{X} enthalten sein können. Das ökonomische „Modell“ ist in dem Bereich dann sehr einfach, z.B. : $X_i = Y_i$.

Der Umweltteil des Modells muß als Output die Werte der Umweltzielvariablen liefern. In dem Modell müssen die ökologischen Wirkungszusammenhänge erfaßt werden (Akkumulation von Schadstoffen in Umweltmedien, natürlicher Abbau von Schadstoffen etc.). Erklärungsgrößen hierfür dürften im wesentlichen die Emmissionsmengen \mathbf{E} und der Ressourcenverbrauch \mathbf{M} liefern. Ein Einfluß der wirtschaftspolitischen Mittel ist auch hier anzunehmen. Man denke z.B. an direkte Umweltschutzmaßnahmen, wie Renaturierung etc. Der Umweltteil hat also folgende Struktur:

$$\mathbf{U} = f_u(\mathbf{E}, \mathbf{M}; \Theta).$$

Der technische Fortschritt sollte zumindest bei Modellen mit mittel- bis langfristiger Ausrichtung endogenisiert werden. Sowohl F&E-Politik, als auch weitere wirtschaftspolitische Maßnahmen und weitere endogene Modellvariablen beeinflussen den technischen Fortschritt. So dürfte eine verstärkte Fixierung auf Umweltziele in Deutschland ein Grund für die Entwicklung im Bereich der Umwelttechnologie sein. Für die Struktur des Modells des technischen Fortschritts muß also allgemein gelten:

$$\Lambda = f_t(\mathbf{X}, \mathbf{U}; \Theta).$$

Mit dem Modell in der bisherigen Form können die Wirkungen bestimmter wirtschaftspolitischer Maßnahmen $\Theta = \bar{\Theta}$ auf alle relevanten Zielvariablen (\mathbf{X}, \mathbf{U}) erfaßt werden. Es ist in dieser Modellform also möglich, die Folgen verschiedener wirtschaftspolitischer Maßnahmen auf die interessierenden Zielvariablen zu quantifizieren.

Noch nicht ohne weiteres möglich ist es aber, die *optimale* Wirtschaftspolitik Θ^{opt} zu bestimmen. Man wird also mit dem Modell in der bisherigen Form beispielsweise nicht in der Lage sein, jene Wirtschaftspolitik zu bestimmen, die unter der Nebenbedingung eines bestimmten Umweltzustandes $\bar{\mathbf{U}}$ eine optimale Erreichung der Wirtschaftsziele liefert.

Hierzu ist es notwendig, eine Zielfunktion über alle umwelt-, sozialen- und ökonomischen Zielvariablen zu definieren. Diese Zielfunktion ist quasi als gesamtgesellschaftliche Wohlfahrtsfunktion interpretierbar. Ziel der Wirtschaftspolitik ist dann die Maximierung dieser Wohlfahrtsfunktion unter der Nebenbedingung des Gesamtmodells, also:

$$\mathfrak{J}(\mathbf{X}, \mathbf{U}) \rightarrow \max$$

s.t.

$$\begin{aligned}\begin{pmatrix} \mathbf{X} \\ \mathbf{E} \end{pmatrix} &= f_e(\mathbf{M}; \Lambda, \Theta) \\ \Lambda &= f_t(\mathbf{X}, \mathbf{U}; \Theta) \\ \mathbf{U} &= f_u(\mathbf{E}, \mathbf{M}; \Theta).\end{aligned}$$

Die Optimierung dieser Zielfunktion entspricht der Suche nach einem „optimalen“ Grad der Erreichung der verschiedenen Ziele. Dies impliziert natürlich, daß einzelne Ziele unter Umständen nicht in vollem Umfang erreicht werden, wenn dies andere Zielvariablen unangemessen stark beeinträchtigen würde.

4.3 Schlußfolgerungen für das Projekt

Die Ausführungen im vorigen Abschnitt zeigen, daß – zumindest zum gegenwärtigen Zeitpunkt – eine Spezifikation und Schätzung des „Idealmodells“ ausgeschlossen erscheint:

- Es fehlt an einer von allen gesellschaftlichen Gruppen akzeptierten umfassenden, d.h. alle ökonomischen und ökologischen Ziele vereinigenden Zielfunktion.
- Eine Einbeziehung alternativer, bisher noch nicht realisierter Produktionstechniken in das Modell, stößt in vielen Bereichen auf unüberwindliche Schwierigkeiten.

Damit ist deutlich, daß die „umfassende Zielsetzung“ (Ermittlung von Vermeidungskosten zur Lösung des prinzipiellen Bewertungsproblems der UGR) im Rahmen dieses Projekts nicht weiter verfolgt werden kann. Es zeigt sich, daß sich ganz grundsätzlich das umfassende Bewertungsproblem über den Einsatz von makroökonomischen Modellen auch nicht lösen läßt. (Allerdings darf nicht verkannt werden, daß die Einbeziehung solcher Modelle in den genannten Problemzusammenhang zu einer klareren Strukturierung dieser Fragestellung beiträgt.)

Wie oben bereits erwähnt, lassen sich aber aufgrund der konzeptionellen Formulierung des Idealmodells nun ganz konkrete Anforderungen an makroökonomische Modelle ableiten, die zur Bearbeitung der engeren Fragestellung (Aufnahme bestimmter umweltpolitischer Maßnahmen und Ausweis der Wirkungen) herangezogen werden sollen.

Solche Modelle

1. müssen neben dem ökonomischen (zusätzlich auch die wichtigsten sozialen Komponenten enthaltenden) Modellteil auch einen umfassenden ökologischen und einen technischen Modellteil aufweisen,
2. müssen eine enge Verzahnung dieser Modellteile gewährleisten,
3. müssen Raum geben für die Analyse alternativer, noch nicht realisierter Techniken, die durch umweltpolitische Maßnahmen angestoßen werden,
4. sollten einen umfassenden Zielkatalog (Einbeziehung von ökonomischen, sozialen und ökologischen Zielen und Mitteln) aufnehmen können, zumindest aber das für eine bestimmte umweltpolitische Maßnahme relevante „Ziel-Mittel-Umfeld“ berücksichtigen können.

Neben diesen aus dem Idealmodell abgeleiteten Anforderungen sind noch folgende Punkte zu beachten:

5. Schlüssigkeit des verwendeten ökonomischen Ansatzes,
6. geeignete Disaggregation,
7. wohlbegründete Detailspezifikation des Modells,
8. angemessene ökonometrische Bearbeitung,
9. Angemessenheit der verwendeten Daten, vor allem Verwendung der über die UGR zur Verfügung gestellten Informationen, sowie Festlegung eines weitergehenden Datenbedarfs.
10. Simulationsfähigkeit

Außerdem ist einzuschätzen, wie gut das Modell dokumentiert ist.

5 Modelldiskussion

5.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Charakteristika zusammengestellt, die einem Modellvergleich zugrunde zu legen sind. Dabei ist zunächst festzuhalten, wie gut die jeweiligen Modelle dokumentiert sind. Anschließend wird angegeben, welche Zielsetzungen mit den Modellen verfolgt werden und ob die Modelle von vornherein als Umweltmodelle formuliert worden sind oder ob es sich um allgemeine ökonomische Modelle mit einer ökologischen Ergänzung handelt.

Darüber hinaus sind grundsätzliche Fragen zum Spezifikations-, Schätz- und Simulationszeitraum sowie zu der Fristigkeit der untersuchten Effekte (kurz-, mittel- oder langfristige Effekte) und zum Gebietsstand zu beantworten.

Die weitere Betrachtung der Modelle erfolgt auf drei Ebenen:

- Modellspezifikation (Ökonomie/Ökologie/Technik),
- ökonometrische Vorgehensweise,
- Datengrundlagen.

Dazu enthalten die folgenden Abschnitte Erläuterungen.

5.2 Modellspezifikation

Zunächst soll beschrieben werden, aus welchen Modellteilen das jeweilige Modell besteht und wie diese Modellteile interagieren (unter Verwendung eventuell vorhandener Ablaufskizzen).

Anschließend ist die *theoretische Basis* der ökonomischen Beziehungen der untersuchten Modelle anzugeben. Sind die theoretischen Begründungen plausibel? Wie werden sie motiviert? Sind sie der zu untersuchenden Fragestellung angemessen? Ist die theoretische Grundlage durchgängig oder sind Modellteile durch wechselnde Vorstellungen geprägt?

Weiter ist zu untersuchen, welche ökonomischen Variablen *endogen* erklärt werden und welche *exogen* sind. In diesem Zusammenhang ist besonders zu fragen, ob mit den exogenen Variablen die zur Verfügung stehenden *wirtschaftspolitischen Mittel* hinreichend abgebildet werden können und ob mit den endogenen Variablen der Grad der Erreichung der ökonomischen, sozialen und ökologischen *Ziele* hinreichend genau erfaßt werden kann. M.a.W.: Sind zur Zustandsbeurteilung benötigte ökonomische, soziale und ökologische Variablen im Modell vorhanden, bzw. lassen sie sich integrieren?

Außerdem ist der *Disaggregationsgrad* der verschiedenen Modellteile zu beschreiben und – wenn möglich – zu beurteilen.

Besitzt das Modell einen eigenen *Umweltteil*, in dem die relevanten biologischen Wirkungszusammenhänge abgebildet werden? Wie ist dieser Modellteil mit den anderen Modellteilen verbunden? Ferner ist zu fragen, ob *abgeleitete Effekte* erfaßt werden, wie z.B. Gesundheitseffekte, Innovationen etc.

Wie werden die *technischen Zusammenhänge* im Modell beschrieben? Können *technische Innovationen* im Modell berücksichtigt werden?

5.3 Die ökonometrische Beurteilungsebene

Es ist zu klären, um welchen *Modelltyp* es sich bei dem Modell handelt (rekursives Modell, interdependentes Modell) und aus *wievielen Gleichungen* die einzelnen Modellteile bestehen.

Wie ist das Modell spezifiziert worden? Wie ist es zur Auswahl der zu erklärenden und der erklärenden Variablen gekommen? Ist das Spezifikationsverfahren erläutert oder wird lediglich das „Endergebnis“ präsentiert? Falls das Spezifikationsverfahren erläutert wird, ist dieses zu typisieren.

Es sollte die Anforderung der Einfachheit an die Modelle gestellt werden, was zum Prinzip der Sparsamkeit der Parameterisierung führt. Welche *Spezifikationstests* wurden durchgeführt? Welche wichtigen Tests wurden fortgelassen?

Ferner sollte das Verfahren der *Parameterbestimmung* (Einzelgleichungs- oder Systemschätzung, Kalibrierung etc.) beschrieben und auf seine Eignung hin untersucht werden. Wurden Sensitivitätsanalysen bzgl. der gewählten Parameterkonstellation vorgenommen? Mit welchen Ergebnissen?

Die einzelnen Gleichungen und – soweit möglich – einzelne Modellteile und das Gesamtmodell sind auf ihre *Stabilitätseigenschaften* hin zu untersuchen. Sind die durch die Parameter implizierten *Multiplikatoren* und *Impulse-Response-Funktionen* plausibel?

Es ist zu klären, ob mit dem Modell Simulationen zur Spezifikationsanalyse durchgeführt wurden. Handelt es sich um deterministische oder stochastische Simulationen? Wird im oder außerhalb des Schätzzeitraumes simuliert? Wurden die Simulationsergebnisse formalen Tests unterworfen, und wenn ja, welchen?

5.4 Die Ebene des Datenbedarfs

Hier geht es vor allem um folgende Fragen: Welche Daten wurden verwendet? Werden nur Daten aus der amtlichen Statistik benötigt oder auch weitere?

Werden Daten aus den umweltökonomischen Gesamtrechnungen verwendet?
Werden mögliche Fehler in den Daten im Modell angemessen berücksichtigt?
Beschreiben die verwendeten Daten die theoretischen Konstrukte hinreichend genau? Welche Daten werden für Simulationen im Modell benötigt? Sind diese Daten aktuell verfügbar?

6 Kurzdarstellung der Modelle

In diesem Kapitel werden die untersuchten ökonometrischen Modelle dargestellt:

- das PANTA RHEI-Modell der Universität Osnabrück;
- das Umweltmodell des RWI Essen;
- das GEM-E3-Modell des ZEW Mannheim;
- das IKARUS-Instrumentarium des Forschungszentrums Jülich;
- das Instrumentarium des DIW Berlin.

6.1 Das PANTA RHEI-Modell (Universität Osnabrück)

6.1.1 Überblick

Das Osnabrücker Umweltmodell „PANTA RHEI“ ist eine um ökologische Aspekte erweiterte Version des interdependenten makroökonomischen Simulations- und Prognosemodells „Inforge“. Inforge ist das Deutschland-Modell der Inforum-Gruppe, die ein Welthandelsmodell spezifiziert hat, welches neben dem Deutschland-Modell noch 12 weitere Ländermodelle umfaßt und damit 90% der Welthandelsströme modelliert. Gegenwärtig liegen zwei Versionen des Modells vor, eine für Gesamtdeutschland, die andere für Westdeutschland (s.u.). Mit dem Inforge-Modell werden an der Universität Osnabrück seit längerem Simulationsstudien zu verschiedenen gesamtwirtschaftlichen und branchenspezifischen Fragestellungen vorgenommen, u.a. zu Lohnsatz, Produktivität und Beschäftigung (1997), zu den Auswirkungen von Wechselkursänderungen auf die deutsche Automobilindustrie (1994) und zu aktuellen Entwicklungen in der Metallindustrie (1995).

Im Rahmen dieser Arbeit ist das Osnabrücker Modell anhand der Diskussionspapiere „Was kostet eine Reduktion der CO₂-Emissionen?“ (Februar 1997), „Inforge: Ein disaggregiertes Simulations- und Prognosemodell für die Bundesrepublik Deutschland“ (Juni 1995) und „Lohnsatz, Produktivität und Beschäftigung“ (April 1997), sowie mit Hilfe des „PANTA RHEI-Gleichungssystems für Gesamtdeutschland“ (Stand: 12.06.1997) und der Dissertation „Umweltpolitik und die Emissionen von Luftschadstoffen“ von Christian Lutz (Februar 1997) untersucht worden. Hinzu kamen die Informationen aus einem Gespräch mit den „Modellbauern“ (14. Juli 1997), in dem die noch offenen Fragen weitgehend geklärt werden konnten.

Eine umfassende Modelldokumentation ist in Vorbereitung, steht aber zum heutigen Zeitpunkt noch nicht zur Verfügung. Wünschenswert wäre eine ausführliche Dokumentation der Modellgleichungen inklusive Parameterwerten und Teststatistiken, sowie eine genaue Beschreibung der Quellen der verwendeten Zeitreihen, um die veröffentlichten Modellergebnisse reproduzierbar zu machen.

Im Modell PANTA RHEI werden die Emissionen von wichtigen Luftschadstoffen endogen erklärt. Eine wichtige Zielsetzung ist eine Abschätzung der gesamtwirtschaftlichen Vermeidungskosten von CO₂-Emissionen.

Bislang ist eine primär auf Umweltaspekte bezogene Simulation dokumentiert. Diese hatte eine Reduktion der CO₂-Emissionen durch eine CO₂-Besteuerung zum Inhalt.

6.1.2 Zur Theorie

Das PANTA RHEI-Modell ist nach den Prinzipien *bottom-up* und *vollständige Integration* konstruiert, d.h., daß sich die Makro-Modellvariablen als Aggregate aus den sektoral modellierten Variablen ergeben und die interindustriellen Verflechtungen und Identitäten der Einkommensentstehungs- und -verwendungsrechnung berücksichtigt werden.

Das Modell besteht aus vielen interdependenten Modellgleichungen (ca. 34.000), was durch die tiefe Disaggregation in 58 produzierende Sektoren, 26 Verwendungszwecke, 29 Energieträger und durch das Konstruktionsprinzip der vollständigen Integration bedingt ist. Im Modell werden praktisch alle Variablen endogen erklärt bis auf Variablen des Welthandels, die über den INFORUM-Modellverbund endogenisiert werden, und Variablen des Arbeitsangebots.

Zur Modellierung der Inputkoeffizienten

Die Produktion in den 58 Produktionsbereichen wird über die Leontief-Inverse erklärt. Die Inputkoeffizienten werden dabei zeitvariabel in Abhängigkeit von Relativpreisverhältnissen modelliert. Es ist zu fragen, ob die sehr tiefe Disaggregation, die zu einem sehr umfangreichen, komplizierten Modell führt, für die hier interessierenden Fragestellungen wirklich erforderlich ist.

Auffällig ist, daß die Inputkoeffizienten eines einzelnen Produktionssektors weitgehend unabhängig voneinander modelliert werden. Nach Auskunft der Modellbauer ist hiervon nur der Energie- und der Stahlbereich ausgenommen, in denen Abhängigkeiten berücksichtigt werden. Damit unterliegt der größte Teil der Inputkoeffizienten nicht den Restriktionen einer Produktionsfunktion, wodurch Outputvergrößerungen ohne Änderungen der Inputs möglich werden. Es ist fraglich, ob dadurch bei Simulationen nicht zu große positive Effekte durch Steigerungen der Vorleistungspreise impliziert werden: Erhöht sich der Preis einer einzelnen Vorleistung, so wird die eingesetzte Menge dieser Vorleistung reduziert – auf die Produktionsmenge hat dies im Modell jedoch keinen Einfluß.

Die Modellautoren argumentieren⁵, daß die Restringierung der Inputko-

⁵Den vorstehenden Absatz kommentiert B. Meyer als Modellautor wie folgt: „Die Ableitung von sektoralen Faktornachfragefunktionen auf der Basis eines Gewinnmaximierungs- bzw. Kostenminimierungsansatzes unter Konkurrenzbedingungen mit der Nebenbedingung einer substitutionalen sektoralen Produktionsfunktion für die Bruttoproduktion ist sehr gewagt. Die Annahme der vollständigen Konkurrenz auf allen Güter- und Faktormärkten ist bei einer disaggregierten Betrachtungsweise vielfach verletzt. Außerdem ist die Informationsannahme, die implizit für die Entscheidungsträger unterstellt ist, nicht haltbar. Selbst wenn man diese Kritikpunkte nicht sieht, bleibt bei tiefer sektoraler Disaggregation wegen der großen Anzahl von Argumentvariablen ein Schätzproblem, das auch

effizienten durch eine Produktionsfunktion nicht angemessen sei, weil dies voraussetzen würde, daß die Produktion in den einzelnen Sektoren stets auf dem „effizienten Rand“ durchgeführt würde, im Gegensatz dazu aber häufig Ineffizienzen zu beobachten seien. Bei Simulationseingriffen der mit dem PANTA RHEI-Modell durchgeführten Größenordnung ist allerdings fraglich,

durch Separabilitätsannahmen nicht gelöst werden kann.

Außerdem muß man gegen das Konzept einer substitutionalen Produktionsfunktion im Vorleistungsbereich generell einwenden, daß hier ein logisches Problem besteht: Vorleistungen werden Bestandteil des Produkts und definieren es somit. Oder mit anderen Worten: Es herrscht Limitationalität. Allerdings gilt dies auf der nicht beobachtbaren Ebene der einzelnen Güter. Im Rahmen unserer Modellrechnungen haben wir es aber immer mit Gütergruppen zu tun. Vor diesem Hintergrund sind Änderungen in den Inputstrukturen auf Änderungen des „product-mix“ der Sektoren zurückzuführen. Wir unterstellen, daß die Unternehmen die Güterstruktur ihres Outputs im Hinblick auf die Kosten wählen, womit die Inputstruktur dann abhängig von den Preisen der Inputs ist. Wir schätzen für jeden Inputkoeffizienten seine Abhängigkeit von seinem Relativpreis gemessen in den Einheiten des Outputgutes. Insofern schätzen wir die Inputkoeffizienten isoliert. Da aber die Güterpreise im System simultan mit den Mengen aus den Stückkosten berechnet werden (mark-up-Hypothese), sind die Inputkoeffizienten im Modellzusammenhang miteinander verknüpft: Steigt der Preis eines Inputs k , so wird dies seinen Inputkoeffizienten vermindern. Gleichzeitig nehmen - in unterschiedlichem Ausmaß - die anderen Inputkoeffizienten zu, weil der Outputpreis steigt und sich damit deren Relativpreis vermindert.

Bei den Energieinputs gilt diese Argumentation nur für den Einsatz von Rohöl in der Mineralölherzeugung. Bei den anderen Energieinputs muß unterschieden werden, ob sie zur Bewegung von Maschinen und Fahrzeugen eingesetzt werden, oder ob sie zur Erzeugung von Prozeßwärme oder zur Erzeugung elektrischen Stroms verwendet werden.

Der Faktor Energie zur Bewegung von Fahrzeugen und Maschinen ist grundsätzlich komplementär zum Einsatz des Kapitals. Effizienzsteigerungen durch technischen Fortschritt sind i.d.R. bei neuen Anlagen möglich. Ein Anreiz zur Realisierung des technischen Fortschritts wird wiederum vom Relativpreis des betreffenden Energieträgers ausgelöst, der in unserem Modell die Entwicklung des Inputkoeffizienten für die verschiedenen Mineralöle und den elektrischen Strom bestimmt. Wir unterstellen dabei, daß die Investitionen nicht beeinflußt werden, was bedeutet, daß die erforderlichen Investitionen zur Umstellung der Prozesse die Erweiterungsinvestitionen vermindern.

Wegen der tiefen sektoralen Disaggregation ist es möglich, die Bereiche zu identifizieren, die Energie zur Erzeugung von Prozeßwärme einsetzen. Es geht hier vornehmlich um die Stahlindustrie. Hier wählen wir einen zweistufigen Ansatz. Der Inputkoeffizient für den Energieeinsatz insgesamt in der Stahlindustrie wird durch den Relativpreis der Energie bestimmt. In der zweiten Stufe wird dann der Anteil der einzelnen Energieträger am gesamten Energieeinsatz abhängig von den relativen Preisen modelliert. Die zur Umstellung der Prozesse erforderlichen Investitionen reduzieren wiederum vollständig die Erweiterungsinvestitionen des Sektors.

Bei der Erzeugung elektrischer Energie verfolgen wir ebenfalls einen zweistufigen Ansatz: Zunächst wird der Inputkoeffizient für den Einsatz von Primärenergie insgesamt trendabhängig bestimmt. Die Anteile der einzelnen Primärenergieträger am gesamten Energieeinsatz der Elektrizitätswirtschaft sind dann abhängig von relativen Preisen. Auch hier verdrängen Investitionen zur Umstellung der Prozesse Erweiterungsinvestitionen.“

ob nicht durch die Produktionsmöglichkeiten Restriktionen für die Inputkoeffizienten entstehen.

Ferner unterstellen die Autoren auf der Ebene der einzelnen Güter Limitationalität der Vorleistungen und interpretieren somit Inputsubstitutionen als Änderung der sektoralen Güterstrukturen. Allerdings beziehen sich die im Modell abgebildeten „Produktionsverhältnisse“ sowohl im Output- wie auch Inputbereich auf „Produktbündel“, so daß selbst im Falle limitationaler Produktionsfunktionen auf der Einprodukt-Ebene im Modellzusammenhang mit Substitution gerechnet werden muß.

Das Fehlen von Produktionsfunktionen ist im Spezifikations- und Schätzzeitraum kaum erkennbar, weil Strukturveränderungen, wie sie z.B. in der dokumentierten Simulation eingestellt werden, in diesem Zeitraum nicht beobachtet werden.

Weitere Modellelemente

Die sektoralen Preise werden über Mark-up-Gleichungen mit zeitvariablen Mark-Ups gebildet.

Der Arbeitsmarkt wird für West- und Ostdeutschland getrennt modelliert.

Investitionen werden im Deutschlandmodell nur als Endnachfragekomponenten berücksichtigt. Eine Berechnung des Kapitalstocks oder der Kapitalauslastung findet bisher nur im Westdeutschlandmodell statt. Für mittel- bis langfristige Simulationen impliziert dies, daß mit dem Deutschlandmodell Effekte der Veränderung des Investitionsverhaltens zu überwiegenden Teilen nicht berücksichtigt werden können.

Die nach 58 Sektoren disaggregierte Endnachfragekomponente „Privater Verbrauch“ wird im Deutschlandmodell ermittelt, indem zunächst der Makro-Konsum aus dem verfügbaren Einkommen und einem Zinssatz bestimmt wird. Anschließend wird die Aufteilung des Makro-Konsums auf die 58 Produktionssektoren berechnet. Im Gegensatz zum grundsätzlichen *bottom-up*-Prinzip wird an dieser Stelle nach dem *top-down*-Prinzip vorgegangen.

Im Westdeutschlandmodell wird im Gegensatz dazu der Makro-Konsum nach den tatsächlichen Entscheidungen der Haushalte, also nach Verwendungszwecken aufgeteilt und die Wirkungen dieser Verwendungszwecke auf die sektoralen Endnachfragekomponenten über Bridge-Matrizen modelliert. Dies ist in der tiefen Aggregation des Osnabrücker Modells aufgrund der Datenlage nach der deutschen Wiedervereinigung für das Deutschlandmodell jedoch nicht möglich.

Exogene Variablen

PANTA RHEI ist nach dem Prinzip einer möglichst weitgehenden Endogenisierung modelliert (s.o.). Die gesamte Umverteilung der Einkommen durch den Staat wie auch die Festlegung der Zinsrate ist im Deutschlandmodell endogen abgebildet.

Für Simulationseingriffe können ausgewählte Variablen exogenisiert oder ihr endogener Verlauf von außen verändert werden.

Zur Interdependenz Ökologie/Technik/Ökonomie

In der bisherigen Form des Modells sind die Emissionsmengen der Schadstoffe CO₂, NO_x, SO₂, CO, N₂O, NMVOC und CH₄ berücksichtigt. Nach Aussagen der Modellbauer wird von trendbehafteten bzw. technikabhängigen Entwicklungen der Emissionskoeffizienten (Emissionsmenge / Energieerzeugung im jeweiligen Energiesektor) ausgegangen. Rückwirkungen der Umweltbelastung auf die Ökonomie und den Energieverbrauch werden nicht berücksichtigt.

Technischer Fortschritt wird im Modell zum einen durch einfache Zeitrends erfaßt. Zum anderen wird nach Ansicht der Modellbauer preisabhängiger technischer Fortschritt über die Erklärungen der Inputkoeffizienten berücksichtigt. Allerdings sind in der vorliegenden Spezifikation Effekte des technischen Fortschritts von preisbedingter Substitution bei gegebener Technik nicht zu trennen.

6.1.3 Zur Methodik

Ökonometrie

In der Dokumentation wird das Spezifikationsverfahren nicht erläutert. Weder die Parameterwerte noch die funktionale Form der Gleichungen werden angegeben. Aufgrund des Gesprächs mit den Modellbauern ist bekannt, daß das Modell in der *general-to-specific*-Vorgehensweise spezifiziert wurde. Als Kriterien dienten hierbei das multiple Bestimmtheitsmaß R^2 , der t-Test und der Durbin-Watson-Test. Ferner wurde erwähnt, daß die meisten Verhaltensgleichungen log-linear modelliert werden. Als Schätzverfahren diente die Methode der kleinsten Quadrate (OLS), obwohl das Modell in starkem Maße interdependent ist.

Datenbasis

Das PANTA RHEI-Modell ist mit Jahresdaten modelliert. Es umfaßt den Zeitraum 1978-1994. Für Prognosen über diesen Zeitraum hinaus werden die exogenen Variablen durch Trendextrapolation fortgeschrieben. Für die Berechnung der Inputkoeffizienten stehen nominale Input-Output-Tabellen für den Zeitraum 1978 bis 1991 zur Verfügung. Für die restlichen Jahre werden

IO-Tabellen aus den zur Verfügung stehenden zweiten und dritten Quadranten über das RAS-Verfahren berechnet.

6.1.4 Zur Simulation

Abgesehen von den im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Simulationsexperimenten liegt eine dokumentierte Simulation des PANTA RHEI-Modells zur Erfassung der Veränderung des CO₂-Ausstoßes vor, wobei eine CO₂-Steuer als Instrument eingesetzt wurde.

Hierbei wird in einem ersten Schritt zur Bestimmung der Vermeidungskosten einer Reduktion der CO₂-Emissionen ein Referenzszenario bis zum Jahr 2005 berechnet, das die gesamtwirtschaftliche Entwicklung und das Ausmaß der CO₂-Emissionen ohne den Einsatz ökonomischer Instrumente zur Emissionsminderung beschreibt. Anschließend werden die Rechnungen für die CO₂-Steuer (Steuerszenario) durchgeführt, so daß ein Vergleich beider Szenarien die Effekte einer CO₂-Reduktion verdeutlicht.

Die Annahmen, die dem Referenz- und dem Steuerszenario zugrunde liegen, sind u.a.:

- Wachstum des Bruttostundenlohns um 3,0% p.a.;
- Konstanz der durchschnittlichen, sektoralen Jahresarbeitszeiten je beschäftigtem Arbeitnehmer;
- Anstieg des Erwerbspersonenpotentials bis zum Jahr 2005 um 600.000 gegenüber 1996;
- Verbleib des Diskontzinssatzes und langfristigen US-Zinssatzes auf dem Niveau von 1996;
- Wechselkurse und Handelsströme werden aus dem Welthandelsmodell der Inforum-Gruppe übernommen;
- Verbleib des US-Dollars auf dem Stand von 1996;
- keine Einbeziehung erneuerbarer Energieträger.

Das CO₂-Steuerszenario geht zusätzlich zum Referenzszenario von den folgenden Annahmen aus:

- Jeder Produzent und Importeur fossiler Energieträger muß für die mit der Verbrennung der Energieträger anfallenden Emissionen Steuern bezahlen;

- Vollständige Überwälzung der Steuerzahlungen auf die Unternehmerpreise
- Der Staat beginnt im Jahr 1996 mit einer stetigen Anhebung des Steuersatzes von 10 DM/t CO₂ bis auf 420 DM/t CO₂ im Jahre 2005;
- Das CO₂-Steueraufkommen wird vollständig zur Reduktion der Sozialversicherungsbeiträge der Arbeitgeber verwendet;
- Zusätzliche Stromimporte aus dem Ausland sind nicht zugelassen.

Herausragendes Ergebnis der Simulation ist der extrem hohe Anstieg der fossilen Energiepreise, z.B. Rohbraunkohle um +1009,8%, bei einem nur leichten Rückgang der Verwendung dieser Energieträger, z.B. Rohbraunkohle um -27,2%. Der Preis der verteilten Gase steigt um 273,7%, der Verbrauch erhöht sich jedoch um 19,1%. Überraschenderweise erhöht sich die Beschäftigung in dem Steuerszenario trotz der einschneidenden kontraktiven Maßnahmen um 1,5 Millionen Arbeitsplätze. Die Modellbauer führen dies im wesentlichen auf die gewählte Form der Kompensation zurück.

6.1.5 Vorläufige Beurteilung

Das Osnabrücker PANTA RHEI-Modell ist ein umfassendes, voll integriertes Modell, das durch Endogenisierung weiter Teilbereiche der Ökonomie (u.a. auch der Maßnahmen der Geld- und Fiskalpolitik) gekennzeichnet ist und durch seine Geschlossenheit überzeugt. Es beschreibt in tiefer sektoraler Disaggregation die Interdependenzen der Wirtschaftssektoren und der wichtigen makroökonomischen Variablen. Da umweltrelevante Emissionen in den verschiedenen Wirtschaftssektoren in unterschiedlicher Intensität anfallen, ist eine derart tiefe sektorale Disaggregation prinzipiell begrüßenswert. Fraglich ist allerdings, ob der gewählte Disaggregationsgrad wirklich notwendig ist. Zusammenfassungen angemessen homogener Sektoren könnten zu einer Reduktion des Komplexitätsgrades und damit zu größerer Überschaubarkeit beitragen. Bei Simulationen umweltpolitischer Maßnahmen ist zu berücksichtigen, daß mögliche Spezifikations- und Schätzfehler in einer einzelnen Gleichung Auswirkungen auf alle anderen modellendogenen Variablen haben können. Durch die *bottom-up*-Struktur des Modells können solche Fehler das Ergebnis der makroökonomischen Variablen erheblich verfälschen.

Bezüglich des hohen Endogenitätsgrades des Modells gilt sicherzustellen, daß die endogenen Variablen nicht zu stark über stochastische Schocks gesteuert werden.

Aufgrund der Zielsetzung des Modells (Abschätzung der Wirkung einer Luftschadstoffreduktion) wird nur ein beschränkter Kreis von Umweltvariablen im Modell erklärt.

Die Erfassung des technischen Fortschritts scheint wegen des weitgehenden Verzichts auf Produktionsfunktionen noch nicht angemessen gelöst zu sein.

Das sich auf die Einführung einer CO_2 -Steuer beziehende Simulationsexperiment liefert – bei Kompensation über die Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung – ein sehr überraschendes Ergebnis: Daß in diesem Fall (bei einer bislang in dieser Größenordnung noch nicht beobachteten Erhöhung der Energiepreise) die Arbeitslosigkeit um 1,5 Millionen sinkt, widerspricht der ökonomischen Intuition. Dieses Ergebnis ist wohl nur durch die optimistischen Modellannahmen (keine Stromimporte, fixe Wechselkurse etc.) und das weitgehende Fehlen einer Produktionsfunktion zu erklären. In diesem Zusammenhang ist auch grundsätzlich darauf hinzuweisen, daß bei Simulationsszenarien, bei denen sich der Verlauf der Variablen derart weit vom tatsächlich beobachteten Verlauf entfernt, die Modellgleichungen sehr oft ihre Aussagefähigkeit verlieren.

6.2 Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI)

6.2.1 Überblick

Mit dem Umweltmodell des Rheinisch-Westfälischen-Instituts für Wirtschaftsforschung (RWI) werden seit längerem Simulationsstudien zu verschiedenen gesamtwirtschaftlichen und energie- und umweltpolitischen Fragestellungen durchgeführt.

Im Rahmen dieser Studie ist das Umweltmodell des RWI anhand der folgenden Dokumentationen untersucht worden:

- Bernhard Hillebrand: „Das Modellinstrumentarium des RWI – Konzeption, Erklärungsansätze und Anwendungsmöglichkeiten“ (1996);
- RWI-Papiere, Nr. 19, Bernhard Hillebrand et al.: „Das RWI-Strukturmodell – Konzeption, Hypothesen und Wirkungsanalysen (1989);
- RWI-Gutachten: „Ein Energiemodell für die BRD, Band 1, Gesamtdarstellung“ (1987);
- RWI-Mitteilungen, 45 (2), Hans Georg Buttermann: „Zur Interdependenz von Energieverbrauch und Kapitaleinsatz – dargestellt am Beispiel der Zementindustrie“ (1994);
- RWI-Untersuchungen, Heft 19, Bernhard Hillebrand et al.: „Gesamtwirtschaftliche Beurteilung von CO₂-Minderungsstrategien“ (1996);
- RWI-Mitteilungen, 42, Bernhard Hillebrand: „Ein Kraftwerksmodell für die BRD“ (1991).

Ferner standen die Modellbauer für ein Gespräch (18. August 1997) zur Verfügung, in dem die noch offenen Fragen weitgehend geklärt werden konnten.

Das Struktur- und das Energiemodell sind in befriedigender Weise dokumentiert, allerdings nicht der aktuelle Modellstand, sondern im wesentlichen der Stand Ende der achtziger Jahre. Zum heutigen Zeitpunkt liegen weder das Gleichungssystem noch eine Ablaufskizze vor.

6.2.2 Zur Theorie

Das RWI-Strukturmodell

Die sektoralen Strukturwirkungen von umwelt- bzw. energiepolitischen Instrumenten werden im Rahmen des nach sechzig Sektoren differenzierten RWI-Strukturmodells analysiert. Es lassen sich fünf Teilbereiche des RWI-Strukturmodells unterscheiden:

- ein güterwirtschaftliches Output-Modell,
- ein Preismodell,
- ein Arbeitsmarktmodell,
- ein Umverteilungsmodell sowie
- eine Kapitalbestands- und Potentialrechnung.

Im Input-Output-Teil des Strukturmodells wird die Produktion in den sechzig Sektoren über die Leontief-Inverse erklärt, wobei die Inputkoeffizienten zeitvariabel in Abhängigkeit von Vorleistungspreisen, Kapitalintensitäten und -auslastungsgraden der einzelnen Sektoren modelliert werden. Dabei werden jedoch nicht alle 60×60 -Inputkoeffizienten erklärt, sondern nur diejenigen, deren Variation einen wichtigen Einfluß auf die Bruttonproduktion des jeweiligen Sektors hat. Die Endnachfrage wird über zeitvariable Konsum- und Investitions-Bridge-Matrizen erklärt, wobei die Berechnung dieser Bridge-Matrizen aufgrund statistischen Primärmaterials durch das RWI selbst bzw. durch das ifo-Institut erfolgt.

Die Outputpreise werden über einen Mark-Up-Ansatz aus den sektoralen Stückkosten erklärt. Der Mark-Up-Faktor ist dabei zeitvariabel und abhängig von dem Kapazitätsauslastungsgrad des jeweiligen Sektors.

Im Arbeitsmarktmodellteil wird die Arbeitsnachfrage aus der Bruttonproduktion und der Arbeitsproduktivität erklärt, während das Arbeitsangebot im wesentlichen durch demographische Faktoren determiniert wird.

Das verfügbare Einkommen der privaten Haushalte wird aus den Bruttoeinkommen der Input-Output-Rechnung und den übrigen Bestandteilen berechnet.

Wesentliches Merkmal des RWI-Strukturmodells ist eine detaillierte Produktionspotentialrechnung. Dazu wird das Bruttoanlagevermögen in jedem der einzelnen Produktionssektoren erfaßt und daraus anhand trendbehalteter Kapitalproduktivitäten die sektorale Produktionskapazität berechnet. Im Bereich der Produktionspotentialrechnung erfuhr das RWI-Modell in den letzten Jahren wesentliche Erweiterungen, beispielsweise konnten in einigen energieintensiven Produktionsbereichen (u.a. Zement-Industrie) und im Bereich der Kraftwerke Vintage-Produktionsfunktionen spezifiziert werden. Diese beruhen auf Daten der nichtamtlichen Statistik (z.T. von den entsprechenden Verbänden). In anderen Produktionssektoren ist eine Erweiterung um Vintage-Produktionsfunktionen nicht möglich, da die Daten noch nicht vorliegen (Chemische Industrie).

Das RWI-Energiemodell

Ziel des Energiemodells ist die realitätsnahe Erklärung des Energieverbrauchs und -angebots, sowie die Ermittlung der Energie- und Kapitalkosten für das sektorale Strukturmodell. Im Energiemodell wird die Erklärung des Energieverbrauchs nach den folgenden fünf Teilbereichen spezifiziert:

- energieintensive Sektoren,
- energieextensive Sektoren,
- Güter- und gewerblicher Personenverkehr,
- Kleinverbrauch und
- private Haushalte (Raumwärme und Kraftstoffe).

Hierbei werden die Energieverbräuche neben der sektoralen Disaggregation auch nach Energiearten und -trägern unterteilt.

Die exogenen Variablen für die Bestimmung des Energieangebots sind im wesentlichen der Welthandelspreis für Rohöl und der Wechselkurs zum US-Dollar. Die Entwicklung der Energiepreise wird darüber hinaus durch ihre Erzeugungskosten bestimmt.

Ein entscheidendes Charakteristikum bei der Verknüpfung des Energie- und des Strukturmodells ist die wechselseitige Dependenz zwischen energie- und gesamtwirtschaftlichen Entwicklungen.

Zur Interdependenz Ökologie/Technik/Ökonomie

Das RWI-Umweltmodell enthält keinen eigentlichen Umweltteil. Technische Neuerungen können nur soweit erfaßt werden, wie sie bereits heute absehbar sind. Da die Produktionsfunktion nicht nur aufgrund ökonometrischer Informationen spezifiziert wurde, sondern auch Elemente einer *Engineering Production Function* enthält, ist aber eine genauere Abbildung technologischer Interaktionen möglich.

6.2.3 Zur Methodik

Ausgangspunkt der Modellbildung des RWI-Umweltmodells sind in jedem Teilbereich fundierte ökonomische Überlegungen. Die Basis dafür bilden sowohl neoklassische (u.a. Preisabhängigkeit der Inputkoeffizienten) als auch keynesianische (z.B. Ungleichgewichte am Arbeitsmarkt) Grundgedanken.

Ökonometrie

Das Modell ist mit Jahresdaten für den Zeitraum 1978 bis 1991 (teilweise 1992) geschätzt. Obwohl das Modell aus mehreren Blöcken besteht, in denen die Gleichungen interdependent sind, wurden alle Verhaltensgleichungen mit Hilfe der gewöhnlichen Methode der kleinsten Quadrate (OLS) geschätzt. Bei der Spezifikation ist stets die ökonomisch-theoretische Basis der Ausgangspunkt. Es werden Einzelgütemaße wie R^2 , Durbin-Watson und MAPE berechnet. Der genaue Spezifikationsprozeß ist nicht dokumentiert.

Datenbasis

Neben Daten aus der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung (VGR) greift das RWI auf Daten zurück, die zum Teil vom RWI selbst berechnet werden, wie beispielsweise die Konsumverflechtungsmatrix. Darüber hinaus werden für einige detailliert modellierte Sektoren Daten der entsprechenden Fachverbände benutzt, z.B. Daten des Verbandes der Deutschen Zementindustrie. Die realen Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes in 58er Disaggregation werden für die Modellzwecke des RWI in einigen Punkten verändert, z.B. hinsichtlich der Einbeziehung der Mehrwertsteuer und der Disaggregation des Sektors Nahrungsmittel. Es ist fraglich, ob der gewählte Disaggregationsgrad für die Fragestellung des Modells angemessen ist, insbesondere ob nicht einige Sektoren zusammengefaßt werden könnten, um die Komplexität des Modells (ca. 2.700 Gleichungen) zu verringern. Die Energiebilanzrechnung und die IO-Tabellen des Statistischen Bundesamtes sind dafür verantwortlich, daß das Modell derzeit nur bis 1993 geschätzt werden kann. Derweil existieren mit Ausnahme des Kraftwerksmodellteils nur Spezifikationen für Westdeutschland. Wie eine Ausweitung des Modells auf Gesamtdeutschland erfolgen könnte, ist derzeit noch unklar. Ebenso erscheinen die nichtamtlichen Datenlieferungen auf Dauer nicht gesichert; die Investitionsverflechtungsmatrizen des ifo-Instituts existieren beispielsweise nur bis 1991. Bei der Erfassung der Investitionen wird nicht zwischen umweltpolitischen und produktiven Investitionen unterschieden. Daraus folgt, daß alle Investitionen im selben Maße das Produktionspotential erhöhen.

6.2.4 Zur Simulation

Das RWI nutzt in Simulationsläufen und -eingriffen die ökonometrischen Spezifikationen weniger „mechanistisch“ als dies in vielen anderen ökonometrischen Modellen geschieht. Beispielsweise werden das Energie- und das Strukturmodell in der Regel nicht gemeinsam automatisch simuliert. Vielmehr wird auf jeder Iterationsstufe für jede Gleichung von Hand die Plausibilität der

Teilergebnisse überprüft und gegebenenfalls die Spezifikation geändert. Erst dann wird der nächste Iterationsschritt ausgeführt.

Ebenso werden z.B. bei Simulationseingriffen, welche die Energiepreise erhöhen, die ökonometrisch geschätzten Substitutionselastizitäten immer dann verändert, wenn der Simulationseingriff die Variation des Preises deutlich über die des Schätzzeitraums hinaus vergrößert hat. Dabei wird auf das Wissen über die Marktbesonderheiten in den jeweiligen Sektoren zurückgegriffen.

In einer vorliegenden konkreten Simulation unterstellt das RWI mit seinem Modell die Wirkungen der Einführung einer Energiesteuer, deren Aufkommen zur anteiligen Senkung der Lohn-Nebenkosten bzw. Erhöhung der Einkommen der privaten Haushalte verwendet wird. Es kommt zu einer Verringerung der CO₂-Emissionen um 85 Mill. t bis 2005, aber auch zu einer Zunahme der Arbeitslosigkeit um 160 Tsd.

Um die Wirkungen von Minderungsstrategien quantifizieren zu können, bedient sich das RWI der Analyse von drei Reduktionsszenarien: dem Referenzszenario, dem IMA-Szenario und dem Enquete-Szenario.

Die Annahmen, die den Reduktionsszenarien zugrunde liegen, sind u.a.:

- Wachstum der Bevölkerung Deutschlands von 80,4 Millionen im Jahre 1992 auf 84,2 im Jahre 2009;
- Anstieg der realen Ölimportpreise auf 590 DM/t im Jahr 2005;
- Mineralöl- und Erdgassteuersätze bleiben unverändert auf dem Niveau vom 1. Januar 1994;
- deutlich schwächerer Anstieg des realen Staatsverbrauchs;
- Tarifabschlüsse unter der Inflationsrate.

6.2.5 Vorläufige Beurteilung

Die Dokumentation des RWI-Umweltmodells liegt in übersichtlicher und umfassender Weise vor. Leider ist sie aber nicht mehr auf dem aktuellen Stand – eine Aktualisierung ist dringend geboten.

Das Modell besitzt eine gute theoretische Fundierung. Die Theorie liefert dabei aber nicht unangemessen starke Restriktionen für die Verhaltensgleichungen des Modells, sondern wird eher dahingehend genutzt, daß sie allgemeine Hinweise zur Variablenauswahl liefert.

Für Fragen der Umweltpolitik ist es entscheidend, die technologischen Möglichkeiten der Produzenten zu kennen. Dabei wird es in der Regel nicht ausreichen, im Schätzzeitraum beobachtete Technologien zu betrachten. Vielmehr sind auch die zur Zeit noch nicht angewandten Technologien in die

Überlegungen mit einzubeziehen, z.B. neue energiesparende Produktionsverfahren, die erst bei einer Energieverteuerung zur Anwendung kommen würden. Das RWI-Modell berücksichtigt solche technologiebasierten Informationen bereits in einigen Sektoren. Für umweltpolitische Fragestellungen wäre es dringend erforderlich, die Datengrundlagen für solche Überlegungen auch in den übrigen Sektoren bereitzustellen.

Während das RWI-Modell relativ genau die wirtschaftlichen Effekte umweltpolitischer Maßnahmen erfassen kann, fehlt bis auf wenige Ausnahmen eine Modellierung der damit zusammenhängenden ökologischen Größen. In diesem Sinne ist das RWI-Umweltmodell nur ein Partialmodell.

Der Umgang der RWI-Modellbauer mit Simulationseingriffen ist angemessen. Die Grenzen ökonometrischer Aussagefähigkeiten werden erkannt; bei Variablen-Variationen, die über jene im Schätzzeitraum hinausgehen, wird unter Verwendung von externer Information „von Hand“ eingegriffen.

6.3 Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW)

6.3.1 Überblick

Das im Auftrag der Europäischen Kommission (DG XII) vom Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) und fünf weiteren europäischen Instituten entwickelte GEM-E3-Modell ist ein sehr großes Angewandtes Allgemeines Gleichgewichtsmodell (AGE-Modell). Es wurde mit dem Ziel modelliert, mittel- bis langfristige Simulationen energie- und umweltpolitischer Maßnahmen innerhalb der EU durchführen und ihre EU-weiten wirtschaftlichen und ökologischen Folgen abschätzen zu können.

Bislang sind vom ZEW im Auftrag der Europäischen Kommission bereits eine Vielzahl von Simulationen mit dem GEM-E3-Modell durchgeführt worden. Simuliert wurden u.a. folgende energie- und umweltpolitische Szenarien:

- Eine aufkommensneutrale Einführung einer endogenen CO₂-Besteuerung bei einer Reduktionsvorgabe von 10% gegenüber dem Referenzjahr. Als Mechanismus der Reallokation wurde hierbei die gleichzeitige Senkung der Sozialversicherungsbeiträge bei fixiertem Staatsdefizit gewählt. Dieses ist sowohl für den unkoordinierten Fall (d.h. alle 12 EU-Länder reduzieren ihre jeweiligen CO₂-Emissionen um 10%) als auch für den koordinierten Fall (d.h. die CO₂-Gesamtemissionen werden insgesamt um 10% reduziert) berechnet worden.
- Eine Einführung eines Systems von CO₂-Emissionszertifikaten mit einer anfänglichen Allokation in Form des sogenannten *Grandfathering*, d.h. der freien Vergabe bei einer Reduktionsvorgabe von 10% gegenüber dem Referenzjahr für den koordinierten und den unkoordinierten Fall.

Im Rahmen dieser Studie ist das GEM-E3-Modell des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) anhand der folgenden Dokumentationen untersucht worden:

- Klaus Conrad, Tobias Schmidt: „Double Divident of Climate Protection and the Role of International Policy Coordination in the EU – An Applied General Equilibrium Analysis with the GEM-E3 Model“ (1997);
- Klaus Conrad, Tobias Schmidt: „The International Policy Dimension of Sustainability – the Effect of Policy Harmonization within the EU Using the GEM-E3 Model“ (1996);
- ZEW-Discussion Paper, No. 95-22, Klaus Conrad, Tobias Schmidt: „National Economic Impacts of an EU Environmental Policy – An Applied General Equilibrium Analysis“ (1995).

Ferner standen die Modellbauer für ein Gespräch (18. September 1997) zur Verfügung, in dem die noch offenen Fragen weitgehend geklärt werden konnten.

Das GEM-E3-Modell des ZEW ist zusammengefaßt dokumentiert. Das Gleichungssystem liegt nicht explizit vor. Die nachfolgende Beschreibung beruht im wesentlichen auf dem Modellstand zu Beginn des Jahres 1997.

6.3.2 Zur Theorie

Das GEM-E3-Modell ist ein angewandtes allgemeines Gleichgewichtsmodell, das die Bereiche Ökonomie, Energie und Umwelt *integriert* abbildet, d.h., daß die Subsysteme Energie und Umwelt in das dominierende ökonomische Modell integriert werden. In der neueren Terminologie interdisziplinärer Modellierung werden Ansätze dieser Art auch als *Integrated Assessment Modelle* bezeichnet. Das GEM-E3-Modell kann der Klasse der *top down* spezifizierten Energiewirtschaftsmodelle zugeordnet werden. Gebietsstand des GEM-E3-Modells sind die EU-Mitgliedsstaaten.

Die Modellierung des Gleichgewichtsansatzes

Die gleichgewichtige Lösung des GEM-E3-Modells, d.h. die Markträumung, ist das Ergebnis des Marktausgleichs von Angebot und Nachfrage auf den Güter- und Faktormärkten. Hierbei können unterschiedliche Markträumungsmechanismen modelliert werden.

In der Basisversion des GEM-E3-Modells werden die ökonomischen Agenten als Preisnehmer spezifiziert – jedoch ist auch die Abbildung von unvollständigem Wettbewerb möglich. Der Arbeitsmarkt kann beispielsweise ungleichgewichtig modelliert werden. In dieser Spezifikation können Lohnrigiditäten berücksichtigt werden, so daß der Lohnsatz nicht mehr automatisch für Räumung des Arbeitsmarktes sorgt. Arbeitslosigkeit ergibt sich dann als endogene Modellvariable aus der Differenz zwischen exogenem Arbeitsangebot und der modellendogen bestimmten Nachfrage nach Arbeit.

Zur Modellstruktur

Beim GEM-E3 handelt es sich um ein EU-weites Modell, in dem die 11 (neuerdings: 14) EU-Mitgliedsländer einzeln modelliert werden. Dazu werden für 11 (14) EU-Mitgliedsstaaten AGE-Modelle aufgestellt, die in mittlerer sektoraler Disaggregationstiefe (11, neuerdings 18 Sektoren) die nationalen Ökonomien beschreiben und über Außenhandelsverflechtungsmatrizen miteinander und mit einem Modellteil „übrige Welt“ verbunden sind.

Da das Modell als Gleichgewichtsmodell formuliert ist (mit expliziten Ausnahmen auf einigen Märkten), gelingt eine Lösung bzw. Simulation nur

im Gesamtmodell. Die Alternative eines zumindest teilweise exogenen Außenhandels und damit der Möglichkeit einer nationalen Modellvariante wurde von den Modellbauern nicht verfolgt und ist auch nicht für die absehbare Zukunft vorgesehen. Vielmehr wird gerade die Stärke im Vergleich mit anderen Modellen darin gesehen, daß im GEM-E3-Modell Auswirkungen umweltpolitischer Maßnahmen genauer dargestellt werden können, da die außenwirtschaftlichen Verflechtungen (zumindest intra-EU) endogenisiert sind.

In den aktuell vorliegenden Dokumentationen werden 11 Sektoren unterschieden, die ebensoviele Güter in geschachtelten CES-Produktionsfunktionen, d.h. Produktionsfunktionen mit konstanter Substitutionselastizität, produzieren. Hinsichtlich der energie- und umweltpolitischen Ausrichtung des GEM-E3-Modells wurde die folgende Aggregation der Sektoren gewählt:

- Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft;
- 4 Energiesektoren (Kohle, Öl, Gas, Elektrizität);
- 3 Industriesektoren (energieintensive Industrie, Investitionsgüterindustrie, Konsumgüterindustrie);
- Verkehr;
- 2 Dienstleistungssektoren (gewerbliche DL, öffentliche DL).

Daher werden Investitions- und Konsumverwendung tief disaggregiert modelliert und eine ganze Reihe von Umweltgrößen erfaßt.

Damit ist eine Modellgröße vorgegeben, die von den Modellautoren mit „ungefähr 60.000 Gleichungen“ angegeben wird.

Der ökonomische Modellteil

Der ökonomische Modellteil des GEM-E3-Modells ist ein sogenanntes mikroökonomisch fundiertes Makromodell. Hierbei wird das Angebots- und Nachfrageverhalten der Marktteilnehmer in den Teilbereichen Konsum, Produktion, Investition und Beschäftigung nach dem Gewinn- bzw. Nutzenmaximierungsprinzip modelliert.

Im Produktionsteil des GEM-E3-Modells wird von CES-Produktionsfunktionen für die einzelnen Sektoren der modellierten Länder ausgegangen. Die Faktornachfragen werden nicht gemeinsam modelliert. Es wird von ineinander verschachtelten, schwach separierbaren Unter-Produktionsfunktionen ausgegangen. Diese Verschachtelung wird nicht motiviert. Im Gespräch wurde erläutert, daß eine Veränderung dieser Verschachtelungsstruktur „keine großen Auswirkungen“ auf die Modellergebnisse hätte.

Auch im Konsumteil ist die intertemporale Konsumententscheidung verschachtelt modelliert. Für die Haushalte werden 13 Ausgabenkategorien differenziert. In einem „intertemporal abgeleiteten, erweiterten linearen Ausgabensystem“ wird hierbei zwischen Investitionen in Wohnungen, 3 dauerhaften und 9 nicht-dauerhaften Konsumgüterkategorien unterschieden. Zu den 3 dauerhaften Konsumgüterkategorien zählen die Ausgaben für Kraftfahrzeuge, Heizungssysteme und elektrische Geräte, zu den 9 nicht-dauerhaften Konsumgüterkategorien werden die Ausgaben für Nahrungsmittel, Kultur, Gesundheit, Elektrizität, Gas, Kraftstoffe, übrige Energieträger, übriger Verkehr, Wohnung gezählt. Um dem energie- bzw. umweltpolitischen Ansatz gerecht zu werden, wird die Nutzung der dauerhaften Konsumgüter an den Verbrauch der nicht-dauerhaften Konsumgüter gekoppelt. Es ist allerdings nicht nachvollziehbar, daß die intertemporale Konsumallokation ohne Berücksichtigung der dauerhaften Konsumgüter getroffen wird. Erst wenn der Periodenkonsum feststeht, wird eine Aufteilung in dauerhafte und nicht-dauerhafte Konsumgüter vorgenommen, wobei für die dauerhaften die Modellierung über partielle Anpassungsprozesse erfolgt. Es wird aber nicht berücksichtigt, daß die Entscheidung zum Kauf dauerhafter Konsumgüter schon die intertemporale Konsumallokation beeinflusst.

Die Modellierung des Umweltteils

Besonders in den neueren Erweiterungen des GEM-E3-Modells unterscheidet sich dieses Modell in einiger Hinsicht von den anderen hier diskutierten Modellen.

Während andere Modelle die Modellierung des Umweltteils eher auf die Emissionen von CO_2 , SO_2 und NO_x , also von primären Luftschadstoffen beschränken, wird das GEM-E3-Modell z.Zt. dahingehend erweitert, daß auch die Entstehung sekundärer Luftschadstoffe modelliert wird, also von Stoffen, die durch die Konzentration der primären Schadstoffe in der Atmosphäre entstehen. Hier wird also der Versuch unternommen, einen umfassenden eigenständigen Umweltteil zu modellieren.

In eine ähnliche Richtung geht die Nutzung regionaler Verteilungsmatrizen für Luftschadstoffe, die regional unterschiedliche Aussagen über Schadstoffkonzentrationen zumindest ansatzweise zulassen.

Wesentlicher Unterschied des GEM-E3-Modells zu den bisher besprochenen Modellen ist aber, daß es sich hier um ein EU-weites Modell handelt. Damit sind Emissions- und Vermeidungswirkungen in einem internationalen Zusammenhang beurteilbar. Da keine Grenzen für Luftschadstoffe existieren, ist auch eine nationale Modellierung von Emissionswirkungen nur selten sinnvoll. Bedauerlich ist aber in diesem Zusammenhang, daß nur EU-

Mitgliedsländer modelliert sind, nicht aber z.B. ost- und südosteuropäische Länder. Führt eine EU-weite Energiebesteuerung z.B. zu einer Produktionsverlagerung nach Tschechien, so sind auch die dortigen Emissionen zu modellieren, da sie sicherlich Auswirkungen auf die Schadstoffkonzentrationen in Deutschland und Österreich haben.

6.3.3 Zur Methodik

Zur Parameterbestimmung

Die Parameter des GEM-E3-Modells werden, wie in AGE-Modellen üblich, durch Kalibrierung bestimmt. Ausgehend von der Annahme eines Gleichgewichts in der Basisperiode 1985 werden dabei die Parameter der Modellgleichungen so festgelegt, daß in dieser Periode keine Differenzen zwischen modellendogenen Variablengrößen und tatsächlichen Werten entstehen. Da diese Bedingungen die Parameterwerte nicht eindeutig bestimmen, sondern durch einen Unterraum des Parameterraumes erfüllt werden, muß eine Vielzahl der Parameter vorab festgelegt werden. Dabei bedienen sich die Modellautoren keiner im eigentlichen Sinne empirischen Methode. Vielmehr geht es ihnen eher darum, plausible Größenordnungen für die festzulegenden Parameter (vor allem Substitutionselastizitäten) zu bestimmen. Zum Beispiel werden Parameter aus vorhandenen empirischen Untersuchungen verwandt oder für ein Land die Substitutionselastizitäten eines anderen benutzt. Die übrigen Parameter werden durch Lösung des Modells für die Basisperiode bestimmt.

Kritisch zu beurteilen ist, daß das GEM-E3-Modell keinerlei Spezifikations-tests unterworfen wurde.

Zur Datenbasis

Die Datenbasis des GEM-E3-Modells des ZEW besteht im wesentlichen aus den nationalen amtlichen Statistiken und den Daten von Eurostat.

Im Modell wird für jedes modellierte Land nur eine IO-Tabelle verwandt, in der Regel die von 1985. Die Modellautoren argumentieren, die Variation in den Inputkoeffizienten sei nicht so groß, daß aktuellere IO-Tabellen nötig wären. Dies widerspricht jedoch der Erfahrung mit den deutschen IO-Tabellen. Eine genaue Beurteilung der dabei auftretenden Fehler ist aber nicht möglich, da dies nur über Anpassungstests der Faktornachfragefunktionen (die *zeitvariable* IO-Koeffizienten unterstellen) gelingen könnte.

6.3.4 Zur Simulation

Im Gespräch mit den Modellautoren wurde deutlich, daß sie ihre Ergebnisse im wesentlichen qualitativ verstanden wissen wollen, also eher eine vorsichtige

Interpretation befürworten. Mit dem GEM-E3-Modell sind schon eine Reihe von Simulationen zur Einführung von Umweltsteuern durchgeführt worden. Aufgrund der EU-weiten Auslegung des Modells ist es insbesondere möglich gewesen, die Unterschiede zwischen einer nationalen und einer EU-weiten Umweltpolitik zu untersuchen. Dabei konnte gezeigt werden, daß die Einführung einer EU-weiten CO_2 -Steuer weniger negative gesamtwirtschaftliche Effekte erzeugt, als ein nationaler Alleingang.

6.3.5 Vorläufige Beurteilung

Das GEM-E3-Modell ist von den untersuchten Modellen das einzige, welches einen internationalen Rahmen modelliert. Für eine EU-weite Umweltpolitik ist dies unerlässlich, zumal die Ergebnisse des GEM-E3-Modells bei koordinierten EU-weiten Maßnahmen sich deutlich von denen einer nationalen Maßnahme unterscheiden. Auch machen Umwelteffekte nicht an nationalen Grenzen halt, es ist also notwendig, diese Effekte im internationalen Kontext zu erfassen. Das GEM-E3-Modell ist in dieser Beziehung ein Schritt in die richtige Richtung. Allerdings sollte bei einer EU-weiten Modellierung nicht haltgemacht werden, sondern insbesondere auch ost- und südosteuropäische Länder in das Modell einbezogen werden.

Auch die Modellierung eines eigenständigen Umweltteils stellt einen Fortschritt dar, der die Erfassung abgeleiteter Umwelteffekte erlaubt. Dabei werden stoffliche und regionale Größen modelliert, die innerhalb des Umweltmodells aus den initialen Wirkungen – die aus dem ökonomischen Modellteil stammen – entstehen.

Bei Verwendung des GEM-E3-Modells zur Politikberatung ist allerdings als kritisch zu beurteilen, daß es sich bei dem vorliegenden Modell bestenfalls um ein „quasi-empirisches“ Modell handelt. Da

1. die Parameter durch Kalibrierung festgelegt werden und
 2. die Spezifikationen und Anpassungsqualitäten nicht überprüft werden,
- sind die Modellaussagen einer gewissen Beliebigkeit unterworfen und entbehren der Überprüfbarkeit. Es ist außerdem zu fragen, ob die gewählte Disaggregation wirklich für alle Simulationen nötig ist, oder ob nicht vielmehr die Modellgröße auf eine überschaubare Größenordnung reduzierbar ist.

Außerdem erscheint problematisch, daß nicht versucht wird, die Anpassung der modellendogenen Variablen mit dem Verlauf der tatsächlichen Größen zu vergleichen. Auch wenn in den Endaussagen lediglich die zusätzlichen Effekte wirtschaftspolitischer Maßnahmen ermittelt werden sollen, ist es unumgänglich, zunächst den Verlauf der tatsächlichen Variablen einigermaßen genau mit dem Modell abbilden zu können.

6.4 Forschungszentrum Jülich – IKARUS

6.4.1 Überblick

In diesem Abschnitt soll versucht werden, die wesentlichen Charakteristika des vom Forschungszentrum Jülich entwickelten IKARUS-Instrumentariums darzustellen. Dies geschieht anhand der vom Forschungszentrum Jülich gelieferten Dokumentationen:

- Programmgruppe Technologiefolgenforschung, Forschungszentrum Jülich GmbH, H.J. Hoffmann et al., Energiestrategien für den Klimaschutz in Deutschland – Das IKARUS-Projekt des BMBF – Zusammenfassender Endbericht, April 1997;
- Programmgruppe Technologiefolgenforschung, Forschungszentrum Jülich GmbH, J.-F. Hake, Modellinstrumente für CO_2 -Minderungsstrategien – Proceedings eines Workshops, Band 4200003, April 1997;
- Programmgruppe Technologiefolgenforschung, Forschungszentrum Jülich GmbH, S. Molt et al., Energiemodelle in der Bundesrepublik Deutschland – Stand der Entwicklung – Proceedings eines Workshops, Band 4200001, Januar 1996;
- Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung, Forschungszentrum Jülich GmbH, J.-F. Hake, Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level, Band 15, September 1994;
- Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung, Forschungszentrum Jülich GmbH, W. Kuckshinrichs et al., Workshops on the Economics of the Greenhouse Effect – Modelling Strategies and Impacts – Proceedings, Band 13, März 1993.

Ferner standen die Modellbauer für ein Gespräch (06. November 1997) zur Verfügung, in dem die noch offenen Fragen weitgehend geklärt werden konnten.

Das IKARUS-Instrumentarium ist ausführlich dokumentiert, insbesondere auf der CD-Rom, auf der das gesamte Modell abgebildet wird.

Das Projekt IKARUS (Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien) wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie vom Forschungszentrum Jülich im Dezember 1990 begonnen. Ziel war hierbei die Entwicklung des IKARUS-Instrumentariums, d.h. die Entwicklung eines aus Modellen und einer umfassenden Datenbank bestehenden allgemein zugänglichen Modellverbundes, mit dessen Hilfe Strategien zur Reduktion

von Treibhausgasemissionen, insbesondere CO_2 , formuliert und gegeneinander abgewogen werden können.

Bei der Konstruktion des IKARUS-Instrumentariums wurden die folgenden Randbedingungen vom BMBF vorgegeben:

- Gebietsstand ist die Bundesrepublik Deutschland. Bis zum Jahr 2005 sollen Analysen getrennt nach alten und neuen Bundesländern möglich sein;
- Ausgangspunkt der Analysen ist das „Basisjahr“ 1989, weitere Analysejahre sind die Jahre 2005 und 2020;
- Sowohl die Primärenergieebene als auch Energiedienstleistung und Nutzenenergie werden erfaßt;
- Wirtschaftliche Einflußgrößen wie Kapitalverfügbarkeit und Kapitalkosten, Entwicklung der Rohstoff- und Güterpreise, Außenhandel, technische Innovationen und verfügbare Kapazitäten (z.B. Obergrenzen für Förderkapazitäten von Bergwerken) sollen über Rahmenbedingungen innerhalb der einzelnen Szenarien berücksichtigt werden;
- Die zu erfassenden Gase sind vor allem Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Nicht-Methan-Kohlenwasserstoff (NMKW), Stickoxide (NO_x , NO_2), Distickstoffoxid (N_2O), Kohlenmonoxid (CO), Schwefeldioxid (SO_2), Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und stratosphärischer Wasserdampf;
- Das IKARUS-Instrumentarium sollte einfach nutzbar sein.

Bei der Konstruktion des IKARUS-Instrumentariums wurden neben dem Forschungszentrum Jülich auch noch weitere Institutionen beauftragt, wie unter anderem die Universität Oldenburg, das DIW und das Fraunhofer-Institut.

6.4.2 Zur Theorie

Das IKARUS-Instrumentarium

Wie oben erwähnt, besteht das IKARUS-Instrumentarium aus einzelnen Modellteilen und einer Datenbank. Die Komponenten besitzen eine eigene Datenbasis und können je nach Fragestellung einzeln oder im (losen) Verbund eingesetzt werden.

Im folgenden wird zwischen dem Optimierungsmodell, dem Makroökonomischen Informationssystem (MIS), dem Kettenmodell, Simulationsmodellen und drei verschiedenen Datenbanken unterschieden.

Das Optimierungsmodell

Hauptkomponente des IKARUS-Modellinstrumentariums ist das technikorientierte Optimierungsmodell, das den Energiefluß der Bundesrepublik Deutschland in etwa 2.000 aggregierten Energietechniken und ihren Verknüpfungen abbildet. Mit Hilfe linearer Programmierung erlaubt das Modell die Optimierung des Energiesystems, beispielsweise hinsichtlich minimaler gesamtwirtschaftlicher Kosten unter vorgegebenen Randbedingungen. Das Optimierungsmodell bewertet also den zur Änderung des Energiesystems (z.B. bei einer CO_2 -Reduktionsvorgabe) notwendigen Aufwand in Form von Kosten. Im Gegensatz zu einem Simulationsansatz, bei dem die Auswirkungen einer vorgegebenen Strategie analysiert werden, errechnet das Modell einen optimalen Technikmix unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen (z.B. wirtschaftliche Entwicklung, Technikdaten, etc.). Durch die Vernetzung innerhalb des Optimierungsmodells werden die Wechselwirkungen innerhalb des Energiesystems berücksichtigt.

Das Ergebnis dieser Optimierungsrechnung ist eine unter Berücksichtigung exogener Vorgaben (u.a. Nachfrage nach Energiedienstleistungen) „energiewirtschaftlich optimale“ Struktur des Energiesystems.

Wesentliche Charakteristika des Optimierungsmodells sind:

- statische Rechnungen für die Stützjahre 1989, 2005 und 2020;
- getrennte Rechnungen für die alten und neuen Bundesländer für die Stützjahre 1989 und 2005;
- Berücksichtigung von ca. 2.000 repräsentativen aggregierten Energietechniken;
- Berücksichtigung des Energieflusses vom Primärenergieaufkommen bis zu Energiedienstleistungen bzw. Nutzenergie;
- Emissionsseitige Analyse für die Luftschadstoffe CO_2 , CO , CH_4 , SO_2 , NO_x und $NMKV$.

Das Makroökonomische Informationssystem (MIS)

Die makroökonomische Analyse geschieht außerhalb des Optimierungsmodells. Diese umfaßt die Bereitstellung von Rahmendaten der Wirtschaftsentwicklung und die Bewertung der Ergebnisse des Optimierungsmodells. Für die Simulation der sektoralen Wirtschaftsentwicklung wurde von der Arbeitsgemeinschaft Energie- und Systemplanung der Universität Oldenburg ein makroökonomisches Informationssystem (MIS) entwickelt, das auf einem

dynamischen (im Sinne eines endogenen Kapitalstocks) Input-Output-Ansatz basiert.

Innerhalb des makroökonomischen Informationssystems ist die Volkswirtschaft in 30 Sektoren, davon 9 Energiesektoren, disaggregiert.

Das MIS-Modell besteht aus einem Input-Output-Generator und einem Wachstumsmodell. Diesen Komponenten sind ein Elektrizitäts-, ein Transport- sowie ein Wohnungsmodul angegliedert.

Das Kettenmodell

Zur Erfassung der Umwandlung von Primär- zu Nutzungsenergie (in der Regel über eine ganze Reihe von Stufen) können im sogenannten Kettenmodell einzelne Stufen der Energieumwandlung miteinander verbunden werden, um Kosten und Emissionen für bestimmte Nutzungsenergien berechnen zu können. Darüber hinaus ist die Erfassung von Kuppelprodukten möglich. Mit dem Kettenmodell können verschiedenen Umwandlungsprozesse von Primär- in Nutzenenergie miteinander verglichen und ihre Kosten und Emissionen bilanziert werden.

Auch kann der kostenminimale oder nach einem anderen Kriterium optimale Primärenergiebedarf bei gegebener Nutzenenergienachfrage ermittelt werden.

Die Simulationsmodelle

Um auch sektorspezifische Fragestellungen der Energieeinsparung und Emissionsminderung beantworten zu können, werden in das IKARUS-Modellinstrumentarium vier sogenannte Simulationsmodelle integriert.

Diese Teilmodelle umfassen die Bereiche „Raumwärme“, „Verkehr“, „Strom und Fernwärme“ und „Industrie und Kleinverbraucher“. Sie gestatten detailliertere Simulationseingriffe als dies in dem Optimierungsmodell möglich ist.

Ziel dieser Simulationsmodelle ist die Ermittlung der energie-, emissions- und kostenseitigen Auswirkungen von Maßnahmen zur Emissionsminderung.

Die IKARUS-Datenbank

Die IKARUS-Datenbank liefert Daten unterschiedlicher Aggregationsniveaus für die einzelnen Modellteile, ist aber vor allem auch als ein eigenständiges Informationssystem zu sehen. Sie ist unterteilt in die Teile

- Technikdatenbank,
- Rahmendatenbank mit Bestandsdaten der Techniken,
- Modelldatenbank.

Eine der Besonderheiten des IKARUS-Instrumentariums des Forschungszentrums Jülich ist, daß das Optimierungs-, das MIS- und das Kettenmodell sowie die IKARUS-Datenbank auf einer CD-ROM allgemein verfügbar sind. Zum jetzigen Zeitpunkt basiert diese CD-ROM noch auf dem Stützjahr 1989, für 1998 soll ein Update auf Basis 1995 fertiggestellt sein.

Exogene Variablen

Wesentliche exogene Variablen des MIS, mit denen wirtschaftspolitische Eingriffe modelliert werden können, sind Energiepreise und -steuern, Endnachfrage (außer Investitionen), Importquoten, Abschreibungen und Arbeitsproduktivitäten sowie Arbeitsangebot-Variablen.

Im MIS ist also auf eine umfassende Endogenisierung verzichtet worden. Zur Durchführung von realistischen Simulationsexperimenten ist es daher nötig, „von Hand“ eine Reihe der exogenen Variablen zu verändern, so z.B. eine Abgleichung von Einkommen und Konsum vorzunehmen.

Für das Optimierungsmodell sind die Informationen über Technologien die wesentlichen exogenen Variablen. Diese beruhen im wesentlichen auf Einschätzungen durch Experten.

Zur Interdependenz Ökologie/Technik/Ökonomie

Im IKARUS-Instrumentarium existiert kein eigentlicher Umweltteil. Aus den Emissionsmengen werden aber z.T. Indikatoren für spezifische Umweltbelastungen berechnet, z.B. Klimagas- (CO_2 -) Äquivalente.

Technologische Entwicklungen im Energiebereich bedürfen bis zur Marktreife einer langen Entwicklung. Im Simulationszeitraum des IKARUS-Modells sind sie damit vorhersehbar und in den Modellinformationen erfaßt. Im MIS wird der technische Fortschritt im Bereich der Energieeinsparung durch AEEI- (Autonomous Energy Efficiency Improvement) Koeffizienten beschrieben.

6.4.3 Zur Methodik

Zur Parameterbestimmung

Die Parameter der Prozeßstrahlen im Optimierungsmodell sind durch Experteneinschätzungen determiniert. Schätzungen sind nicht notwendig. Die Parameter wurden „von Hand“ so weit „kalibriert“, daß die modellendogenen Aggregate für 1989 den tatsächlichen Werten entsprechen. Im MIS sind lediglich der Altersaufbau der Kapitalstruktur und die Produktionsfunktionen zu schätzen. Angaben zu den verwendeten Schätzverfahren werden nicht gemacht.

Zur Datenbasis

Wie bereits erwähnt, nutzt das IKARUS-Instrumentarium eine eigene Datenbasis. Diese basiert nur zu einem geringen Teil direkt auf amtlichen Statistiken. Vielmehr wurden in eigenständigen Teilprojekten die benötigten Daten gewonnen. Daran beteiligt waren:

- das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin mit Daten zur Primärenergie,
- das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart mit Daten zur Energieumwandlung,
- der Lehrstuhl für Energie- und Kraftwerkstechnik der TU München mit Daten zum Endenergieverbrauch der Haushalte und Kleinverbraucher,
- das Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe mit Daten zum Endenergieeinsatz in der Industrie,
- der TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz, Köln, Abteilung Verkehr und Umwelt mit Daten zum Endenergieverbrauch im Bereich Verkehr sowie
- die Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München für Daten aus dem Bereich Querschnittstechniken.

Momentan wird die Datenbasis auf den Stand von 1995 aktualisiert.

6.4.4 Zur Simulation

Mit der Fertigstellung der endgültigen Version der CD-ROM steht ein einfach zu bedienendes Instrumentarium zur Durchführung von Simulationen zur Verfügung.

Es liegen bereits Studien vor, die kostenminimale CO₂-Minderungsstrategien diskutieren, kostengünstige Energieeinsparungsalternativen aufzeigen und damit Informationen darüber liefern, in welchen Bereichen staatliche Umweltschutzpolitik Anreize zur Energieeinsparung bieten könnte.

Die Energiedienstleistungsnachfrage wird dabei in pessimistischen und optimistischen Szenarien simuliert, so daß auch Aussagen über Gültigkeitsbereiche der getroffenen Prognosen gemacht werden können.

6.4.5 Vorläufige Beurteilung

Grundsätzlich hervorzuheben ist die ausführliche Dokumentation des IKARUS-Instrumentariums auf CD-ROM.

Besonders ausgebaut ist der stark disaggregierte Bereich der Energieerzeugungs- und -nutzungstechnologien. Im Bereich der Energiewirtschaft ist die technologische Entwicklung zumindest bis zum Jahr 2005 sehr genau und bis zum Jahr 2020 ungefähr absehbar. Die Endogenisierung des technischen Fortschritts wird daher durch Einbau von Expertenwissen in den Modellzusammenhang vorgenommen.

Das in Abschnitt 4.3 im Zusammenhang mit der Diskussion des Idealmodells angesprochene Problem der Einbeziehung alternativer, bisher noch nicht realisierter Produktionstechniken scheint daher beim IKARUS-Modell befriedigend gelöst zu sein.

Die Verbindung des Optimierungsmodells mit dem MIS weist noch einige Schwächen auf. Die im MIS berechnete Energienachfrage fließt als Information in das Optimierungsmodell ein, welches u.a. die Kosten der Energienachfrage bestimmt. Diese Kosten dürften sicherlich Auswirkungen auf die Energiepreise haben und somit die Energienachfrage beeinflussen. Diese Rückkoppelung ist im Modell nicht erfaßt und müßte gegebenenfalls von außen eingestellt werden. Verzichtet man darauf, so kann es zu ähnlichen Fehlprognosen wie zu Beginn der siebziger Jahre kommen, als man den Rückgang der Energienachfrage aufgrund der Ölpreisschocks nicht prognostizierte und damit den zukünftigen Energiebedarf weit überschätzte.

Im MIS ist problematisch, daß außer der Endnachfragekomponente „Investitionen“ alle Endnachfragekomponenten exogen sind. Da die Einkommenskomponenten im MIS endogen errechnet werden, ergibt sich eine modellendogene Beziehung zwischen Einkommen und Konsum, die nicht im Modell kontrolliert wird. Das MIS ist als Input-Output-Modell spezifiziert, die Inputkoeffizienten sind mit Ausnahme der Energiesektoren fix. Dies entspricht nicht der Beobachtung. Die Spezifikation insbesondere des Investitionsteils des MIS wird nicht empirisch motiviert.

Die Bedeutung des IKARUS-Instrumentariums liegt eindeutig in der sehr detaillierten Erfassung und Modellierung der Energietechnologien. Daneben gestattet die ausführliche Dokumentation und Darstellung einen flexiblen Eingriff in die unterschiedlichen Modellkomponenten.

6.5 Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)

6.5.1 Überblick

In diesem Abschnitt soll versucht werden, die wesentlichen Charakteristika der vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) zur Untersuchung umweltpolitischer Maßnahmen verwendeten Modellinstrumentarien darzustellen. Dies geschieht anhand der folgenden vom DIW zur Verfügung gestellten Dokumentationen:

- ISI, DIW, Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen von Emissionsminderungsstrategien, Bericht für die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages, Teilstudie C2, September 1994;
- DIW, J. Blazejczak, Simulation gesamtwirtschaftlicher Perspektiven mit einem ökonometrischen Modell für die Bundesrepublik Deutschland, Beiträge zur Strukturforschung, Heft 100, 1987;
- D. Edler et al., The Leontief-Duchin-Szyld Dynamic Input-Output Model with Reduction of idle Capacity and Modified Decision Function, in Structural Change and Economic Dynamics, vol. 4, no. 2, 1993.

Neben diesen Dokumentationen wurde zur Charakterisierung der DIW-Instrumentarien auch auf das DIW-Sonderheft Nr. 153 aus dem Jahre 1995, sowie auf die DIW-Wochenberichte Nr. 14/95 und Nr. 24/94 zurückgegriffen.

Ferner standen die Modellbauer für ein Gespräch (13. November 1995) zur Verfügung, in dem die noch offenen Fragen weitgehend geklärt werden konnten.

Bei der Charakterisierung des DIW-Instrumentariums muß zwischen der energiewirtschaftlichen Analyse, der statischen Input-Output-Analyse und dem gesamtwirtschaftlichen ökonometrischen Modell unterschieden werden.

Das gesamtwirtschaftliche ökonometrische Modell ist auf dem Stand 1987 umfänglich dokumentiert. Für die restlichen Modellteile liegt uns keine detaillierte Dokumentation vor. Es fehlt auch eine Ablaufskizze.

6.5.2 Zur Theorie

Zur energiewirtschaftlichen Analyse

Der energiewirtschaftliche Analyseteil hat zur Aufgabe, die Entwicklung des Energieverbrauchs und, in den Simulationsexperimenten, den Einfluß von steuerlichen Maßnahmen auf diesen Verbrauch zu ermitteln. Daneben werden Energiepreise als endogene Variablen berechnet. Die Energieverbräuche werden getrennt für die Sektoren

- private Haushalte,
- Kleinverbraucher,
- verarbeitendes Gewerbe,
- Verkehr und
- Elektrizitätswirtschaft

modelliert.

Die energiewirtschaftliche Analyse stützt sich im wesentlichen auf bereits vorhandene Studien, aus denen Informationen über Energieeinsparungspotentiale und Anpassungsprozesse an veränderte Energiepreise zusammengefaßt werden. Hier sind vor allem die Arbeiten der Enquete-Kommission aus den Jahren 1990 und 1995, sowie die Prognos-Studie von 1991 und 1993 zu nennen.

Das Input-Output-Modell

Das Input-Output-Modell ist nach dem Leontief-Szyld-Duchin-(LSD-) Ansatz aufgebaut. Hierin werden die Investitionen zur Akkumulierung des modellierten Kapitalstocks verwendet. Dabei wird im Gegensatz zur originalen LSD-Formulierung die Möglichkeit von Kapitalunterauslastung und Kapitalreserven berücksichtigt. Die Inputkoeffizienten sind im LSD-Modell fix, die Dynamik wird durch die endogene Modellierung des Kapitalstocks, welcher wiederum die Produktionsmöglichkeiten in den einzelnen Sektoren beeinflusst, erzeugt.

Für das Modell wird die nach 58 Sektoren disaggregierte IO-Tabelle des Statistischen Bundesamtes von 1988 verwendet. Wie in den anderen Modellen ist hier zu fragen, ob eine solche tiefe Disaggregation für die hier ins Auge gefaßte Fragestellung erforderlich ist.

Das gesamtwirtschaftliche ökonometrische Modell

Das ökonometrische DIW-Langfristmodell besteht aus 261 Definitionsgleichungen und 120 Verhaltensgleichungen (Stand: Januar 1989). Es arbeitet mit Jahresdaten, wobei über den Zeitraum 1970 bis 1990 geschätzt wird.

Das Modell besteht im wesentlichen aus den Teilen

- Arbeitsmarkt,
- Gütermarkt,
- Einkommensverteilung,

- Umverteilung,
- Vermögensbildung und
- Staat.

Es handelt sich um ein interdependentes makroökometrisches Modell, das bisher überwiegend für allgemeine wirtschaftspolitische Simulationen verwendet wurde (z.B. für die Simulation von Beschäftigungsprogrammen, Lohnszenarien, etc.).

Die Verhaltensgleichungen sind linear in den Parametern, die über OLS geschätzt wurden.

Das Modell ist seit einiger Zeit nicht mehr aktualisiert worden, insbesondere wurde die Wiedervereinigung nicht modelliert, so daß das DIW-Instrumentarium für Aussagen für den Zeitraum nach 1989 in der derzeitigen Form nur bedingt anwendbar ist.

Auf eine umfassende Endogenisierung der Modellvariablen wurde in der Grundform verzichtet, dies kann für spezielle Anwendungen jedoch gegebenenfalls verändert werden.

Ungleichgewichte werden im gesamtwirtschaftlichen ökonomischen Modell des DIW über Anpassungsprozesse modelliert.

Exogene Variablen

Die wichtigsten exogenen Variablen sind das Arbeitsangebot, außenwirtschaftliche Variablen und Teile der staatlichen Nachfrage.

Zur Interdependenz Ökologie/Technik/Ökonomie

Das DIW-Modellinstrumentarium enthält keinen eigentlichen Umweltteil. Technische Neuerungen können nur in dem Maße eingestellt werden, wie sie heute schon absehbar sind. Eine Modellierung des technischen Fortschritts findet nicht statt.

6.5.3 Zur Methodik

Das Modellinstrumentarium des DIW ist durch einen Methodenpluralismus gekennzeichnet. Die einzelnen Modelle werden nicht zu einem konsistenten Gesamtmodell integriert, sondern durch sogenannte soft-links miteinander verbunden. Dabei wird von der These ausgegangen, daß die einzelnen Modelle ihre Stärken in der Modellierung unterschiedlicher Variablen haben, und deshalb Schwächen des einen Modells nicht durch feste Verbindung auf das andere Modell übertragen werden sollten. Die Modelle werden in Simulationsläufen „per Hand“ so weit modifiziert, daß ihre Aussagen tendenziell in

dieselbe Richtung weisen. Für die Gesamtaussage werden dann aus den einzelnen Modellen die Teile verwandt, die als besonders verlässlich angesehen werden.

Ökonometrie

Die Parameter des interdependenten Makromodells werden mit Jahresdaten über den Zeitraum 1970 bis 1990 geschätzt. Obwohl das Modell Interdependenzen aufweist, wird es mit der Methode der Kleinsten Quadrate (OLS) geschätzt. Wichtigster Punkt bei der Spezifikation der Modellgleichungen war die theoretische Plausibilität. Als Gütemaße der Spezifikation werden R^2 und die Durbin-Watson-Statistik angegeben. Der genaue Spezifikationsvorgang ist nicht dokumentiert.

Zur Datenbasis

Das DIW-Modell greift im wesentlichen auf Daten der amtlichen und der eigenen VGR zurück, nutzt für den Arbeitsmarkt-Teil Daten des IAB und für den IO-Modellteil die amtlichen IO-Tabellen sowie eigene Berechnungen.

6.5.4 Zur Simulation

Im Oktober 1993 erhielt das DIW von Greenpeace Deutschland e.V. den Auftrag, eine Studie zum Thema „Wirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform“ zu erstellen. Darin sollten die Folgen umfangreicher Energiebesteuerungen und gleichzeitiger Rückerstattung der Steuer an anderer Stelle untersucht werden.

Mit dem DIW-Sonderheft Nr. 153 aus dem Jahre 1995 liegen die Ergebnisse dieser Studie vor. Darin wird eine Steuerreform empfohlen, die die privaten Nutzungskosten ökologischer Ressourcen den gesellschaftlichen Nutzungskosten gleichstellt und so zu einer effizienten Allokation von Umweltressourcen führen soll. Die ökologische Steuerreform soll also als marktkonformes Mittel der Umweltpolitik verstanden werden.

Konkret wird die Einführung einer Energiesteuer auf Kohle, Erdgas, Mineralöl und Strom untersucht, die die Energiepreise bis zum Jahr 2009 um 45% bis 267% (je nach Energieträger) ansteigen läßt. Durch diese Maßnahme verringert sich der CO₂-Ausstoß bis zum Ende der Simulationsperiode um 18%.

Die Autoren der Greenpeace-Studie rechnen mit steigenden Staatseinnahmen durch die Einführung der Ökosteuern. Diese sollen durch eine Pro-Kopf-Bonuszahlung und eine Verringerung der Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung wieder ausgeschüttet werden.

Als gesamtwirtschaftliche Ergebnisse einer ökologischen Steuerreform sind – je nach Simulationsvariante – eine gegenüber dem Referenzszenario um 600.000 erhöhte Beschäftigung, leicht sinkende Preise und ein nahezu unverändertes Inlandsprodukt festzuhalten.

6.5.5 Vorläufige Beurteilung

Ein wichtiges Charakteristikum ist die Endogenisierung des Kapitalstocks im Input-Output-Modell durch den LSD-Ansatz, mit der Möglichkeit der expliziten Modellierung seiner Unterauslastung.

Hinsichtlich des Methodenpluralismus des DIW-Modellinstrumentariums ist anzumerken, daß durch die Verwendung unterschiedlicher Modelle für die Generierung der verschiedenen Teile der Ergebnisse eines Simulationsexperiments diese Ergebnisse inkonsistent sein können.

Positive Argumente liegen vor allem darin, daß „Modell-Fehler“ leichter erkannt und behoben werden können. Entscheidende Bedeutung kommt bei einer solchen Vorgehensweise aber einer detaillierteren Dokumentation zu.

Für eine aktuelle Anwendung müßte das DIW-Modellinstrumentarium in erheblichem Maße aktualisiert werden, insbesondere müßte das Modell zu einem Gesamtdeutschland-Modell erweitert werden. Nötig wäre auch eine Aktualisierung des Schätz- und Spezifikationszeitraums, sowie gegebenenfalls daraus resultierende Veränderungen der Modellspezifikation.

Auch im DIW-Modellinstrumentarium stellt sich die Frage, ob die gewählte feine Disaggregation für die hier interessierende Fragestellung notwendig ist oder ob andere Aggregationsgrade geeigneter wären.

Ferner sollte überlegt werden, ob eine Einbeziehung variabler Inputkoeffizienten in den LSD-Ansatz nicht möglich wäre.

7 Ein Simulationsexperiment

7.1 Vorbemerkung

Bei der Festlegung des Simulationsexperiments wurden keine Vorgaben über den Verlauf der exogenen Variablen gemacht: Da die Modelle sich in der Einstellung exogener Variablen wesentlich unterscheiden und dies für die Prognosequalität von Bedeutung ist, sollten die Setzungen der Verläufe der exogenen Variablen durch die „Modellbauer“ zur Einschätzung mit herangezogen werden. Es war also zu untersuchen, ob geeignete Setzungen für die exogenen Variablen gelingen, d.h. ob z.B. mögliche Beziehungen zwischen den exogenen Variablen berücksichtigt werden.

Zunächst sollte der Verlauf der interessierenden modellendogenen Variablen (s.u.) ohne Simulationsexperiment errechnet werden. Aus diesem (oder aus exogenen Setzungen) war insbesondere die Aufteilung der Staatsausgaben zu entnehmen, da diese für die Setzung der Simulationsszenarien benötigt wird (s.u.).

Zwei Simulationsszenarien sollten gerechnet werden: eine historische Simulation, bei der angenommen wird, daß die unten beschriebene Maßnahme am 1.1.1980 eingeführt wurde, und eine prognostische, in der angenommen wird, daß die Maßnahme am 1.1.1999 eingeführt wird.

7.2 Das Simulationsszenario

Untersuchungsgegenstand der Simulationen war die Einführung einer Energiesteuer, die eine Verminderung des Ausstoßes klimarelevanter Gase zum Ziel hat. Mit Bedacht wurde diese von allen Modellen relativ leicht aufzunehmende Simulation spezifiziert, um eine möglichst große Beteiligung am Simulationsexperiment zu erreichen.

Diese Steuer sollte wie folgt spezifiziert sein:

- als spezielle Verbrauchsteuer auf Energie, die nach dem Sonderbelastungsprinzip als Emissionsabgabe ausgestaltet ist.
- Steuerobjekt sind die fossilen Energieträger; Steuersubjekt sind die inländischen Produzenten und Importeure.
- Steuerbemessungsgrundlage ist der CO₂-Ausstoß bei Verwendung des Energieträgers zur Energieerzeugung. (Entsprechende Daten sind erhältlich über Reg. Dir. Radermacher, email: Stba-ugr@t-online.de.)

- Steuerfrei ist die Ausfuhr von Energieträgern und das Verbringen von Energieträgern in einen anderen Herstellungsbetrieb zur weiteren Verarbeitung, ausgenommen der Energieerzeugung. D.h. die Veredelung von Energieträgern wird nicht besteuert.
- Die Herstellungs- und Importbetriebe haben Buchführungs- und Anmeldepflicht für fossile Energieträger, die Anmeldung erfolgt monatlich bei den Zollbehörden, d.h. es kann zusätzlicher Verwaltungsaufwand auftreten.
- Im prognostischen Simulationsexperiment wird die Steuer zum 1.1.1999 mit einem Steuersatz von 10 DM/t CO₂ eingeführt. Der Steuersatz steigt bis 31.12.2009 jährlich linear bis auf 210 DM/t CO₂.⁶ Die Steuersätze sind in Preisen von 1995 angegeben, d.h. sie müssen mit dem Großhandelspreisindex des entsprechenden Jahres multipliziert werden, um die nominalen Steuersätze zu erhalten.
- Bei der historischen Simulation soll davon ausgegangen werden, daß die beschriebene Energiesteuer zum 1.1.1980 in gleicher (realer) Höhe eingeführt wurde und der Steuersatz entsprechend gestiegen ist (bis zum 31.12.1990).

Von etwaigen Konflikten der beschriebenen Maßnahme mit dem Verbrauchsteuer-Binnenmarktgesetz sollte abgesehen werden (vgl. Tipke/Lang, *Steuerrecht*, 14. Aufl., Otto Schmidt Verlag, Köln, 1994, §15, Rz. 2).

7.3 Kompensation

Aus dem modellendogenen Verlauf der Modelle ohne Simulationseingriff oder, wo diese Variablen modellexogen sind, aus den angenommenen Setzungen im Szenario ohne Simulationseingriff, ist die Aufteilung der Staatseinnahmen auf die verschiedenen Verwendungszwecke zu entnehmen.

Es sollten 5 verschiedene Kompensationsszenarien gerechnet werden:

1. ohne jede Kompensation (d.h. Thesaurierung des gesamten Steueraufkommens);
2. mit Kompensation:

⁶Diese massive Preiserhöhung mußte eingestellt werden, um die in der gegenwärtigen Diskussion angestrebte CO₂-Reduktion (ca. 20%) in etwa erreichen zu können. Dabei ist die Anmerkung am Ende von Abschnitt 6.1.5 (S. 27), daß Simulationsergebnisse, die aufgrund von im Schätzzeitraum nicht beobachteten Variablen-Variationen abgeleitet wurden, in ihrer generellen Aussagefähigkeit beeinträchtigt sind, zu beachten.

- (a) Verwendung des gesamten Steueraufkommens zur Reduktion der Staatsverschuldung;
- (b) Verwendung des gesamten Steueraufkommens zur Reduktion der Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung;
- (c) Verwendung des gesamten Steueraufkommens zur Reduktion der Arbeitnehmerbeiträge zur Sozialversicherung;
- (d) Verwendung von 50% des Steueraufkommens zur Reduktion der Staatsverschuldung, jeweils 25% zur Reduktion der Arbeitgeber- bzw. Arbeitnehmerbeiträge zur Sozialversicherung.

7.4 Dokumentation

Die Dokumentation der Simulation sollte

- eine kurze Beschreibung der Einstellung der Szenarien in das Modell,
- die Festlegung der exogenen Variablen,
- Angaben über eventuell bei der Simulation aufgetretene Probleme

enthalten. In der Ergebnisdarstellung sollten folgende Variablen dokumentiert werden:

- Bruttoinlandsprodukt (BIP) in Preisen von 1995,
- Pro-Kopf-BIP in Preisen von 1995,
- Inflationsrate des Konsumentenpreisindex und des Großhandelspreisindex,
- Arbeitslosenrate,
- Außenhandelsüberschuß bzw. -defizit in Preisen von 1995,
- Staatsquote in der Definition des Statistischen Bundesamtes,
- Anteil des Einkommens aus unselbständiger Arbeit am Nettoinlandsprodukt zu Faktorkosten,
- Einzel- und Großhandelspreise für möglichst viele Energieträger,
- Emissionsmengen für möglichst viele Luftschadstoffe.

Für die historische Simulation waren der tatsächliche, der geschätzte und der simulierte Verlauf zu dokumentieren, für die prognostische Simulation der geschätzte und der simulierte Verlauf.

8 Dokumentation der Modellsimulationen

In diesem Abschnitt werden die mit Hilfe der verschiedenen Modelle errechneten Ergebnisse der Simulationsexperimente beschrieben. Besonderes Augenmerk wird auf

- wichtige makroökonomische Variablen,
- Luftschadstoff-Emissionsmengen und
- Energieträger-Preise

gelegt.

Dabei soll die Eignung der betrachteten Modelle für Simulationsexperimente der vorliegenden Art untersucht werden, insbesondere die Möglichkeit der angemessenen Erfassung der zu betrachtenden wirtschaftspolitischen Maßnahme und ihre „Übersetzung“ in Modellvariablen.

8.1 Dokumentation der Simulationsergebnisse

8.1.1 Beteiligung

Von den fünf am Modellvergleich beteiligten Modellen liegen für vier Ergebnisse von Simulationsexperimenten vor; das DIW hat auf eine Beteiligung verzichtet.

Bei den Ergebnissen des IKARUS-Modells handelt es sich lediglich um die Neuinterpretation einer bereits durchgeführten Simulation, der allerdings eine andere Fragestellung zugrundelag.

Vom RWI wurden nur Ergebnisse für den Simulationszeitraum 1980-1990 geliefert. Von den erbetenen fünf Kompensationsszenarien wurden nur zwei simuliert.

Das ZEW stellte Simulationsergebnisse nur für den Simulationszeitraum 1999-2009 bereit und dies ebenfalls nur für zwei der fünf Kompensationsszenarien. Zusätzlich legte das ZEW Simulationsergebnisse für ein Simulationsexperiment vor, in dem die Einführung einer EU-weiten CO_2 -Steuer simuliert wird.

Lediglich vom Osnabrücker PANTA RHEI-Modell liegen Ergebnisse für beide Zeiträume und für alle vorgeschlagenen Kompensationsszenarien vor. Auch ist es das einzige Modell, für das alle für den Modellvergleich erwünschten Variablen und Aussagen zur Anpassungsqualität (Simulation 0) dokumentiert sind.

Tabelle 1 zeigt, welche Simulationsergebnisse für welche Modelle ermittelt wurden.

	Anpassung	1980-1990					1999-2009				
	0	1	2a	2b	2c	2d	1	2a	2b	2c	2d
UniOS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
RWI	-	++	-	++	-	-	-	-	-	-	-
ZEW	-	-	-	-	-	-	++	++	-	-	-
IKARUS	-	-	-	-	-	-	-	+++	-	-	-
DIW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

+: Ergebnisse liegen nicht für alle Variablen vor

+: wie +, außerdem nur für einen Zeitpunkt

Tabelle 1: Übersicht über die von den fünf Instituten durchgeführten Simulationsexperimente

Es sei an dieser Stelle noch einmal hervorgehoben, daß die Mitarbeit der Institute im gesamten Projekt und insbesondere auch am Simulationsexperiment auf freiwilliger Basis und ohne jede finanzielle Unterstützung erfolgte.

Von den Modellverantwortlichen sind z.T. umfängliche Kommentierungen den Simulationsergebnissen beigelegt worden. Diese Ausführungen sind in Anhang B eingestellt worden.

Die Absicht, die mit dem Modellvergleich verbunden war, bestand darin,

1. zu überprüfen, wie weit die betrachteten Modelle in der Lage sind, die als typisch für Fragestellungen der UGR betrachtete vorgeschlagene Simulation durchzuführen;
2. festzustellen, welche der als relevant erachteten Variablen von den Modellen hinreichend genau abgebildet werden können und ob die simulierten Verläufe „plausibel“ sind;
3. aus dem Spektrum der vorliegenden Simulationsergebnisse Rückschlüsse auf die Unsicherheit der Aussagen zu ziehen, die aus der Wahl des Modells bzw. Modelltyps entsteht.

Es soll nochmals betont werden, daß die vorgeschlagene Simulation und die ausgewählten Variablen allein im Hinblick auf diese Absicht ausgewählt wurden.

8.2 Simulationsergebnisse

In diesem Abschnitt sind die wichtigsten Resultate der elf Simulationen graphisch dargestellt (vgl. die Graphiken auf den folgenden Seiten). Da nur für das Osnabrücker Modell Ergebnisse für alle Simulationen vorliegen, enthalten die Abbildungen regelmäßig die mit diesem Modell berechneten Werte;

in allen Fällen, wo auch Ergebnisse für andere Modelle ermittelt wurden (ex post Simulationen 1, 2b: RWI, ex ante Simulationen 2a, 2b: ZEW) sind diese den Osnabrücker Resultaten gegenübergestellt worden.

Bei den sich auf Simulation 0 (zur Ermittlung der Anpassungsqualität) beziehenden Graphiken werden als Kenngrößen (jeweils beobachteter simulierter Wert) ausgewiesen:

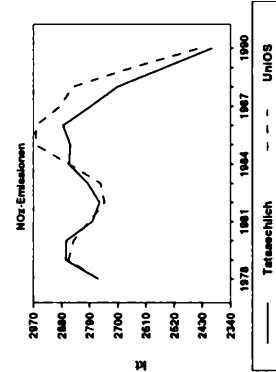
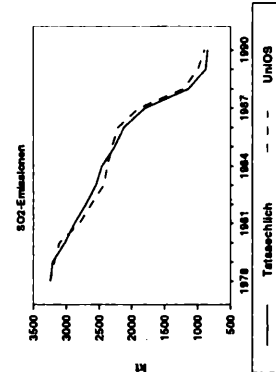
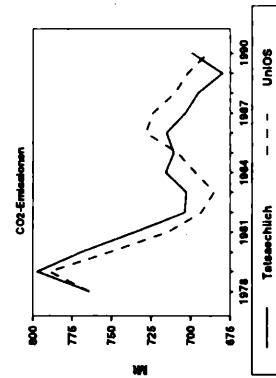
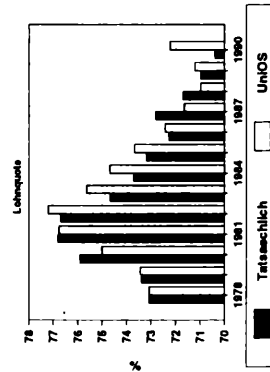
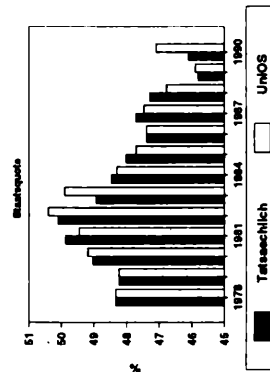
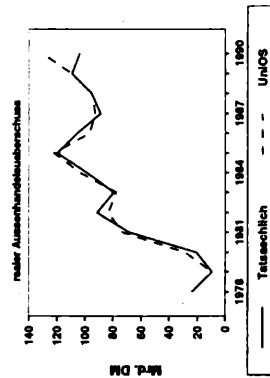
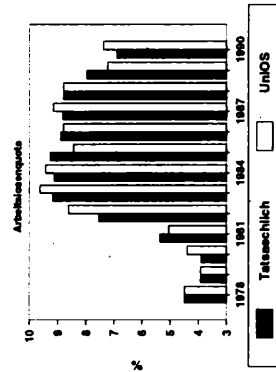
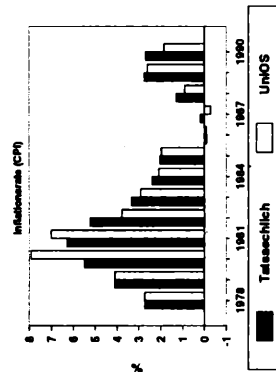
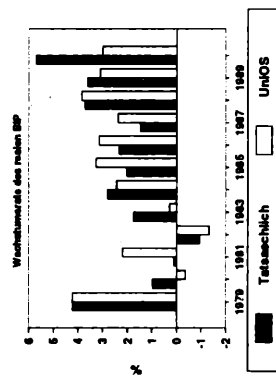
- die Wachstumsrate des realen BIP,
- die Inflationsrate (gemessen am Preisindex für Verbrauchsausgaben),
- die Arbeitslosenquote,
- der reale Außenhandelsüberschuß,
- die Staatsquote,
- die Lohnquote,
- CO_2 -, SO_2 - und NO_x -Emissionen,
- Energievorleistungspreise für Elektrizität, verteilte Gase, Benzin, Diesel und Öl.

Bei den übrigen zehn „eigentlichen Simulationen“ sind immer die Differenzen zwischen den ohne und mit Simulationseingriff erzeugten Kenngrößen ausgewiesen, und zwar wiederum für die oben genannten Variablen (bei der ex post Simulation 1 zusätzlich auch für die über das RWI-Modell ermittelten Energiepreise für Stein- und Braunkohle sowie Kerosin).

Eine Einschätzung der Simulationsergebnisse findet sich im anschließenden Abschnitt 8.3.

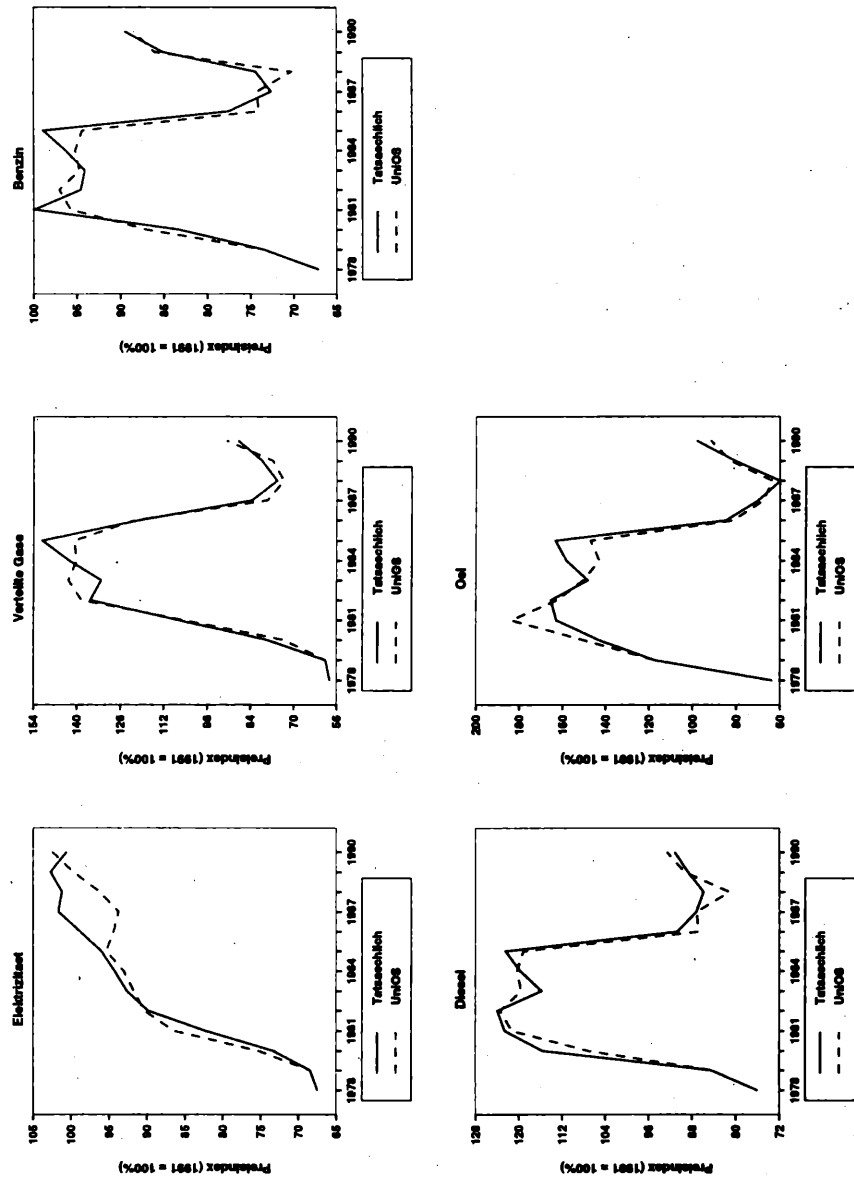
Simulationsexperiment 0 (Anpassungsqualitaet) (nur UnIOS)

Makrovariablen und Emissionen



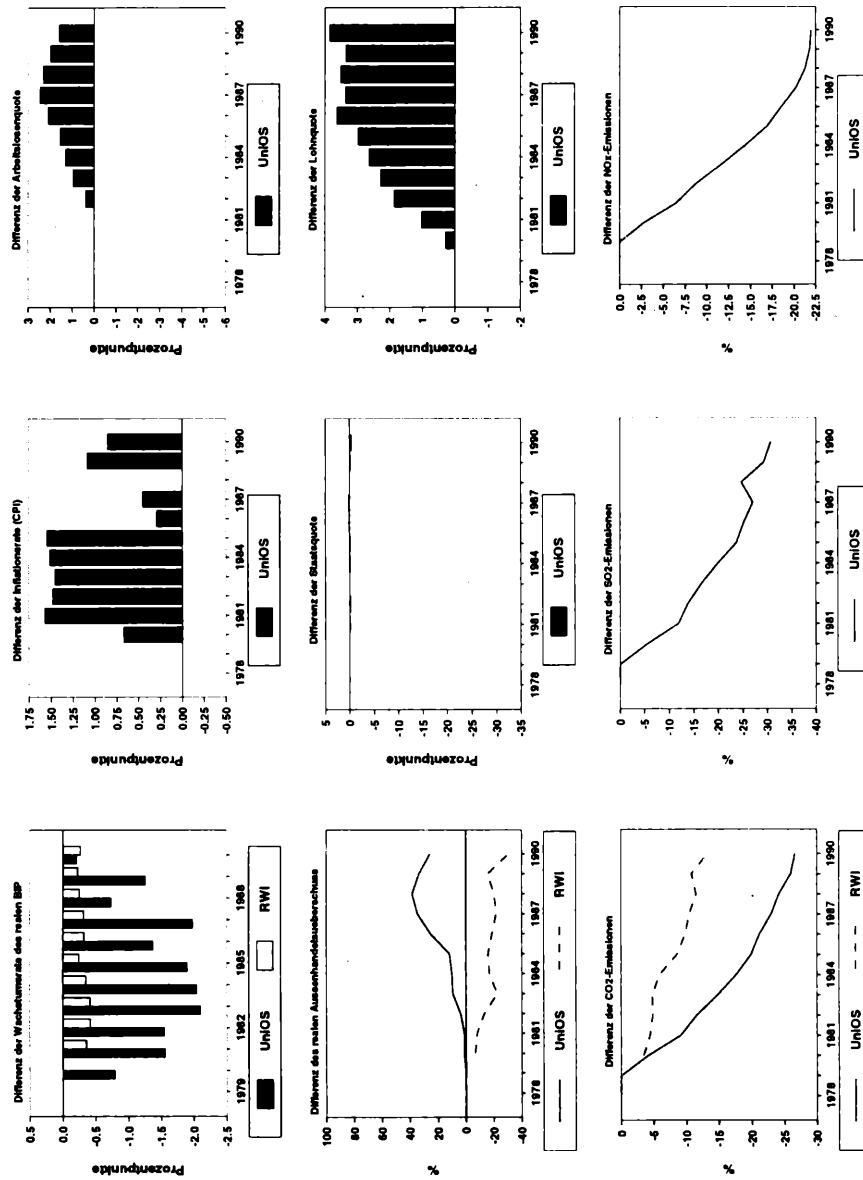
Simulationsexperiment 0 (Anpassungsqualitaet) (nur UniOS)

Energiepreise (Vorleistungen)



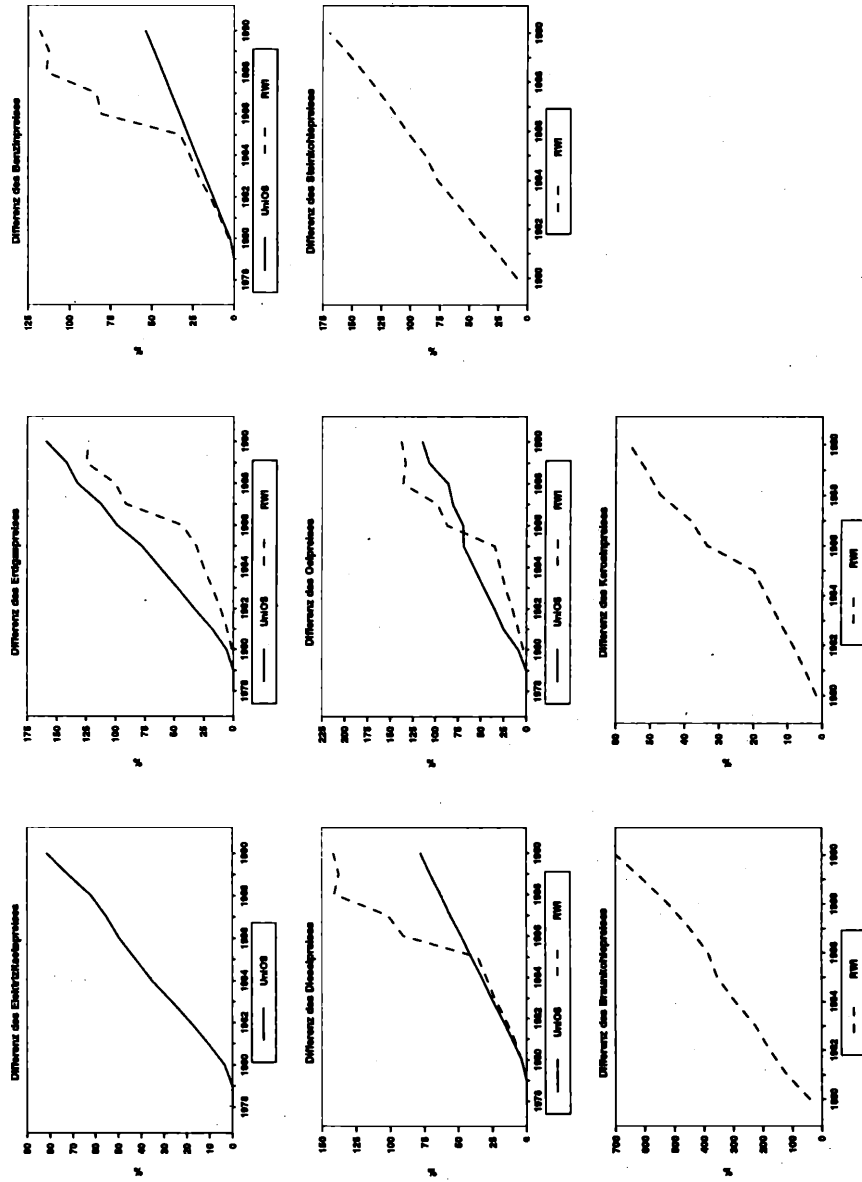
Simulationsexperiment 1 (ex post) (UniOS und RWI)

Effekt auf Makrovariablen und Emissionen



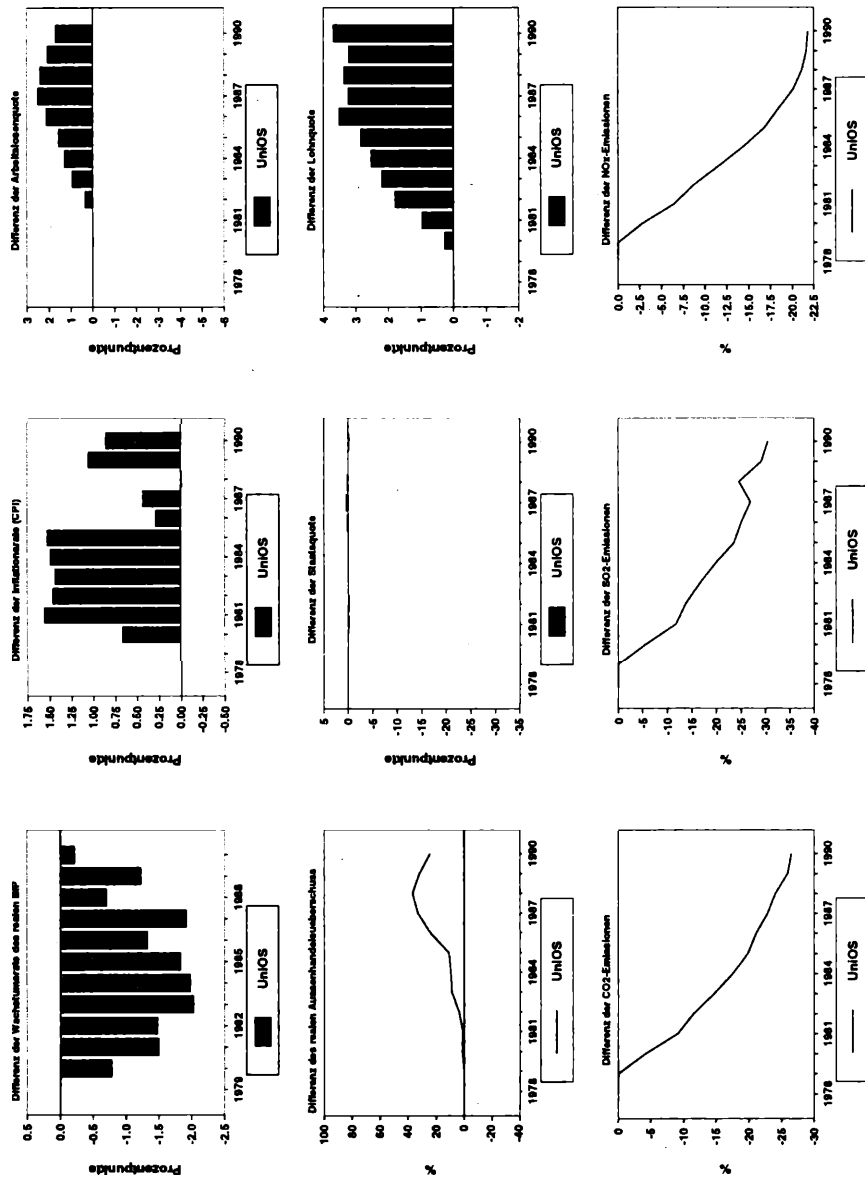
Simulationsexperiment 1 (ex post) (UnIOS und RWI)

Effekt auf Energiepreise (Vorleistungen)



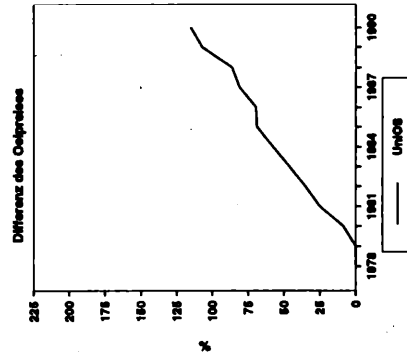
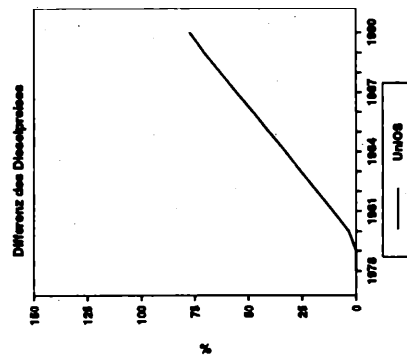
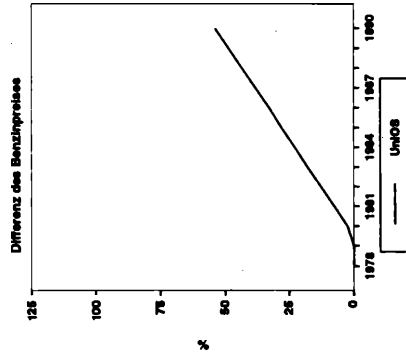
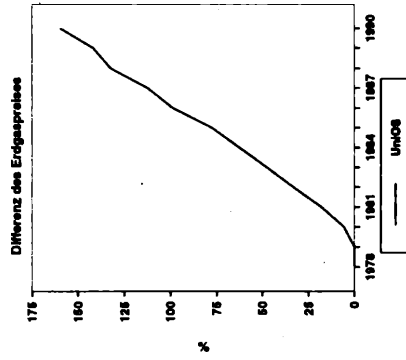
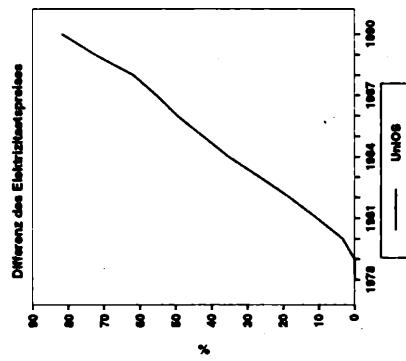
Simulationsexperiment 2a (ex post) (nur UnIOS)

Effekt auf Makrovariablen und Emissionen



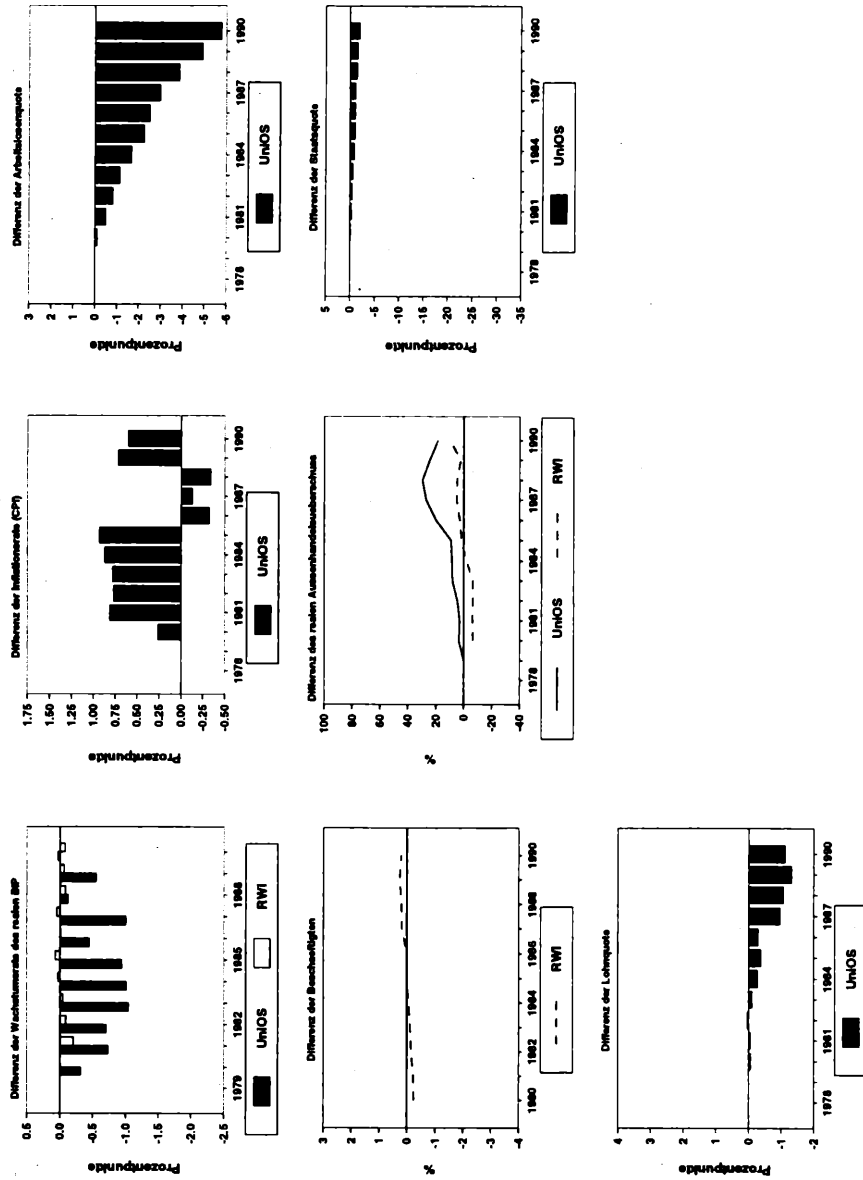
Simulationsexperiment 2a (ex post) (nur UniOS)

Effekt auf Energiepreise (Vorleistungen)



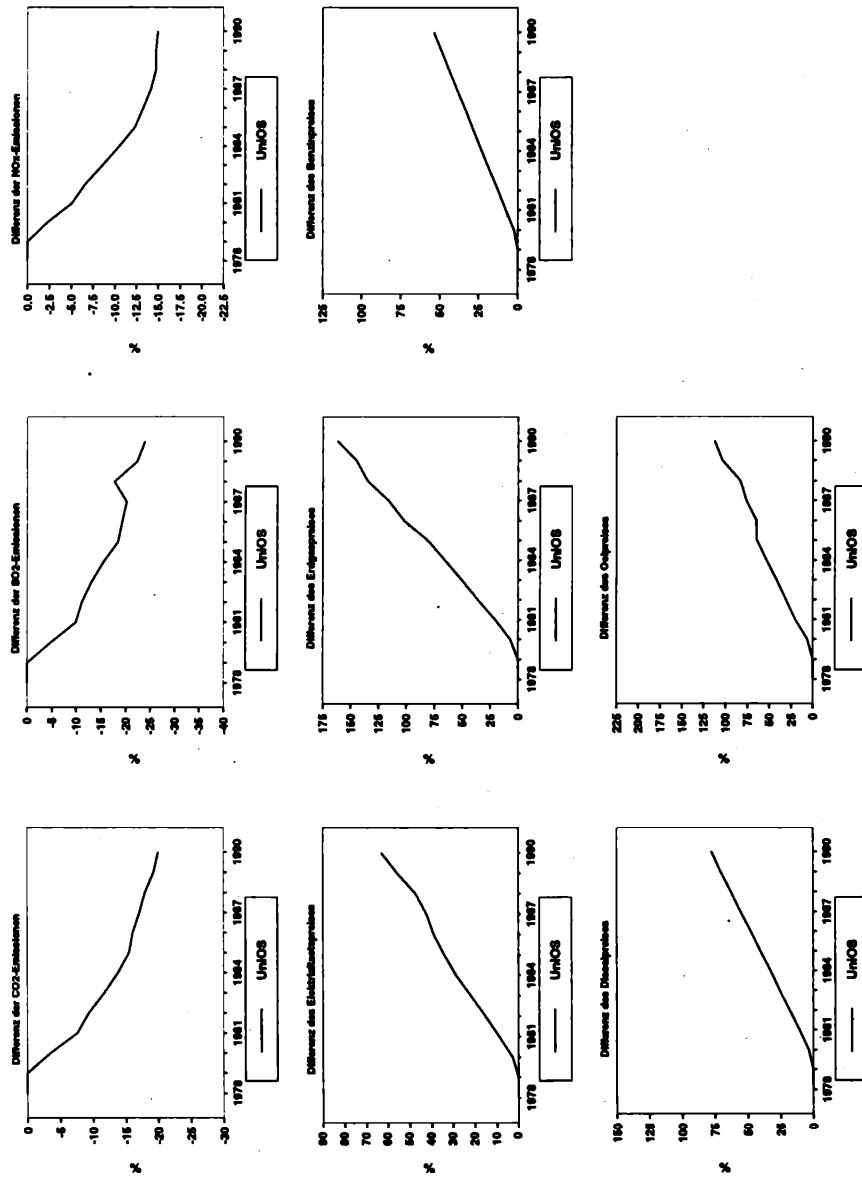
Simulationsexperiment 2b (ex post) (UnIOS und RWI)

Effekt auf Makrovariablen



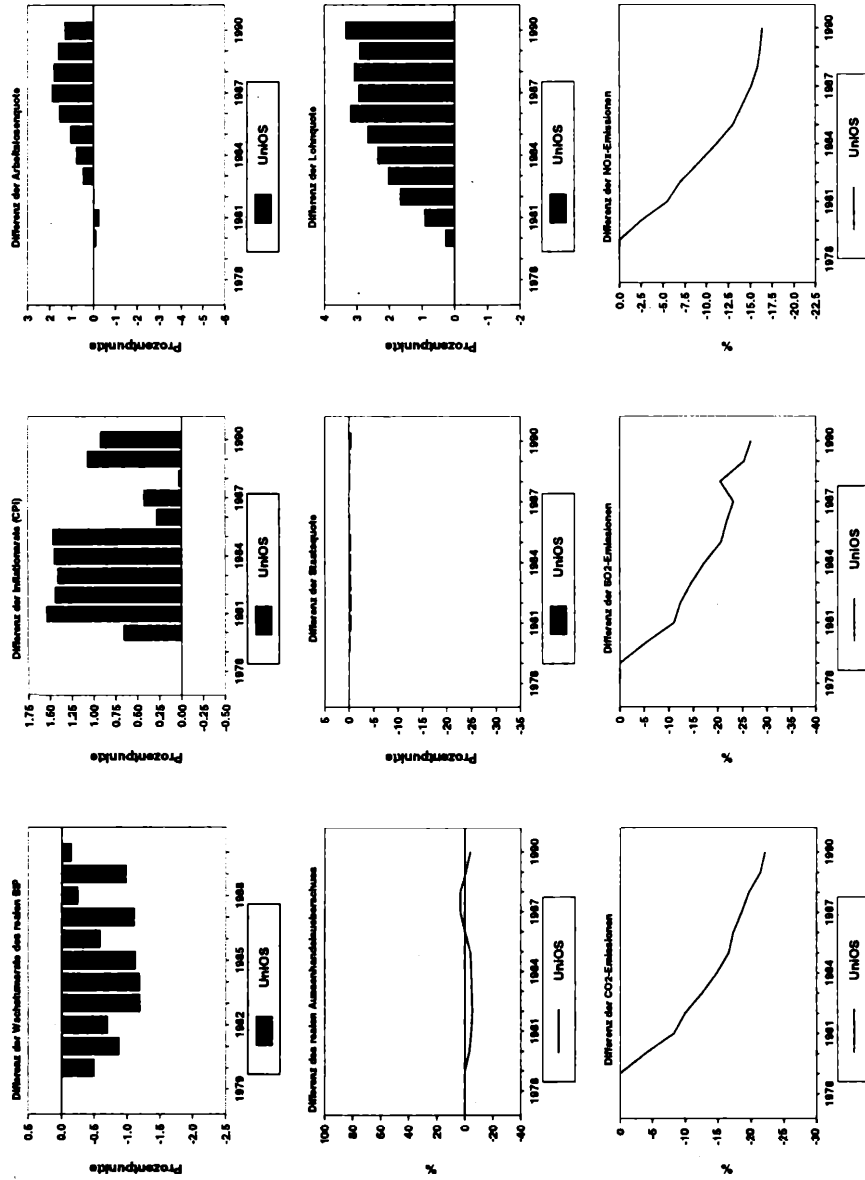
Simulationsexperiment 2b (ex post) (UnIOS und RWI)

Effekt auf Emissionen und Energiepreise (Vorleistungen)



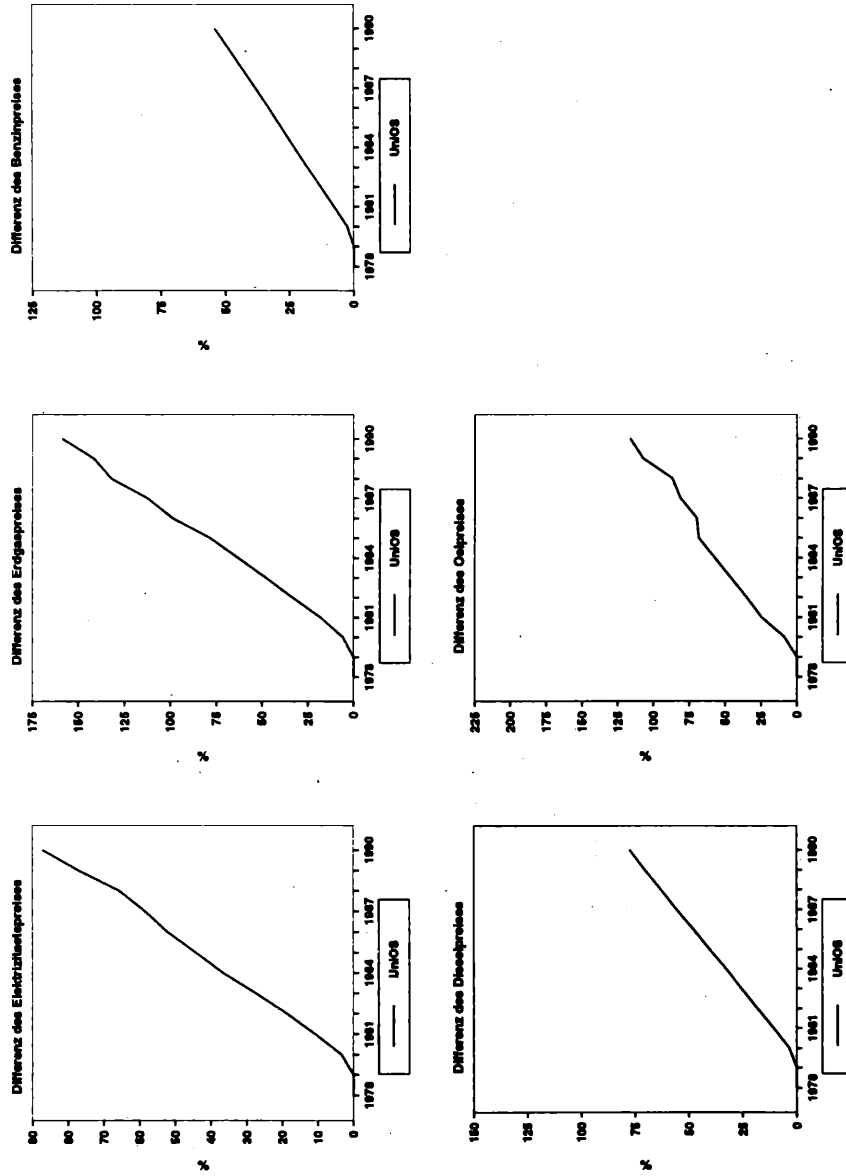
Simulationsexperiment 2c (ex post) (nur UnIOS)

Effekt auf Makrovariablen und Emissionen



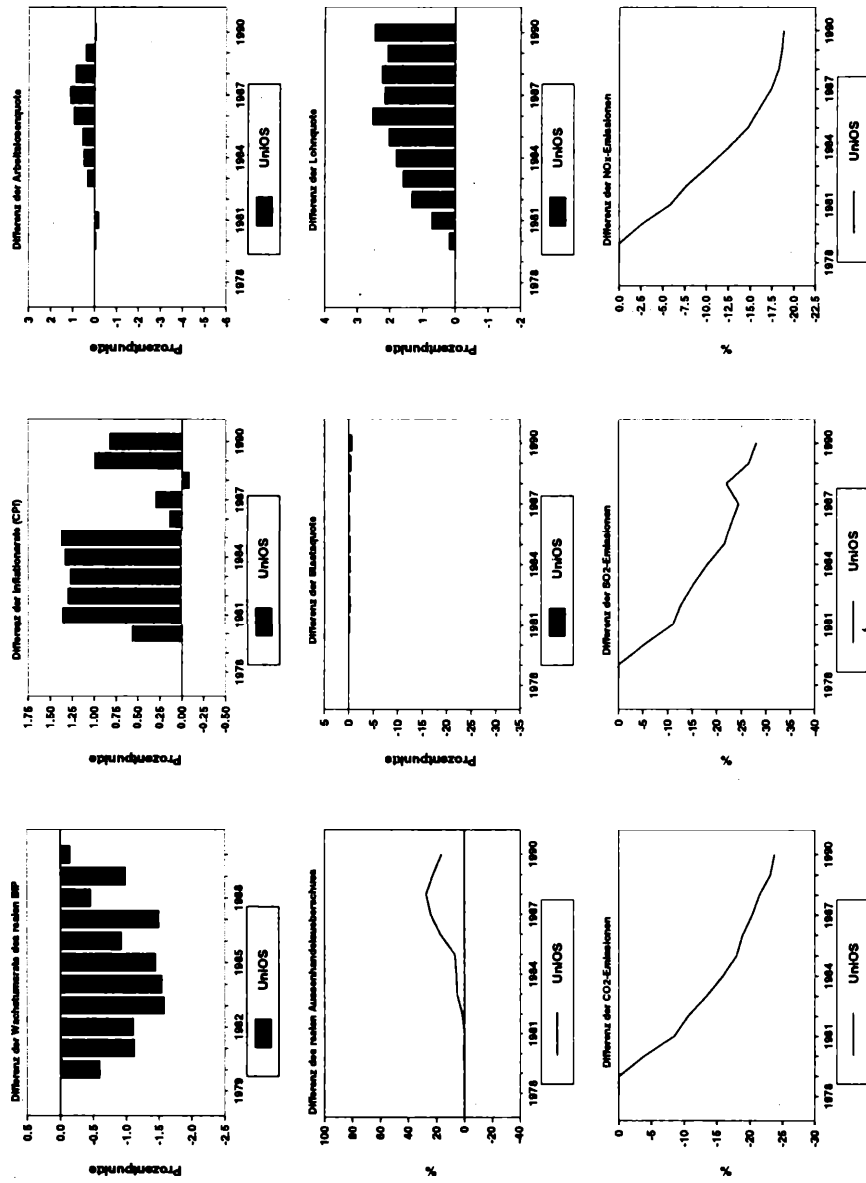
Simulationsexperiment 2c (ex post) (nur UniOS)

Effekt auf Energiepreise (Vorleistungen)



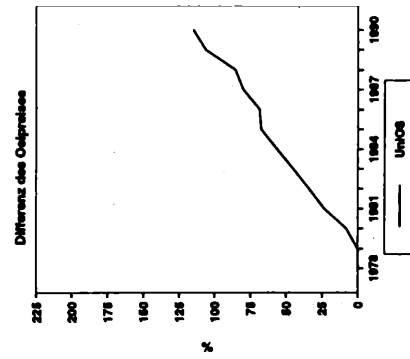
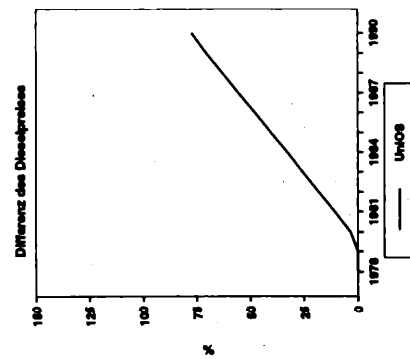
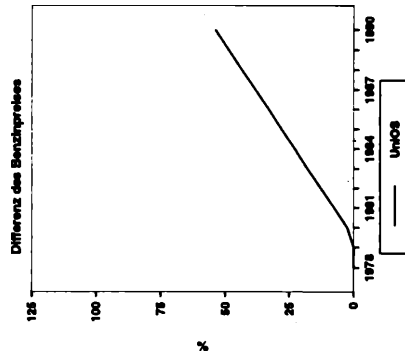
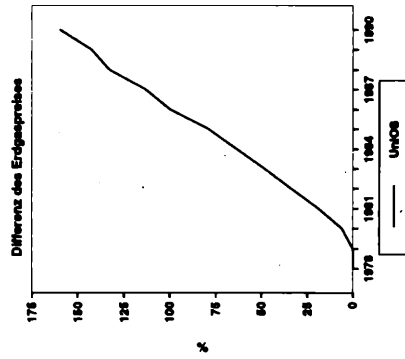
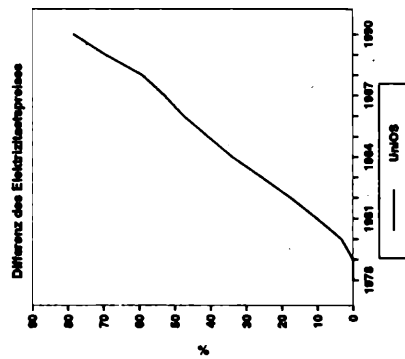
Simulationsexperiment 2d (ex post) (nur UniOS)

Effekt auf Makrovariablen und Emissionen



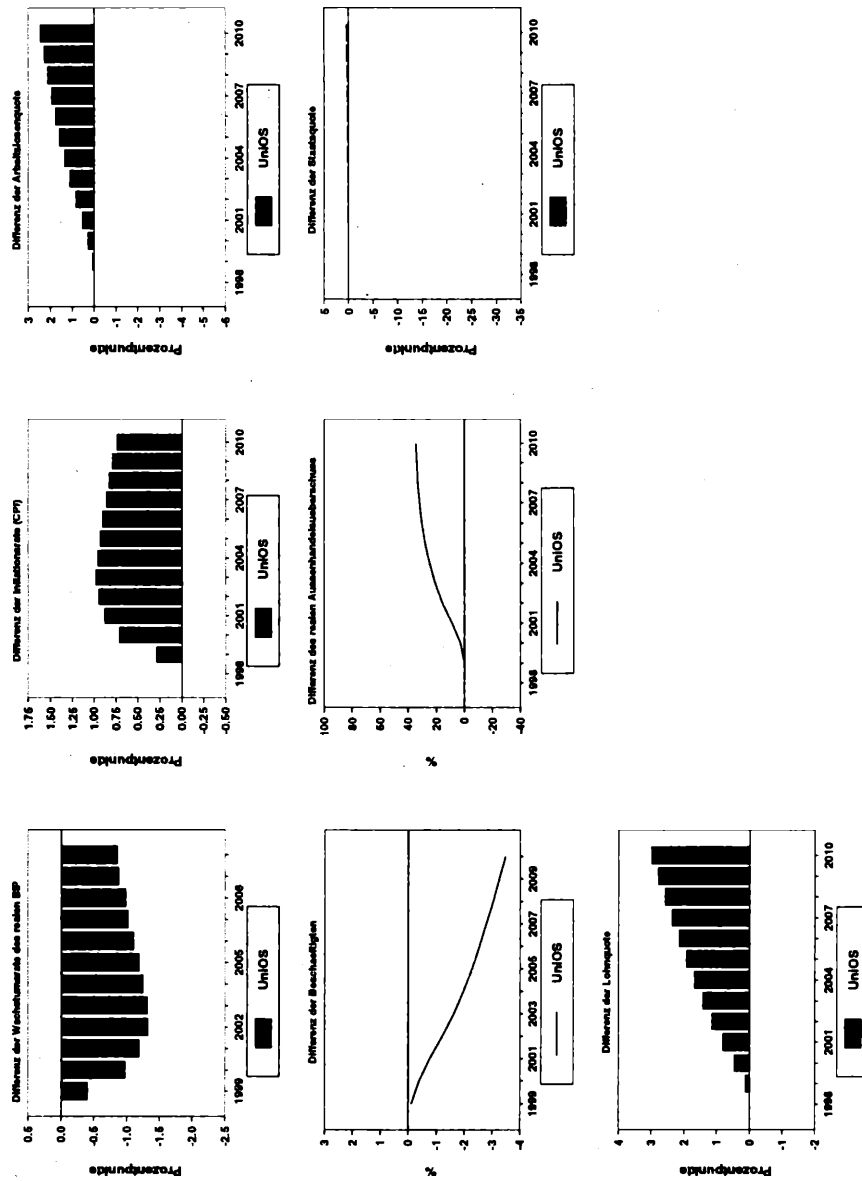
Simulationsexperiment 2d (ex post) (nur UniOS)

Effekt auf Energiepreise (Vorleistungen)



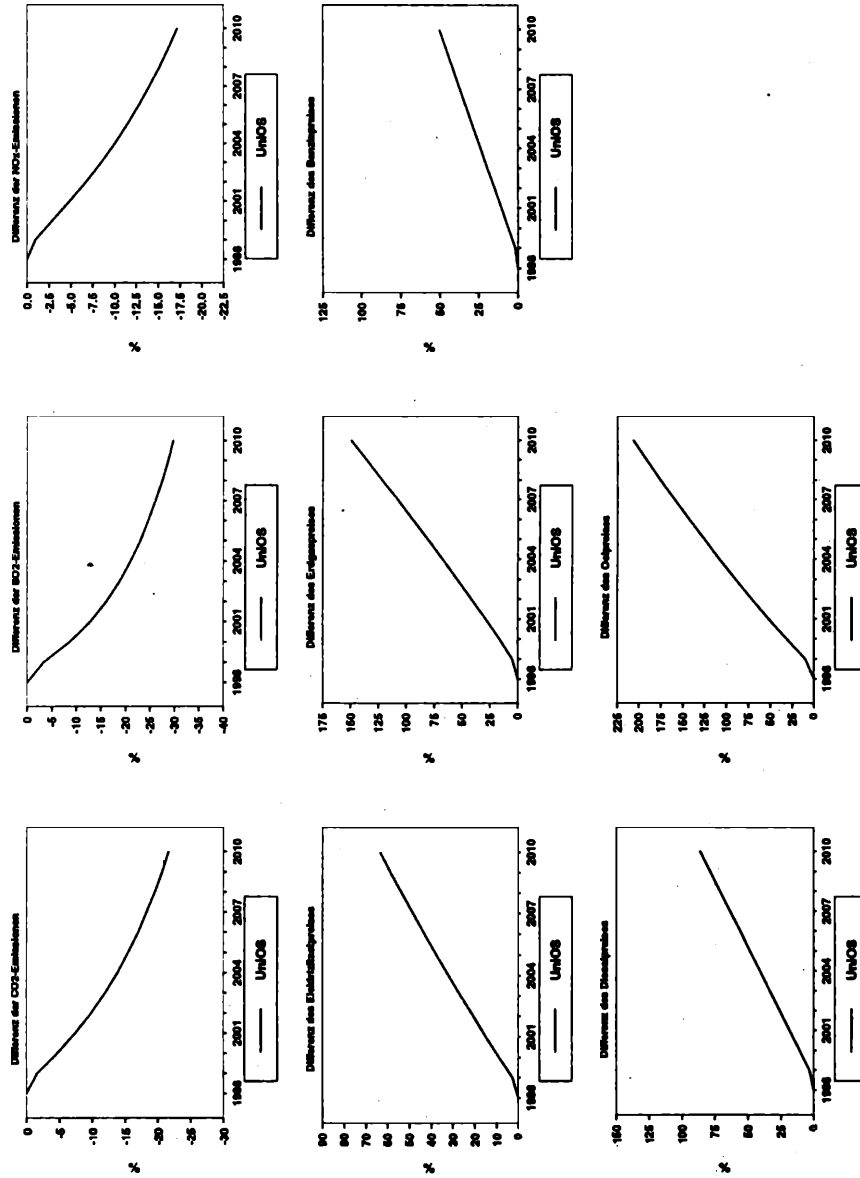
Simulationsexperiment 1 (ex ante) (nur UniOS)

Effekt auf Makrovariablen



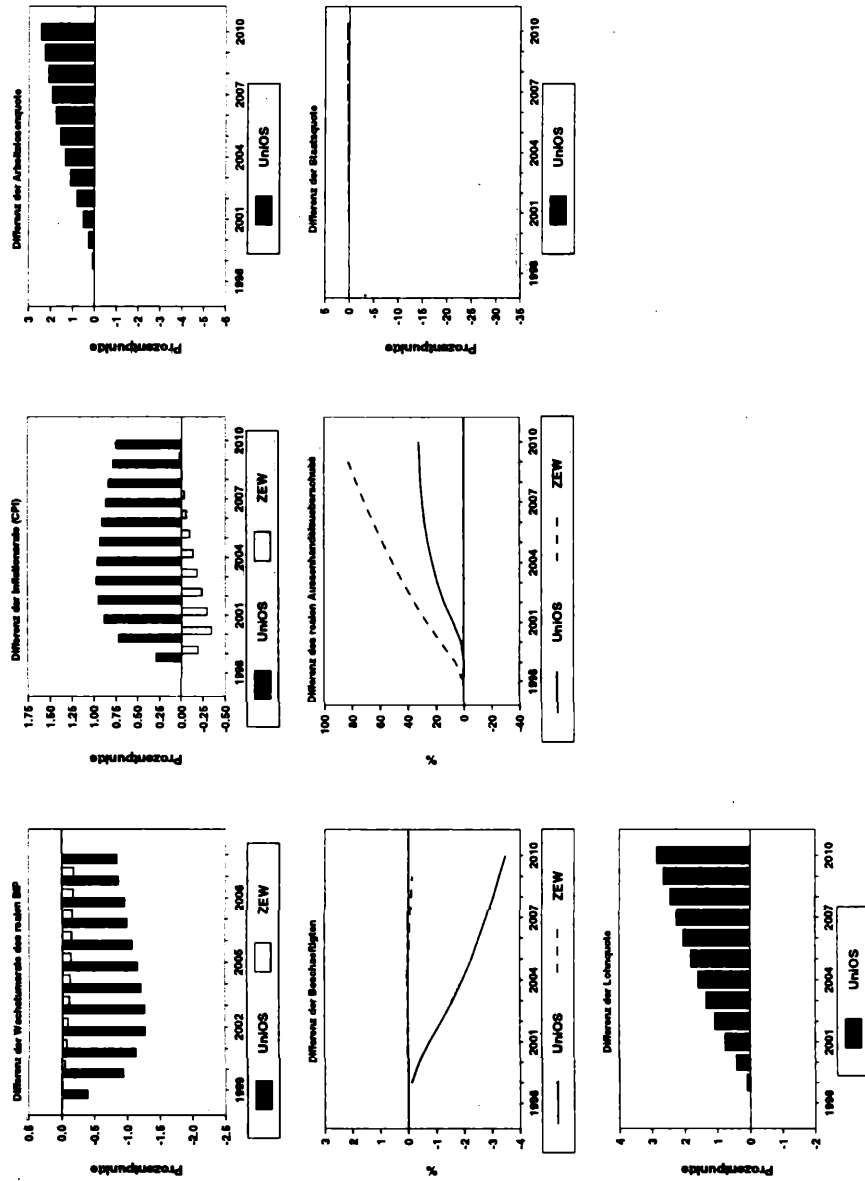
Simulationsexperiment 1 (ex ante) (nur UniOS)

Effekt auf Emissionen und Energiepreise (Vorleistungen)



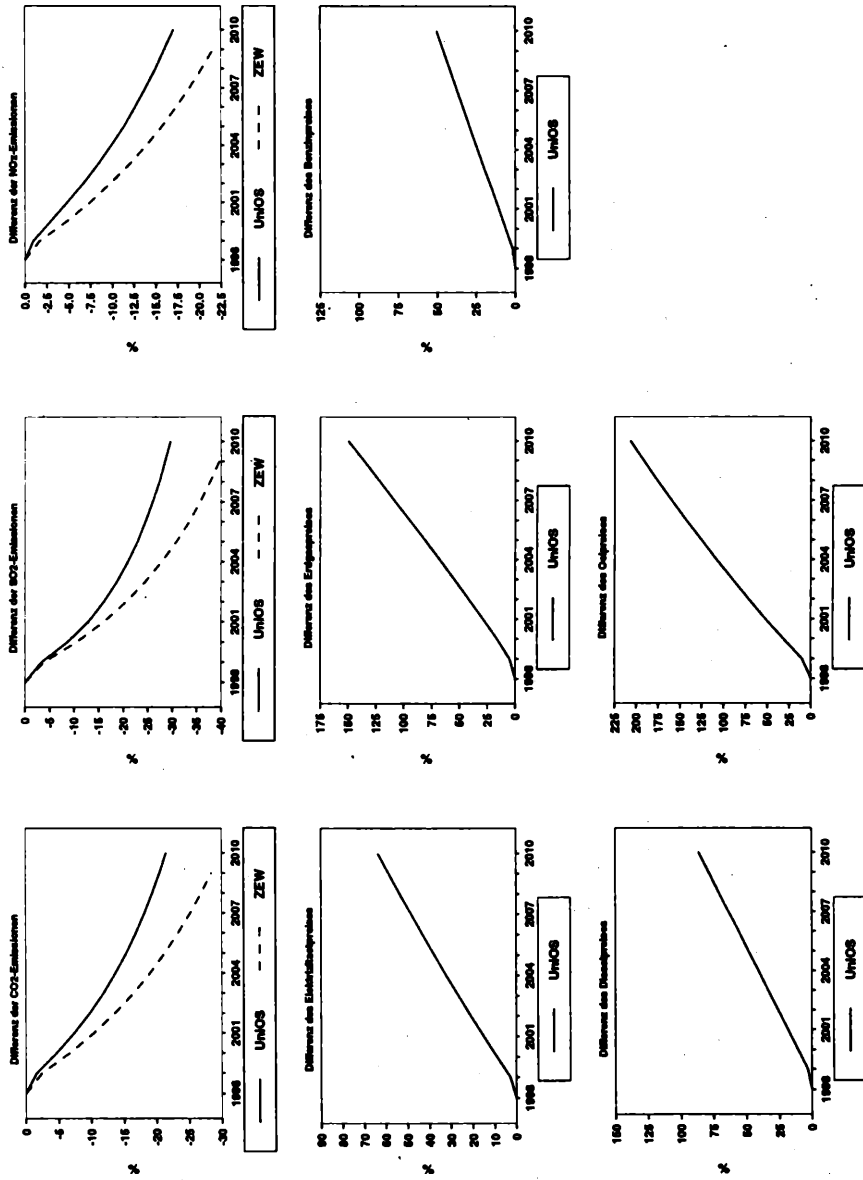
Simulationsexperiment 2a (ex ante) (UnIOS und ZEW)

Effekt auf Makrovariablen



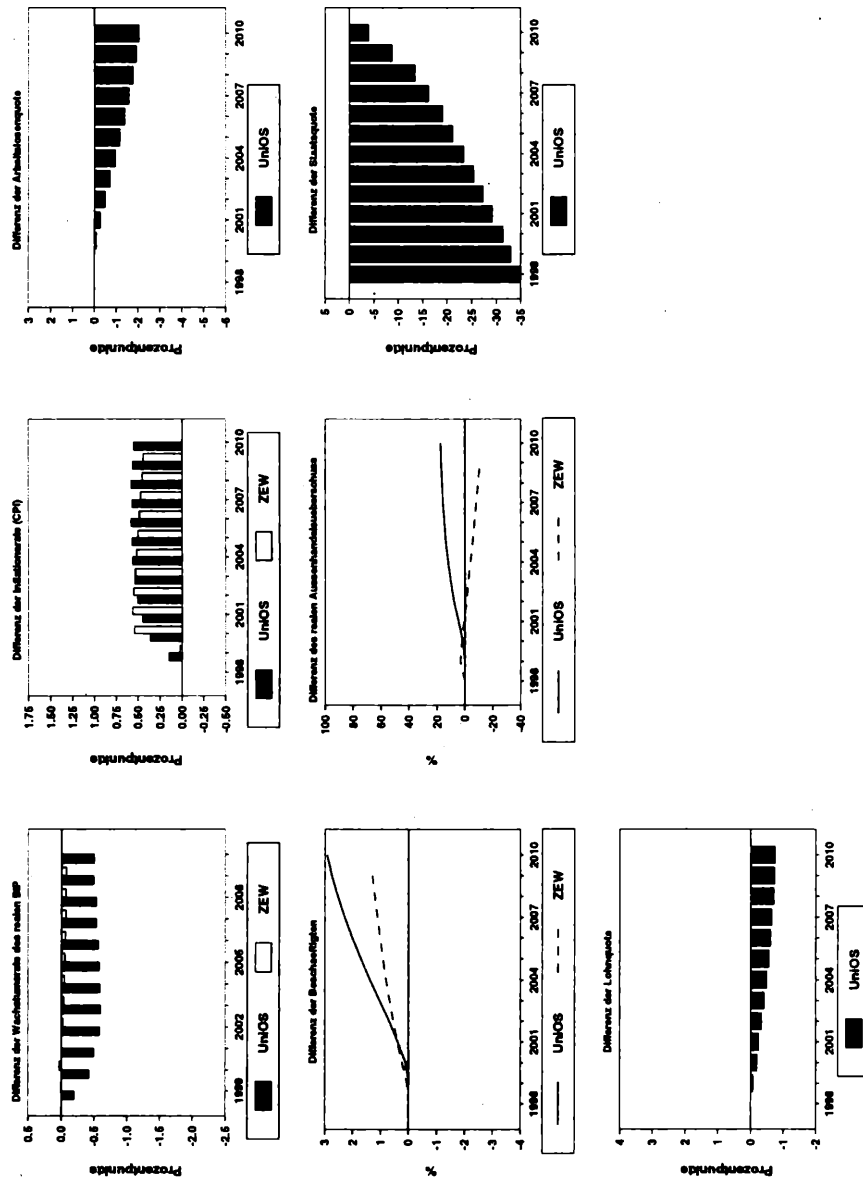
Simulationsexperiment 2a (ex ante) (Unios und ZEW)

Effekt auf Emissionen und Energiepreise (Vorleistungen)

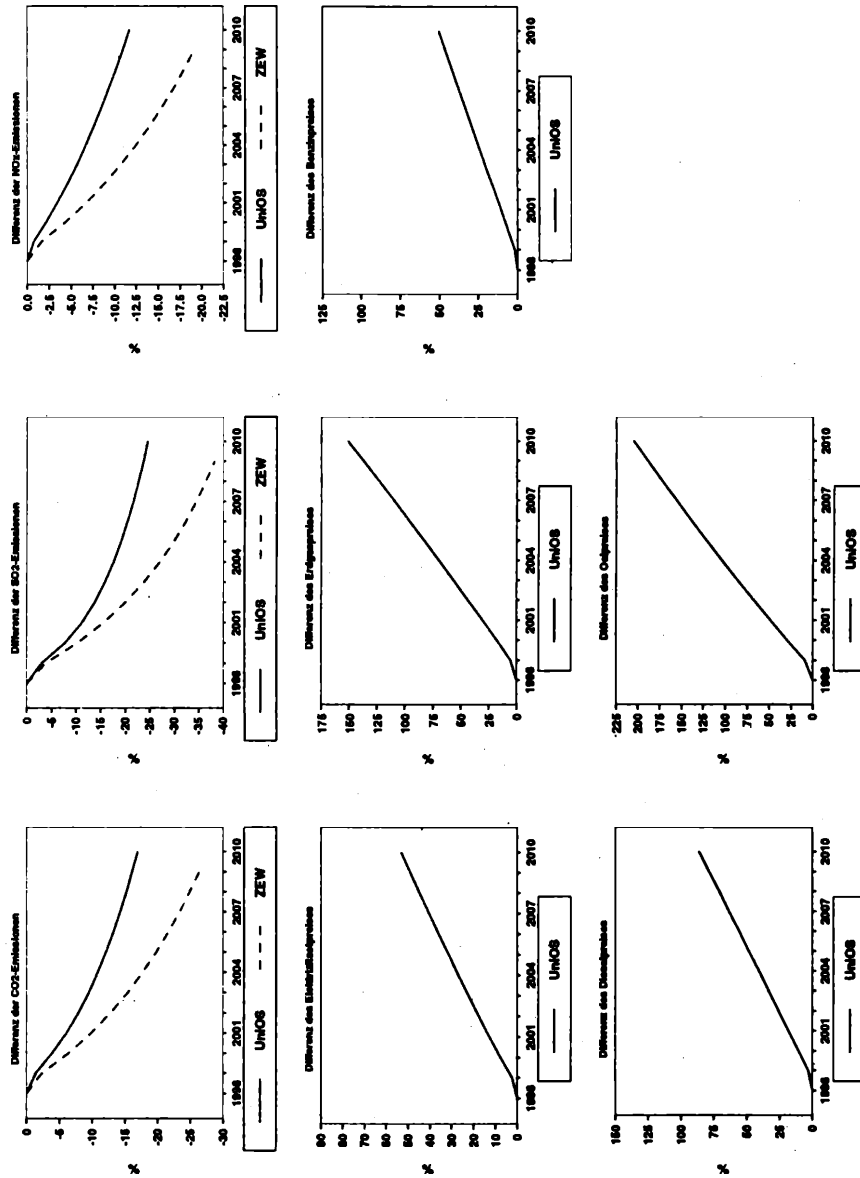


Simulationsexperiment 2b (ex ante) (UnIOS und ZEW)

Effekt auf Makrovariablen

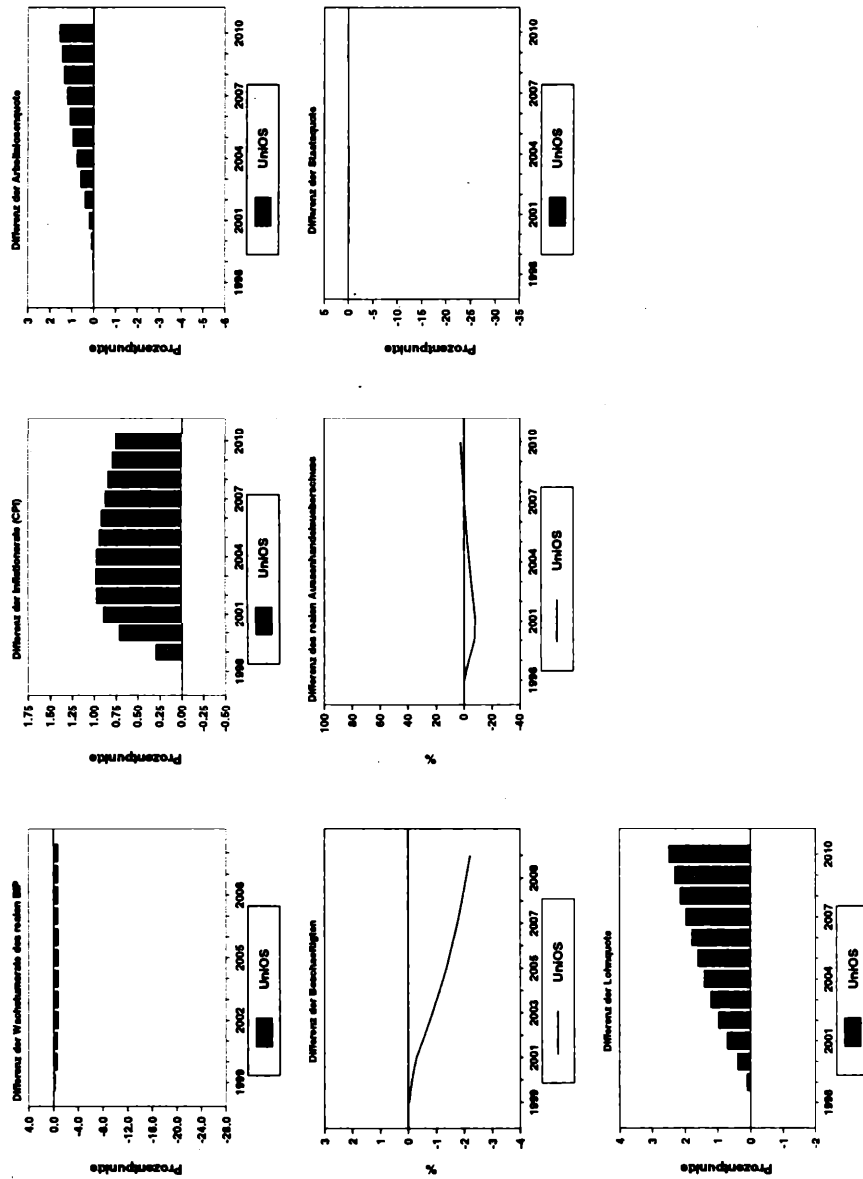


Simulationsexperiment 2b (ex ante) (Unios und ZEW) Effekt auf Emissionen und Energiepreise (Vorleistungen)



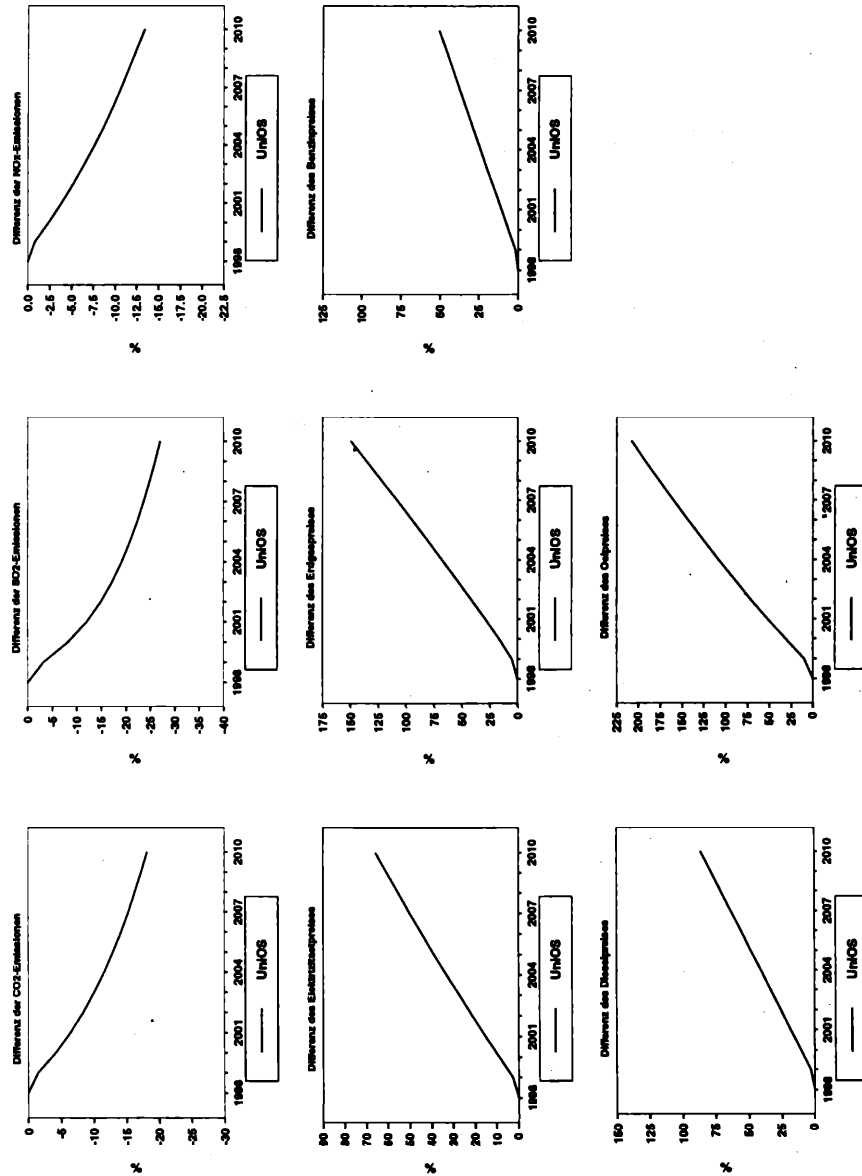
Simulationsexperiment 2c (ex ante) (nur UniOS)

Effekt auf Makrovariablen



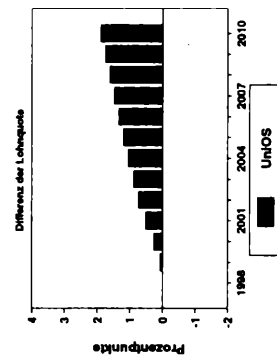
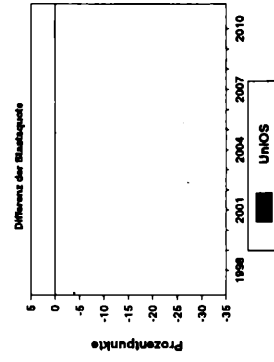
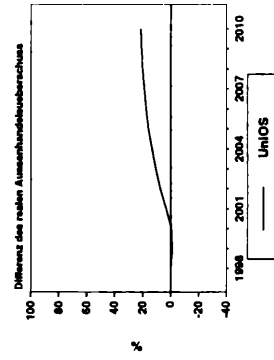
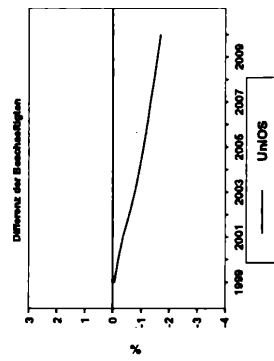
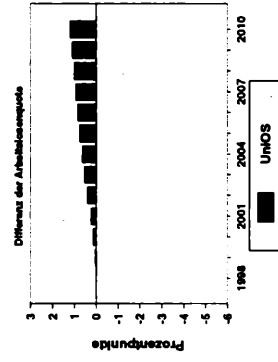
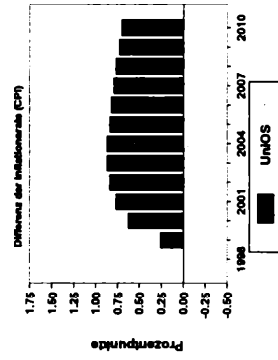
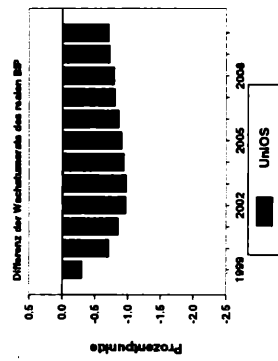
Simulationsexperiment 2c (ex ante) (nur UniOS)

Effekt auf Emissionen und Energiepreise (Vorleistungen)



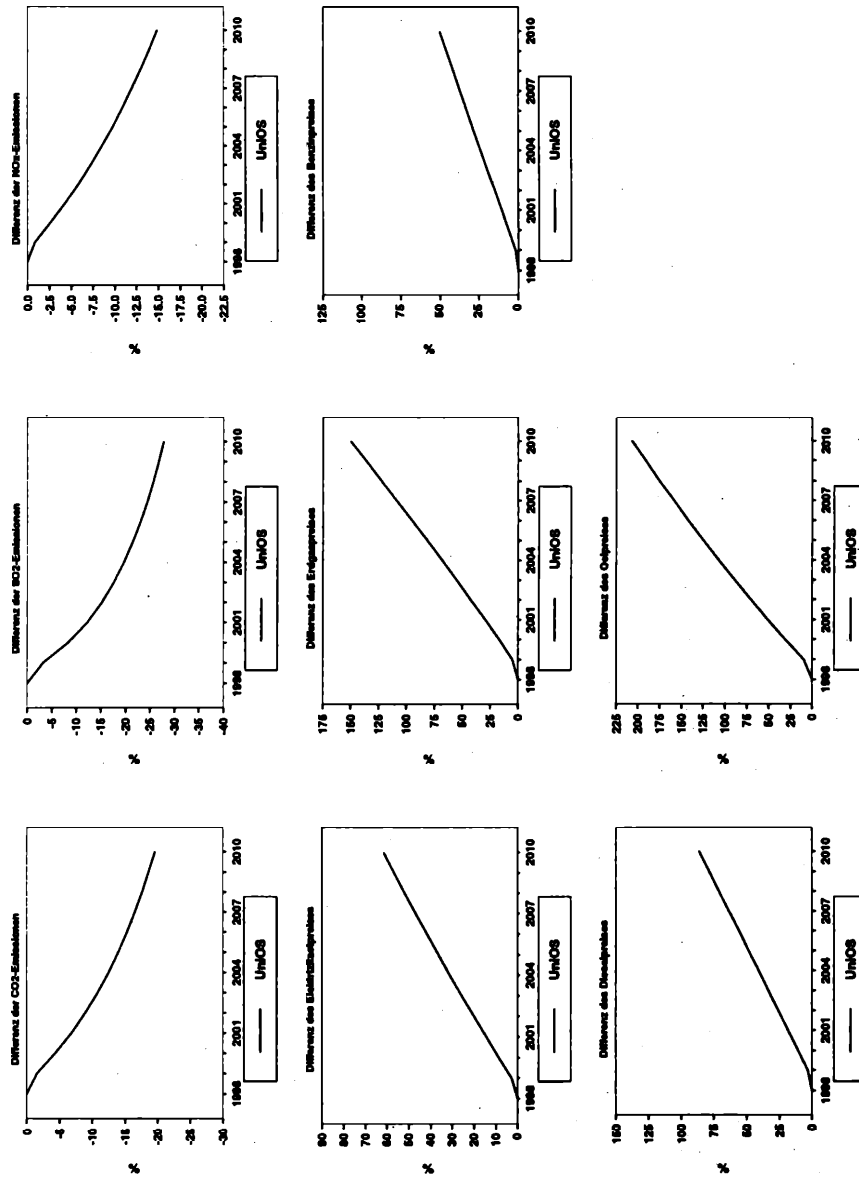
Simulationsexperiment 2d (ex ante) (nur UniOS)

Effekt auf Makrovariablen



Simulationsexperiment 2d (ex ante) (nur UniOS)

Effekt auf Emissionen und Energiepreise (Vorleistungen)



8.3 Die Ergebnisse der Modelle im einzelnen

8.3.1 Das Osnabrücker PANTA RHEI-Modell

Wie oben bereits erwähnt, liegen vom Osnabrücker Modell Simulationsergebnisse für beide erwünschten Zeiträume und für alle vorgeschlagenen Kompensationsszenarien vor. Auch ist die Anpassungsqualität des Modells (für die ausgewiesenen endogenen Variablen) für den Zeitraum 1978-1990 dokumentiert, so daß auch eine Beurteilung der Modellgüte in dieser Hinsicht möglich ist.

Ergebnisse sind für alle sechs ausgewählten makroökonomischen Variablen, für Schadstoffemissionen der drei wichtigsten Luftschadstoffe CO_2 , SO_2 und NO_x und für Energiepreise von fünf Energieträgern (Elektrizität, verteilte Gase, Benzin, Diesel und Heizöl) dokumentiert.

Die Anpassungsqualität für alle ausgewiesenen Variablen ist gut. Größenordnung und zeitlicher Verlauf werden für alle Variablen vom Modell hinreichend korrekt nachvollzogen. Bei der Wachstumsrate des realen BIP treten Anfang der achtziger Jahre Verschätzungen auf (1981: Überschätzung der Wachstumsrate um ca. 2 Prozentpunkte), und die Inflationsrate für 1980 wird um über 2,5 Prozentpunkte überschätzt. Insgesamt ist die Anpassungsqualität aber sehr zufriedenstellend; von daher spricht nichts gegen die Eignung des Modells für die durchzuführenden Simulationen.

Für beide Simulationszeiträume sind die Ergebnisse qualitativ ähnlich, jedoch sind die Effekte auf die Makrovariablen im Zeitraum 1980-1990 i.d.R. stärker ausgeprägt. Dies kann dadurch erklärt werden, daß energieintensive Sektoren zu diesem Zeitraum ein größeres Gewicht besitzen als im Zeitraum 1999-2009, wodurch eine Energiesteuer bei gleichem (realen) Steuersatz eine größere Wirkung auf die Volkswirtschaft hat.

Die Ergebnisse unterscheiden sich in den verschiedenen gewählten Kompensationsszenarien erheblich voneinander.

Szenario 1 (Thesaurierung) und Szenario 2a (Verringerung der Staatsverschuldung) führen zu nahezu identischen Ergebnissen. Dies ist überraschend, da in Szenario 1 das gesamte Aufkommen aus der CO_2 -Steuer dem Wirtschaftskreislauf entzogen wird. Man müßte erwarten, daß in diesem Fall die negativen Effekte weitaus größer sind als in Szenario 2a. In beiden Fällen hat die CO_2 -Steuer stagflatorische Effekte, d.h. die BIP-Wachstumsrate geht zurück (um 1 bis 2 Prozentpunkte, je nach Simulationszeitraum), während die Inflationsrate um 1 bis 1,5 Prozentpunkte steigt und die Arbeitslosenquote um bis zu 2 Prozentpunkte zunimmt. Vor diesem Hintergrund ist überraschend, daß der Außenhandelsüberschuß in den Simulationen 1 und 2a erheblich ansteigt (um über 30% in beiden Simulationszeiträumen): Bei einem

Steigen der Inlandspreise und konstanten (da im Osnabrücker Modell exogenen) Wechselkursen erhöhen sich die Terms of Trade, was an sich zu einem Rückgang des Außenhandelsüberschusses führen sollte.

In Szenario 2b (Reduzierung der Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung) sind die negativen Effekte auf das BIP-Wachstum erheblich geringer als in den Szenarien 1 und 2a. Auch ist der Preisauftrieb in dieser Simulation weniger stark. Der Effekt auf die Beschäftigtenzahlen und die Arbeitslosenquote kehrt sich sogar um: Die Arbeitslosenquote nimmt um bis zu 6 Prozentpunkte im Simulationszeitraum 1980-1990 und um bis zu 2 Prozentpunkte im Zeitraum 1999-2009 ab. Interessanterweise sinkt in diesem Fall die Lohnquote. Der Außenhandelsüberschuß steigt auch in diesem Szenario, wenn auch – entgegen der sich aus dem geringeren Anstieg der Inflationsrate ergebenden Erwartung – in geringerem Maße.

Durch den Simulationseingriff entsprechend Szenario 2c (Reduzierung der Arbeitnehmerbeiträge zur Sozialversicherung) werden Staatsquote, Außenhandelsüberschuß und reales BIP im Osnabrücker Modell nur wenig beeinflusst. Die Inflationsrate steigt um 1 bis 1,5 Prozentpunkte und die Arbeitslosenquote steigt um ca. 2 Prozentpunkte. Die Lohnquote steigt in beiden Simulationszeiträumen um ca. 3 Prozentpunkte.

Szenario 2d ist als „Mischung“ der vorangegangenen Szenarien konstruiert. Die Effekte im Osnabrücker Modell ähneln denen des Szenarios 2c mit Ausnahme des Außenhandelsüberschusses, der um immerhin 20% steigt.

Insgesamt ergeben sich also einige überraschende Ergebnisse in den Simulationsexperimenten. Zu beachten ist, daß der Beschäftigungseffekt im Zeitraum 1980-1990 im Szenario 2b in der Größenordnung unplausibel groß ist (simulierte Arbeitslosenquote 1990: nur ca. 1%!). Im Zeitraum 1999-2009 haben die Effekte dagegen plausible Größenordnungen. Das kann als Hinweis darauf gewertet werden, daß die im Modell simulierten Effekte nicht zu groß sein dürfen, wenn noch plausible Ergebnisse erzeugt werden sollen.

Die Emissionen der ausgewiesenen Luftschadstoffe CO_2 , SO_2 und NO_x reduzieren sich in allen ausgewiesenen Simulationsszenarien erheblich. Beispielsweise wird die CO_2 -Emission in beiden Simulationszeiträumen um bis zu 25% gegenüber dem Basisszenario reduziert. Die Reduktion ist am stärksten in Szenario 2a und am geringsten in Szenario 2b (Reduktion um bis zu 20%).

8.3.2 Das Modell des RWI

Vom RWI liegen lediglich Simulationsergebnisse für den Zeitraum 1980-1990 vor. In der UGR-Beirats-Sitzung am 13. März 1998 wurden zwar qualitative Aussagen für den Zeitraum 1999-2009 getroffen, quantitative Ergebnisse ste-

hen aber nicht zur Verfügung. Daher kann im folgenden nur auf den Zeitraum 1980-1990 eingegangen werden.

Von den fünf Simulationsszenarien sind nur Ergebnisse zu den Szenarien 1 (keine Kompensation) und 2b (Reduktion der Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung) ermittelt worden. Emissionsmengen wurden nur für CO₂ angegeben. Energiepreise hingegen finden sich in sehr tiefer Disaggregation. (In die obigen Grafiken zur Modellsimulation sind nur einige wenige eingestellt worden.) Von den erbetenen Makrovariablen sind vom RWI nur wenige übermittelt worden:

- Für beide Szenarien liegen Werte für das reale BIP vor.
- Für beide Szenarien konnte der reale Außenhandelsüberschuß aus den übermittelten Werten errechnet werden.
- Für das Szenario 2b wurde nicht die Arbeitslosenquote, jedoch die Anzahl der Beschäftigten mitgeteilt.

Im Szenario 1 ist der Effekt auf die Wachstumsrate des realen BIP negativ, aber sehr klein (geringer als 0,5 Prozentpunkte). Der Außenhandelsüberschuß sinkt um 40%. Wegen der wenigen übermittelten Ergebnisse ist eine Plausibilitätskontrolle nicht möglich.

Im Szenario 2b bleiben die Wachstumsrate des realen BIP und der Außenhandelsüberschuß nahezu unverändert. Der Effekt auf die Beschäftigung ist zunächst negativ, wird im Verlauf der Simulation aber positiv. Auch die Ergebnisse zu dieser Simulation sind zu spärlich, als daß eine Plausibilitätskontrolle möglich wäre.

Die ausgewiesene CO₂-Reduktion im Simulationsexperiment 1 beträgt kaum mehr als 10% gegenüber der Basissimulation und ist damit weniger als halb so groß wie die im PANTA RHEI ausgewiesene.

8.3.3 Das Modell des ZEW

Vom ZEW sind Simulationsergebnisse nur für den Zeitraum 1999-2009 errechnet worden. Die Modellautoren argumentieren, daß eine Kontrolle der Anpassungsgüte für ihr Modell nicht sinnvoll ist, da mit ihrem Modell nur die Effekte der Simulationseingriffe erfaßt werden sollen. Dem ist zu widersprechen: Daß ein Modell in seiner Basislösung einigermaßen plausible und für einen historischen Zeitraum eng an der Realität liegende Ergebnisse liefert, ist eine *notwendige* Bedingung dafür, daß es Simulationseingriffe angemessen abbilden kann. Auf hohe Anpassungsgüte kann daher nicht verzichtet werden, und vor Verwendung des Modells zur Politikberatung müßte diese auf jeden Fall zunächst überprüft werden.

Das ZEW lieferte Werte für die Makrovariablen

- reales BIP,
- Inflationsrate,
- Beschäftigte und
- Außenhandelsüberschuß.

Ferner wurden Emissionsmengen für CO_2 , SO_2 und NO_x übermittelt.

Im Szenario 2a (Reduktion der Staatsverschuldung) sind die Effekte der Simulationsmaßnahme auf die BIP-Wachstumsrate und die Inflation im Modell des ZEW nur sehr gering. Auch die Beschäftigung bleibt nahezu unverändert. Überraschend ist, daß sich der Außenhandelsüberschuß durch den Simulationseingriff nahezu verdoppelt. Dieser „Export-Boom“ ist angesichts der eher kontraktiven Maßnahme nicht nachzuvollziehen.

In Simulationsexperiment 2b steigt die Beschäftigung um 1%, der überraschend starke positive Effekt auf den Außenhandelsüberschuß verschwindet vollkommen.

Im Vergleich überraschen die Ergebnisse der beiden Simulationen im Hinblick auf die Variablen „Außenhandelsüberschuß“ und „Beschäftigung“: Daß ein Export-Boom mit gleichbleibender Beschäftigung, ein konstanter Außenhandelsüberschuß aber mit steigender Beschäftigung verbunden ist, erscheint nicht plausibel.

Reduktionen der ausgewiesenen Luftschadstoffemissionen für CO_2 , SO_2 und NO_x sind erheblich und in der Größenordnung 1,5 bis 2 mal so groß wie die im PANTA RHEI-Modell ausgewiesenen.

8.3.4 Das IKARUS-Modell

Von den Verantwortlichen für das IKARUS-Modell wurden keine Simulationen für den Modellvergleich gerechnet. Es wurde aber erläutert, daß nur die Reduktionsszenarien 1 und 2b mit dem IKARUS-Instrumentarium erfaßbar sind. Damit wird deutlich, daß von den in der politischen Diskussion relevanten Fragestellungen gegenwärtig nur ein Ausschnitt mit dem Instrumentarium erfaßbar ist. Auch können nach Aussagen der Modellverantwortlichen mit der gegenwärtigen Modellversion keine Effekte auf Makrovariablen ermittelt werden, so daß die Eignung des Modells bezüglich der beschriebenen Anforderungen an Modelle im Rahmen der UGR eingeschränkt ist.

Vom Forschungszentrum Jülich wurden als Ersatz für Simulationen zur vorliegenden Fragestellung Simulationsergebnisse aus einem bereits abgeschlossenen Projekt geliefert. Dabei waren unterschiedliche CO_2 -Reduktionen

vorgegeben und mit dem Optimierungsmodell dafür Schattenpreise errechnet worden. Die Modellautoren interpretieren einen Schattenpreis in der Höhe des Steuersatzes als die Modelllösung und können so die vorgegebene CO₂-Reduktion als modellendogene Reduktion identifizieren. Sie errechnen auf diese Weise für das Jahr 2009 eine CO₂-Reduktion zwischen 15% und 18%, welche ungefähr mit den Ergebnissen des Osnabrücker Modells übereinstimmt. Diese Interpretation ist nicht unbedenklich, setzt sie doch voraus, daß die optimale Produktionsstruktur zur Energieerzeugung gewählt wird (gegeben die in der Simulation eingestellten Randbedingungen, wie Fortsetzung der Kohleverstromung etc.). Ausgeklammert bleiben bei den Überlegungen hierbei allerdings Veränderungen der Gesamtnachfrage etc., die im Hinblick auf die Simulationsergebnisse der anderen Modelle aber teilweise erheblich sein dürften.

8.4 Die Ergebnisse der Modelle im Vergleich

Eine genaue Diskussion der Ergebnisse in den verschiedenen Reduktions-szenarien ist aufgrund der teilweise lückenhaften Ergebnisse bzw. der fehlenden Aussagen zur Anpassungsqualität nur für das PANTA RHEI-Modell möglich. Diese Ergebnisse erscheinen zumindest für den Simulationszeitraum 1999-2009 plausibel, es gibt aber Bedenken bei den simulierten Effekten im Bereich des Außenhandels. In stärkerer Form gilt dies für die Ergebnisse des ZEW-Modells. Die Ergebnisse des RWI-Modells weisen qualitativ in die gleiche Richtung wie die Ergebnisse der beiden anderen Modelle, sind aber in ihrem Ausmaß viel geringer.

Das Ergebnis des IKARUS-Modells ist aus den beschriebenen Gründen für den Modellvergleich kaum verwendbar.

9 Zusammenfassung und Fazit

Die wichtigsten Ergebnisse des Projekts sollen hier noch einmal zusammengefaßt werden.

In Kapitel 2 ist zunächst festgestellt worden, daß auch makroökonomische Modelle keine umfassende Lösung des grundsätzlichen Bewertungsproblems im Rahmen der UGR leisten können. Auf der anderen Seite stellen die Modelle aber ein unentbehrliches Instrument zur Abschätzung der Folgen umweltpolitischer Maßnahmen im komplizierten ökonomischen/sozialen/technischen/ökologischen Gesamtsystem dar: Die hohe Dimension und Komplexität dieses Systems erfordert den Einsatz solcher Modellansätze, um die Vielzahl der direkten und insbesondere auch der indirekten Wirkungen solcher Maßnahmen erfassen zu können.

Entscheidende Aufgabe des hier dokumentierten Projekts war, die individuelle Leistungsfähigkeit der in den Vergleich einbezogenen Modelle zu beurteilen. Dazu wurden folgende Kriterien herangezogen:

- Nachvollziehbare theoretische Begründung für alle Modellteile,
- Aufnahmefähigkeit für umweltpolitische Maßnahmen und Berücksichtigung von den Umweltzustand ausweisenden Variablen,
- angemessene Verknüpfung der interagierenden Bereiche Umwelt, Ökonomie und Technik, insbesondere auch Möglichkeit der Einbeziehung zukünftiger technischer Entwicklungen,
- sorgfältige Detailspezifikation aller Modellteile,
- angemessene ökonometrische Bearbeitung,
- Ausweis einer akzeptablen Anpassungsqualität für die zentralen Variablen des Modells,
- Simulationsfähigkeit, insbesondere im Hinblick auf die Nutzung des Modells zur Erfassung alternativer umweltpolitischer Maßnahmen,
- kontinuierliche Pflege des Modells, vor allem Einbeziehung aktueller Entwicklungen,
- ausführliche und laufend aktualisierte Dokumentation des Modells und der Vorgehensweise bei Modellspezifikation und Simulation.

Insgesamt ergibt sich folgendes Bild: Für alle Modelle gilt, daß zum Zeitpunkt der Durchführung des Projekts die für eine intensive Nutzung des Modells – insbesondere durch „Außennutzer“, also nicht die Modellbauer selbst

– unbedingt erforderliche ausführliche Dokumentation nicht zur Verfügung stand.

Ebenso gilt für alle Modelle, daß die zur Ableitung verlässlicher Resultate notwendige Verknüpfung der Bereiche Umwelt, Ökonomie und Technik nicht in ausreichendem Maße gelungen ist.

Auch im Hinblick auf die Erfassung von Umweltsituationen, wie sie für Analysen im Rahmen der umweltökonomischen Gesamtrechnungen erforderlich sind, sind bei allen Modellen Ergänzungen notwendig. Dies gilt sowohl für die Berücksichtigung konkreter umweltpolitischer Maßnahmen als auch für Indikatoren zur Beurteilung der Umweltqualität. In die Simulationsexperimente war hinsichtlich des Umweltbezugs ganz bewußt nur ein relativ einfach zu modellierendes Szenario eingestellt worden (Beschränkung auf Luftschadstoffe); komplexere Festlegungen (z.B. Analyse für andere Medien (Wasser, Boden), Selbstverpflichtungen, spezielle Zertifikatlösungen) machen sicher Modellanpassungen oder Neuformulierungen erforderlich. Mit Ausnahme des IKARUS-Modellinstrumentariums weisen die Modelle auch Defizite hinsichtlich der Erfassung potentieller, noch nicht implementierter Techniken auf.

Im Zusammenhang mit der Detailspezifikation der Modelle sind methodische Ergänzungen im Spezifikationsprozeß denkbar (Verwendung weiterer Spezifikationstests (z.B. Strukturbruchtest, Analyse der Residuen), ausführliche Sensitivitätsanalyse, eingehendere Stabilitätsuntersuchungen).

In von den Modellen nicht voll erfaßten Bereichen der Realität sollten in noch größerem Umfang Eingriffe von außen vorgenommen werden, die natürlich durch Experten-Informationen wohlbegründet und ausführlich dokumentiert sein müssen.

Bezüglich der übrigen Kriterienpunkte schneiden die Modelle zum Teil sehr unterschiedlich ab:

Das PANTA RHEI-Modell der Arbeitsgruppe in Osnabrück zeichnet sich durch seinen „ganzheitlichen“ Charakter aus. Die enge modellmäßige Verzahnung der enthaltenen Teilbereiche gestattet offensichtlich einen unproblematischen und schnellen Einsatz. Dies wurde insbesondere im Rahmen des Simulationsexperiments deutlich, in dem nur mit dem Osnabrücker Modell sämtliche Szenarien gerechnet werden konnten. Hervorzuheben ist auch die insgesamt gute Anpassungsqualität des Modells an die Realität. Hinsichtlich der theoretischen Begründung eines Teils der ökonomischen Beziehungen (Produktionsteil) sind weitere Angemessenheitsuntersuchungen und Verwendung von Alternativspezifikationen zu empfehlen. Im Zusammenhang mit dem Simulationsexperiment hätten unter Umständen zusätzliche Eingriffe von außen vorgenommen werden können (Außenhandel), um unplausible Ergebnisse zu vermeiden.

Beim Modell des RWI ist die sehr detaillierte Spezifikation von Energieverbrauch und -angebot hervorzuheben, sowie die umfassende theoretische Begründung. Allerdings scheint das sektorale Strukturmodell im Vergleich zum Osnabrücker Modell für die im Rahmen der Analysen der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen erforderlichen Simulationsexperimente weniger gut einsetzbar zu sein; zumindest konnten für die innerhalb dieses Projekts durchgeführten Simulationsexperimente nur Teilergebnisse ermittelt werden; dies gilt vor allem auch für die makroökonomischen Variablen. Daher sollte im Hinblick auf die Möglichkeit einer vollständigen Erfassung der Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen der makroökonomische Teil analog etwa zum kontinuierlich gepflegten RWI-Konjunkturmodell detaillierter abgebildet werden.

Das Modell des ZEW fällt als sehr großes angewandtes allgemeines Gleichgewichtsmodell deutlich aus dem Rahmen der in dieser Studie sonst noch betrachteten Modelle. Es ist das einzige Modell mit einer europäischen Dimension, die Berücksichtigung eines eigenständigen Umweltmodells ist hervorzuheben. Von seiner Gesamtkonzeption her, vor allem auch wegen der Kalibrierung der Parameter erscheint das Modell allerdings für die engere Zielsetzung der Erfassung konkreter Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen auf die Bereiche Wirtschaft, Umwelt und Technik der Bundesrepublik Deutschland nur bedingt geeignet: Für eine solche Analyse ist der Nachweis einer ausreichenden Anpassungsqualität der wichtigsten Kenngrößen dieser Teilbereiche erforderlich, die für das ZEW-Modell wegen der bewußt auf hypothetische Trendszenarios setzenden Ausrichtung nicht vorgelegt wird.

Im IKARUS-Modell ist durch die Berücksichtigung einer sehr großen Menge Technik-bezogener Detailinformationen gerade auch für die zukünftigen Perioden eine beispielhafte Modellierung des technischen Bereichs gelungen. Allerdings erscheinen der ökonomische Modellteil, der im wesentlichen auf Identitätsgleichungen aufbaut und fast ohne Parameterschätzungen auskommt, und vor allem die Verzahnung zwischen dem ökonomischen und dem Technik-Teil verbesserungswürdig. Die Notwendigkeit einer Überarbeitung in dieser Hinsicht wurde auch durch die Schwierigkeiten, die sich beim IKARUS-Modell im Hinblick auf das Simulationsexperiment zeigten, deutlich dokumentiert.

Der Modellierungsansatz des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung zeichnet sich durch die Verbindung unterschiedlicher Modellansätze, die den oben gewünschten Eingriff der Modellbauer zur Berücksichtigung realitätsnaher Szenarios nicht nur ermöglichen, sondern sogar erforderlich machen, aus. Allerdings ist dieses Modell seit geraumer Zeit nicht mehr aktualisiert worden; dies ist sicher auch der Grund, warum das DIW-Modell nicht in das Simulationsexperiment einbezogen werden konnte.

Vor diesem Hintergrund kann man folgendes Fazit ziehen: Auch umweltbezogene makroökonomische Modelle können das grundsätzliche Bewertungsproblem umweltökonomischer Gesamtrechnungen sicher nicht lösen. Sie sind aber ein unverzichtbares Instrument zur Ermittlung der Wirkungen umweltpolitischer Maßnahmen in den Bereichen Wirtschaft, Soziales, Umwelt und Technik. Ohne die Einbeziehung dieses Instruments ist eine verlässliche Abschätzung dieser Wirkungen wegen der hohen Dimension und Komplexität des interagierenden Gesamtsystems nicht möglich. Da die Abschätzung solcher Wirkungen ein zentraler Bestandteil der Analysen im Rahmen Umweltökonomischer Gesamtrechnungen ist, ist hier der Einsatz solcher Modelle, die einen ausgebauten Umweltteil besitzen, unbedingt erforderlich.

Im Projekt konnte gezeigt werden, daß es in der Bundesrepublik Deutschland qualifizierte Modelle gibt, die in solchen Analysen eingesetzt werden können, wobei allerdings noch Korrekturen, Anpassungen und Ergänzungen (insbesondere im Ausbau des Umweltteils und der Interaktion zwischen Umwelt, Ökonomie und Technik) notwendig sind.

Wegen der unterschiedlichen Ausrichtung und Schwerpunktsetzung der Modelle empfiehlt es sich, bei konkreten Analysen nicht auf ein bestimmtes Modell zu setzen, sondern mehrere Modelle nebeneinander zu verwenden. Die Schaffung eines neuen, die positiven Aspekte jedes der beteiligten Modelle umfassenden Gesamtmodells erscheint aus vielerlei Gründen nicht realisierbar (z.B. wegen der zugrundeliegenden unterschiedlichen „Modellphilosophien“, unterschiedlicher Zielsetzungen der beteiligten Institutionen und auch eines sicher sehr großen Zeitaufwandes), sie ist wohl auch nicht wünschenswert: Die Verwendung eines „Modell-Pools“ würde die Wirkungsanalyse umweltpolitischer Maßnahmen auf eine breitere Informationsbasis stellen und vor allem Vergleiche ermöglichen. Es ist auch davon auszugehen, daß in einem solchen Modell-Pool bei intensiver Kooperation der Modellverantwortlichen und sachkundiger Koordination und Moderation von außen Modellverbesserungen initiiert werden würden.

Anhang

A Fragenkatalog und Antworten

In diesem Abschnitt sollen die Eigenschaften der untersuchten Modelle in tabellarischer Form den Anforderungen des Fragenkatalogs gegenübergestellt werden. Hierbei wird mit **UniOS** das Umweltmodell PANTA RHEI der Universität Osnabrück, mit **RWI** das Umweltmodell des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, mit **ZEW** das Umweltmodell GEM-E3 des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung, mit **JÜLICH** das IKA-RUS-Instrumentarium des Forschungszentrums Jülich und mit **DIW** die zur Untersuchung energie- und umweltpolitischer Maßnahmen beim Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung verwendeten Instrumentarien bezeichnet.

A.1 Allgemeine Fragen

Frage 1: Wie ausführlich ist das Modell aktuell dokumentiert?

UniOS Gleichungen (nur Variablen-Beziehungen) dokumentiert; Spezifikation und Parameterschätzwerte nicht ausreichend dokumentiert

RWI Gleichungen, Spezifikation und Parameterschätzwerte nicht ausreichend dokumentiert

ZEW Gleichungen, Spezifikation und Parameterwerte nicht ausreichend dokumentiert

JÜLICH auf CD-Rom dokumentiert

DIW ausführliche Dokumentation

Frage 2: Existiert eine aktuelle Modellbeschreibung?

UniOS Aktualisierung der Dokumentation für Mai 1998 geplant

RWI Nein, ca. 8 Jahre alt

ZEW Nein, ca. 2 Jahre alt

JÜLICH CD-Rom von April 1997 basierend auf Modellversion 1989, Update 1998 basierend auf Modellversion 1995

DIW Ja, da das Modell seit 1987 nicht weiterentwickelt worden ist

Frage 3: Welches ist die Zielsetzung des Modells?

UniOS Simulationen von verschiedenen gesamtwirtschaftlichen und branchenspezifischen Fragestellungen innerhalb der Bundesrepublik Deutschland (im Modellverbund weltweit), insbesondere eine Abschätzung der gesamtwirtschaftlichen Vermeidungskosten von Luftschadstoffemissionen

RWI Strukturmodell: Simulation und Prognose der in den nächsten zehn bis fünfzehn Jahren zu erwartenden sektoralen und gesamtwirtschaftlichen Entwicklungen der deutschen Wirtschaft; Energiemodell: realitätsnahe Erklärung des Energieverbrauchs und -angebots, Ermittlung der Energie- und Kapitalkosten für das sektorale Strukturmodell

ZEW Analyse der gesamtwirtschaftlichen, strukturellen und ökologischen Auswirkungen von umwelt-, energie- und wirtschaftspolitischen Maßnahmen innerhalb der Europäischen Union

JÜLICH Entwicklung eines Instrumentariums zur Abwägung von Entwicklungen im Energiebereich und von Strategien zur Reduktion von Treibhausgasemissionen

DIW IO-Modell: mittel- bis langfristige Simulierung der Kapazitätsauslastung in sektoraler Disaggregation; gesamtwirtschaftliches ökonometrisches Modell (GÖM): mittel- bis langfristige Modellierung wichtiger makroökonomischer Größen

Frage 4: Ist das Modell ursprünglich als Umweltmodell formuliert worden?

UniOS Nein

RWI Nein

ZEW Ja

JÜLICH Ja

DIW Nein

Frage 5: Über welchen Zeitraum wird simuliert?

UniOS bis zum Jahr 2020

RWI bis zum Jahr 2010

ZEW bis zum Jahr 2010

JÜLICH über die Zeitpunkte 1989, 2005 und 2020

DIW 2020

Frage 6: Über welchen Zeitraum wurde geschätzt?

UniOS 1978 bis 1994 Jahresdaten

RWI 1978 bis 1991 (teilweise 1992) Jahresdaten

ZEW Kalibrierung, Verwendung der IO-Tabelle des Jahres 1985, Jahresdaten

JÜLICH unterschiedlich, keine genaueren Angaben

DIW 1970 bis 1990

Frage 7: Welcher Zeitraum diente der Spezifikation?

UniOS Schätzzeitraum

RWI Schätzzeitraum

ZEW Kalibrierung

JÜLICH für die Produktionsfunktion 1960-1993, sonst keine Angaben

DIW Schätzzeitraum

Frage 8: Sind die zu untersuchenden Effekte kurz-, mittel- oder langfristig?

UniOS mittel- bis langfristig

RWI mittel- bis langfristig

ZEW eher langfristig

JÜLICH mittel- bis langfristig

DIW mittel- bis langfristig

Frage 9: Welcher Gebietsstand liegt dem Modell zugrunde?

UniOS Modellversionen für Westdeutschland und Deutschland

RWI alte Bundesländer (mit Ausnahme des Kraftwerksmodellteils)

ZEW Mitgliedsländer der EU

JÜLICH Deutschland, dabei 1989 und 2005 getrennte Berechnung für West- und Ostdeutschland, 2020 zusammengefaßte Berechnung

DIW West-Deutschland

Frage 10: Werden regionale Aspekte bzw. Effekte berücksichtigt?

UniOS Nein

RWI indirekt über sektorale Effekte

ZEW Ja, zumindest ansatzweise, da regionale Verteilungsmatrizen für Luftschadstoffe modelliert werden

JÜLICH Nein

DIW Nein

A.2 Die ökonomische Beurteilungsebene

Frage 11: Nach welchen Prinzipien ist das Modell konstruiert?

UniOS weitgehend bottom-up und vollständige Integration

RWI z.T. bottom-up, z.T. top-down

ZEW top-down, Integrated Assessment Modell

JÜLICH MIS: top-down, Optimierungsmodell: bottom-up

DIW IO-Modell: LSD (IO-System mit fixen IO-Koeffizienten, aber Kapitalbestand wird durch Investitionsnachfrage akkumuliert), GÖM: aggregiertes makroökonomisches Modell (modifiziertes Krelle-Modell)

Frage 12: Aus welchen Modellteilen besteht das Modell?

UniOS Zinsen, Welthandel, Letzter Verbrauch, Vorleistungseinsatz und Bruttoproduktion, Einfuhr, Wertschöpfung und Einkommensverteilung, Arbeitsmarkt, Umsatzsteuer, Energieeinsatz und Emissionen

RWI Umweltmodell ist Verknüpfung von Struktur- und Energiemodell; Strukturmodell besteht aus fünf Teilen: ein güterwirtschaftliches Output-Modell, ein Preismodell, ein Arbeitsmarkmodell, ein Umverteilungsmodell, eine Kapitalbestands- und Potentialrechnung

ZEW Konsum, Investitionen, Produktion, Kapitalbestandsrechnung

JÜLICH Optimierungsmodell, Makroökonomisches Informationssystem (MIS), Kettenmodell und Simulationsmodelle

DIW Energiewirtschaftliche Analyse (EWA), Input-Output-Modell (IOM) und gesamtwirtschaftliches ökonomisches Modell (GÖM), letzteres mit den Teilen Arbeitsmarkt, Gütermarkt, Einkommensverteilung, Umverteilung und Vermögensbildung

Frage 13: Existiert eine „Ablaufskizze“?

UniOS Ja

RWI Nein

ZEW Nein

JÜLICH Ja

DIW Nein

Frage 14: Wie ist das Modell theoretisch motiviert?

UniOS eher nachfrage-orientiert (Produktion über die Leontief-Inverse; Inputkoeffizienten eines jeweiligen Sektors werden unabhängig voneinander modelliert; sektorale Preisbildung über Mark-Up-Ansatz; getrennte Modellierung des Arbeitsmarktes für West- und Ostdeutschland; Investitionen nur als Endnachfragekomponenten)

RWI eher nachfrage-orientiert (Strukturmodell: Produktion über die Leontief-Inverse; Inputkoeffizienten zeitvariabel in Abhängigkeit von den Vorleistungspreisen, Kapitalintensitäten und -auslastungsgraden der einzelnen Sektoren; Vorauswahl der Inputkoeffizienten, nur diejenigen, die einen wichtigen Einfluß auf die Bruttoproduktion des jeweiligen Sektors haben; Endnachfrage über zeitvariable Konsum- und Investitions-Bridge-Matrizen; sektorale Preisbildung über Mark-Up-Ansatz; Arbeitsangebot aus der Bruttoproduktion und der Arbeitsproduktivität; Arbeitsnachfrage durch demographische Faktoren determiniert; verfügbares Einkommen der privaten Haushalte aus den Bruttoeinkommen der IO-Rechnung; detaillierte Produktionspotentialrechnung; sowohl neoklassische (z.B. Preisabhängigkeit der Inputkoeffizienten) als auch keynesianische (z.B. Ungleichgewichte am Arbeitsmarkt) Grundgedanken)

ZEW eher nachfrage-orientiert (ökonomischer Teil entspricht einem sogenannten mikroökonomisch fundiertem Makromodell; Angebots- und Nachfrageverhalten wird nach dem Gewinn- bzw. Nutzenmaximierungsprinzip modelliert; Markträumung ist gleichgewichtige Lösung als Ergebnis des Marktausgleichs von Angebot und Nachfrage; statische Erwartungshaltung der Marktteilnehmer; verschachtelte schwach separierbare Unterproduktionsfunktionen; Modellierung einer intertemporal verschachtelten Konsumententscheidung)

JÜLICH vorwiegend technisch, d.h. die Prozeßstrahlen im Energiebereich sind aus Expertenwissen über gegenwärtige und zukünftig realisierbare Technologien entwickelt; darüber hinaus: „Kalibrierung“ der daraus resultierenden Makrogrößen; MIS: dynamisches IO-Modell mit endogener Investitionsnachfrage, die zukünftige Produktionsmöglichkeiten endogen beeinflusst; weitere Endnachfragekomponenten exogen

DIW GÖM: es existieren sowohl nachfrage- als auch angebotsseitige Effekte, im wesentlichen ist das Modell aber eher nachfrageseitig modelliert; IO-Modell: LSD-Ansatz, d.h. modellendogene Investitionen vergrößern die Produktionsmöglichkeiten zukünftiger Perioden, darüber hinaus: explizite Möglichkeit der Unterauslastung des Kapitalstocks

Frage 15: Sind die theoretischen Begründungen plausibel?

UniOS Im wesentlichen ja, allerdings z.T. keine Modellierung einer Produktionsfunktion

RWI Ja

ZEW Im wesentlichen ja, aber Schwierigkeiten bei der Modellierung der intertemporalen Konsumnachfrage

JÜLICH Im wesentlichen ja, aber zwei Schwierigkeiten:
1.) außer den Investitionen sind alle Endnachfragekomponenten im IO-Modell exogen, es besteht keine Verbindung zwischen diesen Endnachfragekomponenten und dem modellendogenen Einkommen;
2.) es besteht keine Rückkoppelung vom Optimierungsmodell in das MIS, d.h., daß die Modellierung der Energiekosten keine Rückwirkung auf die Energienachfrage hat (Energienachfrage preisunelastisch)

DIW Im wesentlichen ja

Frage 16: Ist die theoretische Grundlage durchgängig oder sind die Modellteile durch wechselnde Vorstellungen geprägt?

UniOS nicht durchgehend nachfrage-orientiert, auch angebotsseitige Effekte

RWI nicht durchgehend nachfrage-orientiert, auch angebotsseitige Effekte

ZEW nicht durchgehend nachfrage-orientiert, auch angebotsseitige Effekte

JÜLICH siehe Antwort zu Frage 15

DIW Die verschiedenen Teilmodelle sind unterschiedlich motiviert.

Frage 17: Wird eine Produktionsfunktion modelliert?

UniOS Nein

RWI Ja, enthält Elemente einer Engineering Production Function

ZEW Ja, geschachtelte CES-Produktionsfunktion

JÜLICH Ja, im Energiebereich mit 2.000 Prozeßstrahlen; im IO-Modell sektorale CES-Produktionsfunktionen

DIW Nein

Frage 18: Welche für die Dynamik des Modells wesentlichen ökonomischen Variablen bleiben exogen?

UniOS Arbeitsangebot, Weltimportnachfrage und -preise, im West-deutschlandmodell zusätzlich: Instrumente der Geld- und Fiskalpolitik

RWI u.a.: Verbrauchsteuersätze, Welthandelspreis für Rohöl und der Wechselkurs zum US-Dollar

ZEW u.a.: Staatsausgaben, Steuersätze

JÜLICH Technologieentwicklungen, privater Konsum, Export, Import, Staatsnachfrage

DIW Arbeitsangebot, Außenwirtschaft, teilweise staatliche Nachfrage

Frage 19: Können mit den exogenen Variablen die zur Verfügung stehenden wirtschaftspolitischen Mittel hinreichend genau abgebildet werden?

UniOS Ja, aber schwierig Verhandlungslösungen abzubilden

RWI Ja, aber schwierig Verhandlungslösungen abzubilden

ZEW Ja, aber schwierig Verhandlungslösungen abzubilden

JÜLICH Nur in eingeschränktem Maße

DIW Ja, aber schwierig Verhandlungslösungen abzubilden

Frage 20: Kann mit den endogenen Variablen der Grad der Erreichung der ökonomischen, sozialen und ökologischen Ziele hinreichend genau erfaßt werden?

UniOS eigentliche Umweltziele, Umweltqualitätsziele, Sozialindikatoren und interpersonelle Verteilungsgrößen werden nicht berücksichtigt

RWI eigentliche Umweltziele, Umweltqualitätsziele, Sozialindikatoren und interpersonelle Verteilungsgrößen werden nicht berücksichtigt

ZEW eigentliche Umweltziele, Umweltqualitätsziele, Sozialindikatoren und interpersonelle Verteilungsgrößen werden nicht berücksichtigt; jedoch z.T. Einbeziehung regionaler Effekte

JÜLICH eigentliche Umweltziele, Umweltqualitätsziele, Sozialindikatoren und interpersonelle Verteilungsgrößen werden nicht berücksichtigt

DIW eigentliche Umweltziele, Umweltqualitätsziele, Sozialindikatoren und interpersonelle Verteilungsgrößen werden nicht berücksichtigt

Frage 21: In welchem Ausmaß sind die einzelnen Modellteile disaggregiert?

UniOS sektoral tief disaggregiert (58 produzierende Sektoren, 26 Verwendungszwecke, 29 Energieträger)

RWI Strukturmodell: sektoral tief disaggregiert (60 Sektoren); Energiemodell: Erklärung des Energieverbrauchs wird nach fünf Teilbereichen (energieintensive Sektoren, energieextensive Sektoren, Güter- und gewerblicher Personenverkehr, Kleinverbrauch, private Haushalte) spezifiziert, Unterteilung der Energieverbräuche neben der sektoralen Disaggregation auch nach Energiearten und -trägern

ZEW mittlere Aggregationstiefe, Mehrländer-Mehrsektoren-Modell: 14 EU-Mitgliedsstaaten, Unterscheidung von 18 Gütern (Sektoren), Differenzierung von 13 Ausgabenkategorien der Haushalte, Unterscheidung von 11 Einnahme- und Ausgabearten des Staates

JÜLICH MIS: 30 Sektoren, Optimierungsmodell: Prozeßstrahlen

DIW IOM: 58er Disaggregation, GÖM: Modellierung nur auf Makroebene

Frage 22: Existiert ein eigenständiger Umweltteil, der die relevanten chemischen und biologischen Wirkungszusammenhänge abbildet?

UniOS Nein

RWI Nein

ZEW Ja, teilweise, durch Berücksichtigung sekundärer Luftschadstoffe

JÜLICH Nein

DIW Nein

Frage 23: Wie interagiert dieser Umweltteil mit den übrigen Modellteilen?

UniOS —

RWI —

ZEW gegenwärtig noch nicht

JÜLICH —

DIW —

Frage 24: Kann das Modell sogenannte abgeleitete Umwelteffekte erfassen?

UniOS Nein

RWI Nein

ZEW Ja, teilweise, durch Modellierung sekundärer Luftschadstoffe

JÜLICH Berechnung von Treibhausäquivalenten möglich

DIW Nein

Frage 25: Existieren Umweltindikatoren für die Umweltmedien (Wasser, Luft, Boden)?

UniOS für Luftschadstoffe

RWI Nein

ZEW Nein

JÜLICH für Luftschadstoffe

DIW Nein

Frage 26: Können technische Innovationen angemessen berücksichtigt werden?

UniOS Nein, Fortschreibung durch Zeittrends und technischer Fortschritt bei Inputkoeffizienten über Preisabhängigkeiten

RWI Nein, aber Möglichkeit der Einbeziehung technologischen Wissens von außen

ZEW Nein, Fortschreibung durch einfache Zeittrends. In der Planung befindet sich allerdings ein eigenständiges F&E-Modell.

JÜLICH Ja, aber nur im Energiebereich bis zum Jahr 2020

DIW Nein

Frage 27: Ist die Interdependenz Ökonomie/Technik/Ökologie angemessen abgebildet?

UniOS Nein

RWI Nein

ZEW Nein

JÜLICH Nein

DIW Nein

A.3 Die ökonometrische Beurteilungsebene

Frage 28: Um welchen Modelltyp handelt es sich?

UniOS interdependentes ökonometrisches Mehrgleichungsmodell

RWI in Blöcken interdependentes ökonometrisches Mehrgleichungsmodell

ZEW rekursiv-statisches angewandtes allgemeines Gleichgewichtsmodell

JÜLICH MIS: rekursives Modell

DIW IOM: LSD-Modellierung, **GÖM**: interdependentes Mehrgleichungsmodell

Frage 29: Aus wievielen Gleichungen besteht das Modell?

UniOS ca. 34.000 Gleichungen

RWI ca. 2.700 Gleichungen

ZEW ca. 60.000 Gleichungen

JÜLICH keine Angaben

DIW **GÖM**: 300 Gleichungen

Frage 30: Ist das Spezifikationsverfahren hinreichend genau dokumentiert oder wird lediglich das „Endergebnis“ präsentiert?

UniOS nur das Endergebnis

RWI nur das Endergebnis

ZEW nur das Endergebnis

JÜLICH nur das Endergebnis

DIW nur das Endergebnis

Frage 31: Welche Spezifikationstests wurden durchgeführt?

UniOS multiples Bestimmtheitsmaß R^2 , t-Test, Durbin-Watson-Test

RWI multiples Bestimmtheitsmaß R^2 , Durbin-Watson-Test, MAPE

ZEW keine Aussage möglich

JÜLICH keine Angaben

DIW multiples Bestimmtheitsmaß R^2 , t-Test, Durbin-Watson-Test

Frage 32: Von welchem Typ ist das Verfahren der Parameterbestimmung?

UniOS OLS

RWI OLS

ZEW Kalibrierung

JÜLICH MIS: Keine Angaben

DIW OLS

Frage 33: Ist das Verfahren der Parameterbestimmung hinreichend genau dokumentiert?

UniOS Verfahren klar

RWI Verfahren klar

ZEW Bestimmung der Parameterwerte aus unterschiedlichen Quellen; nicht nachvollziehbar

JÜLICH Nein

DIW Verfahren klar

Frage 34: Eignet sich das Verfahren der Parameterbestimmung für den vorliegenden Modelltyp?

UniOS Nur bedingt

RWI Nur bedingt

ZEW Das für AGE-Modelle übliche Verfahren (Kalibrierung) wird angewandt, allerdings kann nicht von einer angemessenen empirischen Fundierung ausgegangen werden

JÜLICH Keine Aussage möglich

DIW Nur bedingt

Frage 35: Wurden Sensitivitätsanalysen bezüglich der gewählten Parameterkonstellation vorgenommen?

UniOS in Teilbereichen

RWI in Teilbereichen

ZEW in Teilbereichen

JÜLICH in Teilbereichen

DIW in Teilbereichen

Frage 36: Bestätigen die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalysen die gewählte Parameterkonstellation?

UniOS nicht dokumentiert

RWI nicht dokumentiert

ZEW nicht dokumentiert

JÜLICH nicht dokumentiert

DIW nicht dokumentiert

Frage 37: Treten in Verhaltensgleichungen und/oder Identitäten Nichtlinearitäten auf?

UniOS Verhaltensgleichungen linear in den Parametern, mit z.T. logarithmierten Variablen, Definitionsgleichungen auch nichtlinear

RWI Verhaltensgleichungen linear in den Parametern, Definitionsgleichungen auch nichtlinear

ZEW nichtlineares AGE-Modell, Unterscheidung zwischen Verhaltensgleichungen und Identitäten nicht sinnvoll

JÜLICH Verhaltensgleichungen sind linear in den Parametern

DIW Verhaltensgleichungen sind linear in den Parametern

Frage 38: Ist das Modell hinreichend genau auf seine Stabilitätseigenschaften untersucht worden?

UniOS nur über Sensitivitätsanalysen

RWI nur über Sensitivitätsanalysen

ZEW nur über Sensitivitätsanalysen

JÜLICH nur über Sensitivitätsanalysen

DIW nur über Sensitivitätsanalysen

Frage 39: Wird im oder außerhalb des Schätzzeitraumes simuliert?

UniOS außerhalb

RWI außerhalb

ZEW außerhalb

JÜLICH außerhalb

DIW außerhalb

A.4 Die Ebene des Datenbedarfs

Frage 40: Welche Daten werden für das Modell benötigt?

UniOS Daten aus der amtlichen Statistik Deutschlands, insbesondere IO-Tabellen 1978-1993, VGR-Daten 1970-1995, UGR-Daten: Luftschadstoffemissionen, Energieträgerinputs 1978-1991.

RWI Daten aus der amtlichen Statistik Deutschlands, außerdem IO-Tabellen des RWI, Konsumverflechtungsmatrix des RWI, Investitionsverflechtungsmatrix des ifo-Instituts (bis 1991), Daten einzelner Fachverbände (z.B. VDZ)

ZEW Daten aus der amtlichen Statistik Europas, insbesondere IO-Tabelle des Jahres 1985, Eurostat, nationale amtliche Statistiken

JÜLICH Prozeßstrahlen der Energietechnologien bis zum Jahr 2020, Endnachfragekomponenten der 30 Sektoren, IO-Tabellen, VGR-Daten

DIW VGR-Daten des Statistischen Bundesamtes und eigener Berechnungen, IO-Matrizen des statistischen Bundesamtes mit eigenen Berechnungen, Arbeitsmarktdaten des IAB

Frage 41: Sind diese Daten auch aktuell verfügbar?

UniOS Lag von ca. 3 Jahren

RWI Lag von zur Zeit acht Jahren

ZEW kein aktueller Datenbedarf nötig

JÜLICH Ja

DIW Ja, aber Probleme durch Wiedervereinigung

Frage 42: Welche Daten werden aus den amtlichen Umweltstatistiken verwendet?

Unios im wesentlichen: Luftschadstoffemissionen, disaggregiert nach 58 Sektoren

RWI im wesentlichen: Energieflußrechnungen und Emissionskoeffizienten im Energie-Modellteil

ZEW im wesentlichen: EMEP-Matrizen des atmosphärischen Schadstofftransports, energiebedingte Emissionen von Kohlendioxid (CO_2), Schwefeldioxid (SO_2) und Stickoxiden (NO_x) für 11 Sektoren und Haushalte (aus EU-Quellen)

JÜLICH Energie- und Schadstoffdaten im wesentlichen aus nichtamtlichen Statistiken

DIW CO_2 -Emissionskoeffizienten

B Anmerkungen der Modellautoren zum Simulationsexperiment

B.1 B. Meyer: Das umweltökonomische Modell PANTA RHEI: Simulationsergebnisse im Rahmen des Projekts „Modellvergleich“

B.1.1 Das Modell im Überblick

PANTA RHEI ist eine zur Analyse umweltökonomischer Fragestellungen erweiterte Version des disaggregierten ökonomischen Simulations- und Prognosemodells INFORGE (INterindustry FORecasting GErmany). Das Modell unterteilt die Volkswirtschaft in 58 Produktionsbereiche.

Im Vergleich zum ökonomischen Kernmodell INFORGE enthält PANTA RHEI zusätzlich ein tief gegliedertes Energie- und Luftschadstoffmodell, welches den Energieeinsatz und die Emissionen der wesentlichen Luftschadstoffe für die 58 Produktionsbereiche sowie die privaten Haushalte nach 29 Energieträgern unterscheidet. Dabei sind auch die nicht-energiebedingten Luftschadstoffemissionen modelliert.

Die besondere Leistungsfähigkeit des Modells beruht auf der INFORUM-Philosophie. Sie ist durch die Konstruktionsprinzipien bottom up und vollständige Integration gekennzeichnet. Das Konstruktionsprinzip bottom up besagt, daß jeder Sektor der Volkswirtschaft sehr detailliert (PANTA RHEI enthält etwa 250 Variablen für jeden der 58 Sektoren) modelliert und die gesamtwirtschaftlichen Variablen durch explizite Aggregation im Modellzusammenhang gebildet werden. Das Konstruktionsprinzip vollständige Integration beinhaltet eine komplexe und simultane Modellierung von Ökonomie und Ökologie, die die interindustrielle Verflechtung ebenso beschreibt wie die Entstehung und die Verteilung der Einkommen, den Energieverbrauch und die Schadstoffemissionen, die Umverteilungstätigkeit des Staates sowie die Einkommensverwendung der privaten Haushalte für die verschiedenen Güter und Dienstleistungen.

PANTA RHEI ist Bestandteil des internationalen Modellverbunds INFORUM, in dem die einzelnen Ländermodelle auf der Ebene der Gütergruppen über die Export- und Importströme sowie die zugehörigen Außenhandelspreise miteinander verflochten sind.

Der disaggregierte Aufbau des Modells PANTA RHEI schlägt sich in einer gewaltigen und dennoch konsistenten Informationsverarbeitung nieder: Die über 30.000 Modellgleichungen sind in das vollständig endogenisierte Kontensystem der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen eingebettet. Damit

ist insbesondere auch die Umverteilung der Einkommen durch den Staat endogen abgebildet.

Einen Einblick in die Struktur des Modells gibt das in der Abb. 1 dargestellte Flußdiagramm. Das INFORUM-Welthandelsmodell liefert den Vektor der Weltimportnachfrage nach Gütergruppen, den Vektor der Weltmarktpreise nach Gütergruppen sowie den US-Zinssatz. Der Vektor der Weltmarktpreise enthält natürlich auch die benötigten Energiepreise des Weltmarktes.

Die Endnachfrage umfaßt in der Disaggregation der 58 Gütergruppen den Konsum der privaten Haushalte, den Staatskonsum, die Ausrüstungsinvestitionen, die Bauinvestitionen, die Exporte und die Fertigproduktimporte. Im Konsum der privaten Haushalte ist die Nachfrage nach 29 Energieträgern enthalten.

Die wichtigsten Determinanten der Endnachfrage sind die Auslandsvariablen (Exporte), das verfügbare Einkommen der privaten und der öffentlichen Haushalte (privater Konsum, Staatskonsum), die Zinsen und Gewinne (Investitionen) sowie die Preise bei allen Komponenten der Endnachfrage.

Der Konsum der privaten Haushalte nimmt Einfluß auf die Luftschadstoffemissionen. Die Endnachfrage insgesamt bestimmt mit der Vorleistungsnachfrage die Produktion.

Die Vorleistungsnachfrage ist im Modell einschließlich der Energieumwandlung und des Energieverbrauchs der Unternehmen abgebildet. Von den 58 Gütergruppen der Input-Output-Rechnung sind fünf (Kohle, Gas, Erdöl, Elektrizität, Mineralöl) Energieträger. Sie werden im Modell noch einmal für die belieferten 58 Sektoren in jeweils 29 Energieträger untergliedert. Für alle Gütergruppen werden die Lieferungen aus inländischer Produktion und die Importe unterschieden. Die Inputkoeffizienten sind dabei grundsätzlich variabel und hängen von relativen Preisen und Zeittrends ab.

Die energetischen Luftschadstoffemissionen für CO_2 , NO_x und SO_2 sind über konstante (CO_2) bzw. variable (NO_x und SO_2) Emissionskoeffizienten mit dem Verbrauch der privaten Haushalte und der 58 Unternehmenssektoren in der Tiefengliederung der 29 Energieträger verknüpft. Hinzu kommen die prozeßbedingten Emissionen, die von der Produktion in den einzelnen Wirtschaftszweigen abhängen.

Je nach modellierter Umweltpolitik nehmen die Emissionen Einfluß auf die Stückkosten der Unternehmen und das Steueraufkommen des Staates.

Die wichtigsten Determinanten der Beschäftigung sind die Produktion und der Reallohn des jeweiligen Sektors. Die Löhne werden wiederum durch die Produktivitäts- und die Preisentwicklung bestimmt. Die Gewinne und die Stückkosten ergeben sich definitorisch. Die Stückkosten sind dann die entscheidende Determinante der Preise.

Neben der tief gegliederten Ebene der Gütergruppen enthält das Modell

zur Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Variablen die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung der Bundesrepublik Deutschland mit ihren institutionellen Transaktoren Öffentliche Haushalte, Private Haushalte, Unternehmen, Ausland und den funktionellen Transaktoren Produktion, Einkommensentstehung, Einkommensverwendung, Einkommensverteilung, Einkommensumverteilung, Vermögensänderung und Finanzierung. Dieses System enthält die gesamte Einkommensumverteilung einschließlich Sozialversicherung und Besteuerung zwischen Staat, privaten Haushalten und Unternehmen und ermöglicht so die Berechnung der verfügbaren Einkommen, die wiederum wichtige Determinanten der Endnachfrage sind. Außerdem werden die Finanzierungssalden der institutionellen Transaktoren bestimmt, die u. a. die Zinsen erklären.

Endogen eingebunden in dieses System ist somit die gesamte Fiskalpolitik. Die Geldpolitik - soweit sie Einfluß auf das Zinsniveau nimmt - ist gleichfalls endogen. Hervorzuheben ist, daß das gesamte System simultan gelöst wird. Dabei sind allein die Variablen des INFORUM-Welthandelsmodells exogen vorgegeben. Da PANTA RHEI bzw. INFORGE selbst Bestandteil dieses Welthandelsmodells ist, sind allerdings auch diese Variablen zumindest in einem linked-run aller 13 Modelle des INFORUM-Systems endogen bestimmt.

B.1.2 Die ex-post-Prognose

Die folgenden Graphiken geben einen Eindruck von der Qualität einer historischen Simulation für die Jahre 1980 - 1990 für die Variablen

- Bruttoinlandsprodukt,
- Arbeitslosenquote,
- Anteil des Einkommens aus unselbständiger Arbeit am Nettoinlandsprodukt zu Faktorkosten,
- Staatsquote,
- Außenhandelsüberschuß,
- CO_2 -Emissionen,
- NO_x -Emissionen und
- SO_2 -Emissionen.

Die Entwicklung der gesamtwirtschaftlichen Variablen wird gut getroffen. So liegt der Absolutbetrag der durchschnittlichen relativen Abweichung beim Bruttoinlandsprodukt zum Beispiel nur bei 1,0%. Der mittelfristige Verlauf mit der Stagnationsphase zu Beginn der achtziger Jahre und der anschließenden kräftigen Wachstumsphase wird vom Modell exakt nachgezeichnet.

Die durchschnittliche Jahreswachstumsrate betrug über den gesamten Zeitraum historisch 2,1% und in der Modellrechnung 2,0%.

Von ähnlicher Qualität sind auch die ex-post-Prognosen für die anderen Variablen. Bemerkenswert ist sicherlich die hervorragende Anpassung für den Außenhandelsüberschuß, der als Saldo besonders schwierig zu prognostizieren ist. Die einzige bei dieser Variablen auftretende größere Abweichung befindet sich in dem durch politische und ökonomische Schocks gekennzeichneten Jahr 1990.

Die Qualität der ex-post-Prognose muß natürlich auch vor dem Hintergrund des hohen Endogenisierungsgrades des Modells gesehen werden.

B.1.3 Die Ergebnisse der Politiksimulationen

Vorbemerkungen

Im Rahmen des Projekts Modellvergleich wurden neben der Basisprognose fünf Politiksimulationen für jeweils zwei Zeiträume

- 1980 bis 1990 und
- 1999 bis 2010

gerechnet.

Kern der Simulationen war die Analyse der Wirkungen der Einführung einer CO_2 -Steuer, die von 10 DM im Startjahr (1980 bzw. 1999) auf 210 DM in Preisen von 1995 für das Endjahr (1990 bzw. 2010) linear anzuheben war. Von etwaigen Konflikten der beschriebenen Maßnahme mit dem Verbrauchsteuer-Binnenmarktgesetz soll abgesehen werden. Wir haben letzteren Punkt dahingehend interpretiert, daß der Inportpreis für elektrischen Strom dem Inlandspreis folgt, weil entweder der importierte elektrische Strom mit einer entsprechenden Steuer belegt wird oder im europäischen Ausland eine Parallelpolitik betrieben wird.

Bei der Verwendung des Steueraufkommens werden fünf Varianten unterschieden:

Simulation 1: keine Kompensation

Thesaurierung: Das Steueraufkommen wird dem Kreislauf entzogen und dient auch nicht der Schuldentilgung

Simulation 2: Kompensation

- a: Das Steueraufkommen wird zur Schuldentilgung verwendet.
- b: Die Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung werden reduziert
- c: Die Arbeitnehmerbeiträge zur Sozialversicherung werden reduziert
- d: 50% des Steueraufkommens werden zur Schuldentilgung, 25% zur Reduktion der Arbeitgeberbeiträge und 25% zur Reduktion der Arbeitnehmerbeiträge verwendet.

Die Erstellung der Rechnungen erforderten keine Anpassungsarbeiten für das Modell, weil alle gewünschten Variablen bereits endogene Größen des Modells waren. Bei dem hohen Endogenisierungsgrad war auch die Erstellung des Basisszenarios kein Problem: Es wurde für die Berechnung des Basis- bzw. Referenzszenarios lediglich die Vorgabe für die Welthandelsvariablen benötigt, die der aktuellen INFORUM-Prognose entnommen wurden. Das INFORUM-Welthandelsmodell liefert im Durchschnitt über alle Gütergruppen eine durchschnittliche Jahreswachstumsrate von 3,9% für die Weltimporte und für den Vektor der Weltmarktgutpreise einen durchschnittlichen Anstieg von 2,7%. Es sei noch einmal betont, daß für alle Gütergruppen unterschiedliche Entwicklungen vom INFORUM-Welthandelsmodell prognostiziert werden.

Für den Dollar wurde für den gesamten Zeitraum ein Wert von 1,75 DM unterstellt, der Kurs des Yen wurde bei 1,45 (100 Yen) fixiert. Die europäischen Währungen behielten ihre Relationen von 1997, was im Hinblick auf den Euro sicherlich auch zutreffend ist.

Um etwaige Beschäftigungseffekte auf die private Wirtschaft beschränken zu können, haben wir die Beschäftigung beim Staat exogenisiert. Wir unterstellen in allen Simulationen, daß der Staat mit konstanter Beschäftigung zumindest relativ „schlank“ bleibt.

Die Ergebnisse der Rechnungen unterscheiden sich für die beiden Zeiträume (1980 - 1990 bzw. 1999 - 2010) beträchtlich. Der Grund ist darin zu sehen, daß die Wirtschaftsstrukturen in den achtziger Jahren deutlich anders gewesen sind als die, die für das kommende Jahrzehnt zu erwarten sind. Der gesamtwirtschaftliche Emissionskoeffizient für CO_2 (CO_2 -Emissionen in kg pro DM Bruttoinlandsprodukt in Preisen von 1991) betrug im Jahre 1980 0,38 kg/DM und im Jahre 1996 0,26 kg/DM. Schon diese Vergleichsziffer macht deutlich, daß eine bestimmte Politikmaßnahme sehr unterschiedliche Wirkungen zeigen muß.

In dem Datensatz, der der Arbeitsgruppe zur Verfügung gestellt wurde, sind alle Simulationen für beide Zeiträume enthalten. Hier soll aber nur auf die Ergebnisse für den Zeitraum 1999 - 2010 Bezug genommen werden.

Vergleich der ex-ante-Simulationen

In der Tabelle 1 sind die Ergebnisse für die wichtigsten gesamtwirtschaftlichen Variablen und die Emissionen der 3 Luftschadstoffe CO_2 , NO_x und SO_2 in Absolutbeträgen wiedergegeben. Dargestellt sind für das Jahr 2010 die Werte dieser Größen in den verschiedenen Steuerszenarien und der Wert, den sie im Basislauf (ohne CO_2 -Steuer) haben.

Zunächst ist festzustellen, daß das Bruttoinlandsprodukt in allen Steuerszenarien niedriger ist als im Basislauf. Die stärkste Einbuße ergibt sich natürlich, wenn keinerlei Kompensation (Nr. 1) vorgesehen ist. Wird das Steueraufkommen zur Schuldentilgung (2a) verwendet, so sind die unmittelbaren Entzugswirkungen im Kreislauf dieselben, aber durch die Reduktion der staatlichen Kreditnachfrage vermindert sich der Zins und es steigen die Investitionen leicht an. Dies erklärt den leicht höheren Wert des BIP im Szenario 2a gegenüber dem Wert des Szenarios 1.

Wird das Steueraufkommen zur Reduktion der Sozialversicherungsbeiträge eingesetzt, so sind die Einbußen beim Bruttoinlandsprodukt deutlich geringer als bei der Simulation 2a, weil das Steueraufkommen vollständig in den Kreislauf zurückgeführt wird.

Bei der Variante 2c werden die Arbeitnehmerbeiträge reduziert, wodurch sich verfügbares Einkommen und Konsum der privaten Haushalte erhöhen. Ein noch besseres Ergebnis wird aber erzielt, wenn die Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung vermindert werden. Dies senkt die Lohnkosten der Wirtschaft und führt zu mehr Beschäftigung, was schließlich auch die Nachfrage stärkt. Szenario 2d ist eine Mischung aus den Szenarien 2a, 2b und 2c und liegt mit seinen Ergebnissen deshalb auch im Mittelfeld.

Die Reduktion der Arbeitgeberbeiträge erweist sich auch im Hinblick auf die anderen gesamtwirtschaftlichen Variablen als die bessere Variante. Die Inflationsrate liegt mit 3,0% nur knapp über dem Wert der Basisprognose (2,5%) und die Arbeitslosenquote ist sogar niedriger als im Basiszenario, während sie bei allen anderen Kompensationsvarianten gegenüber der Basislösung ansteigt. Die „doppelte Dividende“ stellt sich also trotz des niedrigeren Wertes des Bruttoinlandsprodukts gegenüber dem Basislauf ein, weil der niedrigere Reallohn den Anstieg der Arbeitsproduktivität soweit reduziert, daß die Beschäftigung ansteigt.

Auch die Staatsquote liegt bei der Reduktion der Arbeitgeberbeiträge günstiger als ein Basislauf und in allen anderen Steuersimulationen.

Der Finanzierungssaldo des Staates verbessert sich natürlich beim Szenario 2a um das Steueraufkommen gegenüber der Thesaurierungsvariante. Warum aber wird eine ähnlich hohe Verbesserung des Finanzierungssaldos erzielt, wenn der Staat das Steueraufkommen nicht einbehält, sondern damit die Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung reduziert? Die Antwort ist, daß bei unterstellter unveränderter Beschäftigung beim Staat und rückläufigen Lohnkosten der Staatsverbrauch fällt. Insofern wundert es auch nicht, daß bei der Reduktion der Arbeitnehmerbeiträge der Finanzierungssaldo des Staates noch ungünstiger als im Basisszenario ist: In diesem Fall fehlt die Reduktion der Lohnkosten und das gegenüber dem Basisszenario niedrigere Bruttoinlandsprodukt führt zu entsprechend geringeren Steuereinnahmen beim Staat. Der Anstieg des Anteils der Einkommen aus unselbständiger Arbeit am Nettoinlandsprodukt zu Faktorkosten steigt in der Simulation ohne Kompensation (Nr. 1) gegenüber dem Basisszenario deutlich an. Somit hat die CO_2 -Steuer eine Kompression der Unternehmensgewinne relativ zur Lohnsumme zur Folge. Die Kompensation der Arbeitgeberbeiträge korrigiert offensichtlich diese Verzerrung der Verteilung, denn im Szenario 2b wird nahezu die Verteilungsquote des Basisszenarios wieder erreicht.

In allen Simulationen sind die Reduktionen der Luftschadstoffemissionen beträchtlich: Bezogen auf das Niveau des Jahres 1990 (ca. 1000 Mio t), das bei der Formulierung von CO_2 -Minderungszielen sehr beliebt ist, vermindern sich die CO_2 -Emissionen zwischen 29% und 33%. Ähnliche Größenordnungen werden durch die reine CO_2 -Steuer auch bei den Schadstoffen NO_x und SO_2 erzielt. Die schwächsten Wirkungen ergeben sich offensichtlich bei der aus der wirtschaftlichen Perspektive günstigsten Politikvariante. Aber die Einbußen beim Umweltziel sind vergleichsweise gering, weshalb die Politikvariante Reduktion der Arbeitgeberbeiträge im folgenden näher betrachtet werden soll. Für einige ausgewählte Makrovariablen gibt die Tabelle 2 die relativen Abweichungen gegenüber der Basisprognose an.

B.1.4 Die Wirkungen einer CO_2 -Steuer bei Kompensation der Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung

Die gesamtwirtschaftlichen Wirkungen

Betrachten wir zunächst in der Abb. 10 die CO_2 -Emissionen. Man sieht, daß die historische Entwicklung zu Beginn der neunziger Jahre durch den Zusammenbruch der Industrie in Ostdeutschland geprägt ist, wodurch die CO_2 -Emission sich dramatisch reduziert hat. Bis zum Jahr 2000 erwarten wir eine weitere schwache Reduktion und danach wiederum einen leichten Anstieg. Die Ursache dafür sind Wachstumsraten des BIP im nächsten Jahrzehnt, die leicht über den Zuwachsraten der Energieproduktivität liegen wer-

den. In dem CO_2 -Steuer-Szenario beobachten wir starke Reduktionen der CO_2 -Emissionen, die deutlich alle bisher für Deutschland formulierten Ziele übertreffen.

Die Abb. 11 vergleicht die Entwicklung des realen Bruttoinlandsprodukts in beiden Simulationen: Der Wachstumspfad der Wirtschaft wird bei einer CO_2 -Steuer etwas flacher verlaufen.

In der Tabelle 4 betrachten wir relative Abweichungen von der Basissimulation für wichtige gesamtwirtschaftliche Variablen. Die Inlandsnachfragevariablen Ausrüstungsinvestitionen und Konsum sind stärker betroffen als die Exporte, die kaum reagieren. Der starke Rückgang des Staatsverbrauchs ist - wie bereits erläutert - auf die Reduktion der Lohnkosten bei angenommener unveränderter Beschäftigung beim Staat zurückzuführen. Die Bauinvestitionen vermindern sich im Gegensatz zu den anderen inländischen Nachfragekomponenten nur sehr wenig, weil einerseits das Sparen von Energie und andererseits der leichte Anstieg der Inflationsrate die Baunachfrage beleben.

Die Reduktion der Endnachfrage schlägt aber nicht auf die Beschäftigung durch, weil die durch die Kompensation erzielte Senkung des Wachstums der Reallöhne das Produktivitätswachstum des Faktors Arbeit verlangsamt. Das Arbeitsvolumen gemessen in Arbeitsstunden ist um 3,3% größer als in der Basisprognose. Da die Einkommensentwicklung sich abschwächt, fallen im Steuerszenario die Arbeitszeiten pro Beschäftigten langsamer als im Basis-szenario, so daß die Zahl der Erwerbstätigen nur um 867.000 zunimmt, was einem relativen Anstieg von 2,5% entspricht. Die Zunahme der Erwerbstätigkeit verteilt sich auf eine Reduktion der Arbeitslosigkeit und der sogenannten „Stillen Reserve“ am Arbeitsmarkt. Im Ergebnis fällt die Reduktion der Arbeitslosenquote mit 6,9% gegenüber 9,1% im Basis-szenario etwas schwächer aus als der Zugang von Beschäftigung ausmacht.

Die Wirkungen auf Preise und Energienachfrage

Die Steuerlast ist für die einzelnen Energieträger sehr unterschiedlich, weil sie einen sehr differierenden Gehalt an CO_2 besitzen. So zeigt Abbildung 12, daß der Preis für Rohbraunkohle im Jahre 2010 um 500% über dem Wert der Basisprognose liegen wird, während Gas nur um 150% im Preis steigen wird.

Elektrizität wird nicht besteuert. Ihr Preis steigt, weil die Produktionskosten durch den Anstieg der Preise der fossilen Energieträger zunehmen. Wir haben bei der Elektrizität deshalb einen schwächeren Preisanstieg, weil die Preise für Kernenergie, Wind- und Wasserenergie und die anderen Produktionsfaktoren konstant bleiben bzw. der Lohn sogar deutlich fällt.

Im Gegensatz zur Elektrizität werden die Mineralöle - die auch als sekundäre Energieträger anzusehen sind - durchaus besteuert, soweit sie verbrannt

werden. Folgerichtig wird Rohöl nicht besteuert, weil beim Einsatz dieses Rohstoffs keine Emissionen entstehen.

Die Wirkungen auf ausgewählte Güterpreise sind in der Abbildung 13 dargestellt. Die stärksten Effekte ergeben sich natürlich in den energieintensiven Sektoren Stahl und Nichteisen-Metall. Aber wir müssen in Betracht ziehen, daß eine Abweichung von +8,9% im Jahre 2010 bedeutet, daß die Zuwachsrate dieses Preises nur 0,7% pro Jahr höher sein wird als im Basisszenario. Bemerkenswert ist, daß die Sektoren Chemie, Elektrotechnik, Maschinenbau und Fahrzeugbau, die etwa 2/3 der deutschen Exporte liefern, entweder kaum Preissteigerungen oder gar Preissenkungen aufweisen. Hier werden die steigenden Energiekosten durch die fallenden Lohnzuwächse mehr als kompensiert.

In Abbildung 14 sind die Wirkungen der CO_2 -Steuer auf wichtige Energieträger zusammengefaßt. Übereinstimmend mit unseren Erwartungen reduziert sich die Nachfrage nach Rohbraunkohle am stärksten, während Gas die geringsten Einbußen hat.

Die Wirkungen auf Produktion und Beschäftigung

Abbildung 15 zeigt, daß sich die Produktionseffekte auf den Energiesektor - und in einer abgeschwächten Form auf die energieintensiven Sektoren Stahl und Nicht-Eisen-Metalle konzentrieren. Der Kohlebergbau würde die Hälfte seiner Produktion verlieren, was diesen Sektor natürlich in seiner Existenz trübe.

Alle anderen Sektoren sind aber kaum betroffen. Über alle Sektoren (die Energiesektoren sind eingeschlossen) ergibt sich im Steuerszenario ein Rückgang von 5,4% für das Jahr 2010 im Vergleich zum Basisszenario. Wirklich vernachlässigbar sind die Wirkungen im industriellen Herzen Deutschlands, das durch die Sektoren Fahrzeugbau, Maschinenbau, Elektrotechnik und Chemie repräsentiert wird.

In Abbildung 16 betrachten wir die Wirkungen auf die Arbeitsstunden in ausgewählten Sektoren. Beschäftigungseinbrüchen im Kohlebergbau und in den Sektoren Stahl und Nichteisen-Metallen stehen Gewinne in allen anderen Bereichen gegenüber.

Über alle Sektoren wächst das Arbeitsvolumen gemessen in Arbeitsstunden um 3,3%.

Was bedeutet dies nun in Absolutbeträgen? Abbildung 17 zeigt, daß der arbeitsintensive Sektor „Sonstige marktbestimmte Dienstleistungen“ die stärkste Expansion der Beschäftigung aufweist. Wir haben aber auch deutliche Beschäftigungsgewinne in vielen Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes.

Die Last für die Privaten Haushalte

Ohne die CO_2 -Steuer wird der Benzinpreis im Jahre 2010 bei 2,15 DM/l liegen (vgl. Tabelle 5). Im Steuerszenario wird dieser für den privaten Verbrauch wichtige Preis bei 3,27 DM/l zu erwarten sein und somit - wie der Preis für elektrischen Strom - vergleichsweise moderat ansteigen. Kräftigere Zuwächse sind dagegen beim Heizöl und beim Gas zu erwarten.

Der nominale Anteil der drei Energieverbrauchskategorien Kraftstoff, Heizung und Elektroazität am gesamten Verbrauch war 6,1% im Jahre 1991 (Tabelle 6). Im Basisszenario würde sich eine leichte Verminderung bis zum Jahre 2010 auf 5,8% ergeben, weil mit technischem Fortschritt vor allem beim Kraftstoffverbrauch zu rechnen ist. Nach der Einführung der CO_2 -Steuer werden die Haushalte nicht in der Lage sein, steigende Energiepreise durch Verbrauchsrückgänge zu kompensieren. Deshalb wird der nominale Anteil des Energiekonsums im Jahre 2010 auf 9,1% im Steuerszenario ansteigen. Besonders kräftig schlagen hier die Heizkosten zu Buche.

Abbildung 1: Die Struktur des umweltökonomischen Modells
PANTA RHEI 3

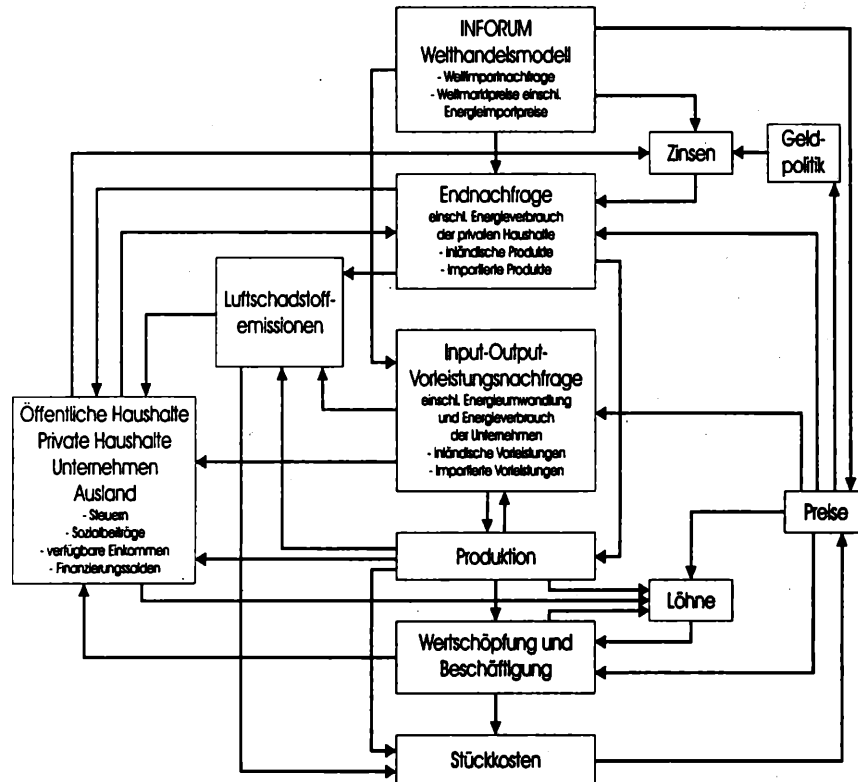


Abbildung 2:

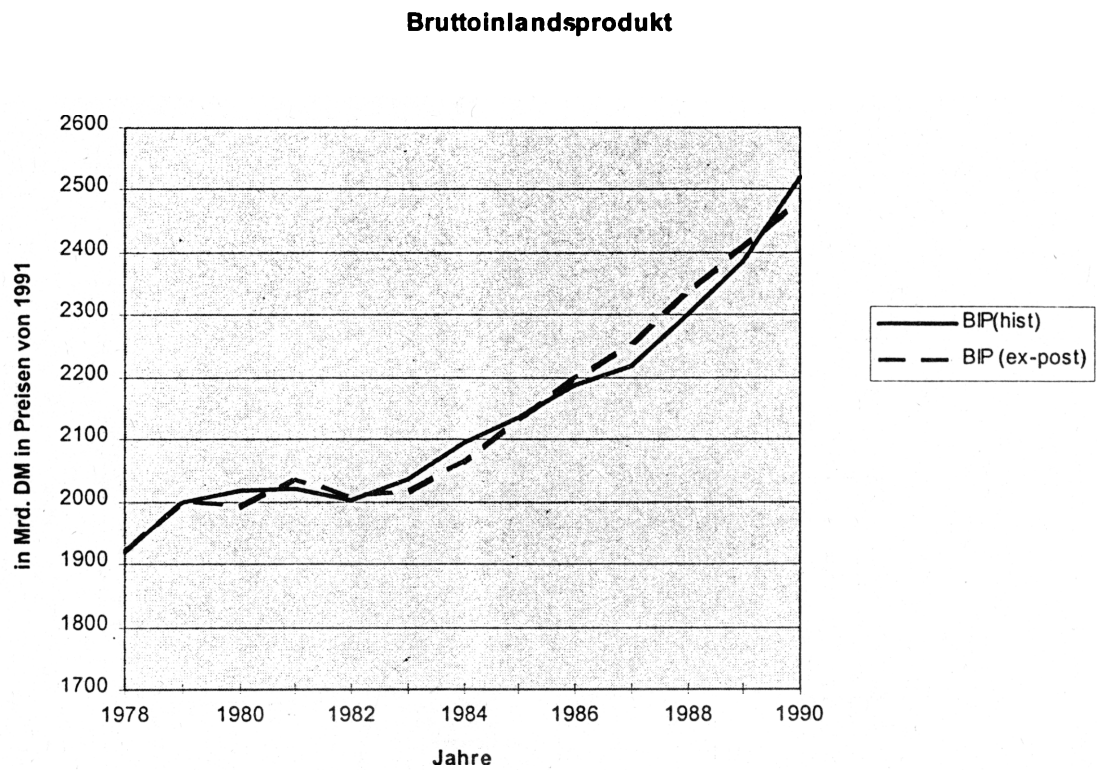


Abbildung 3:

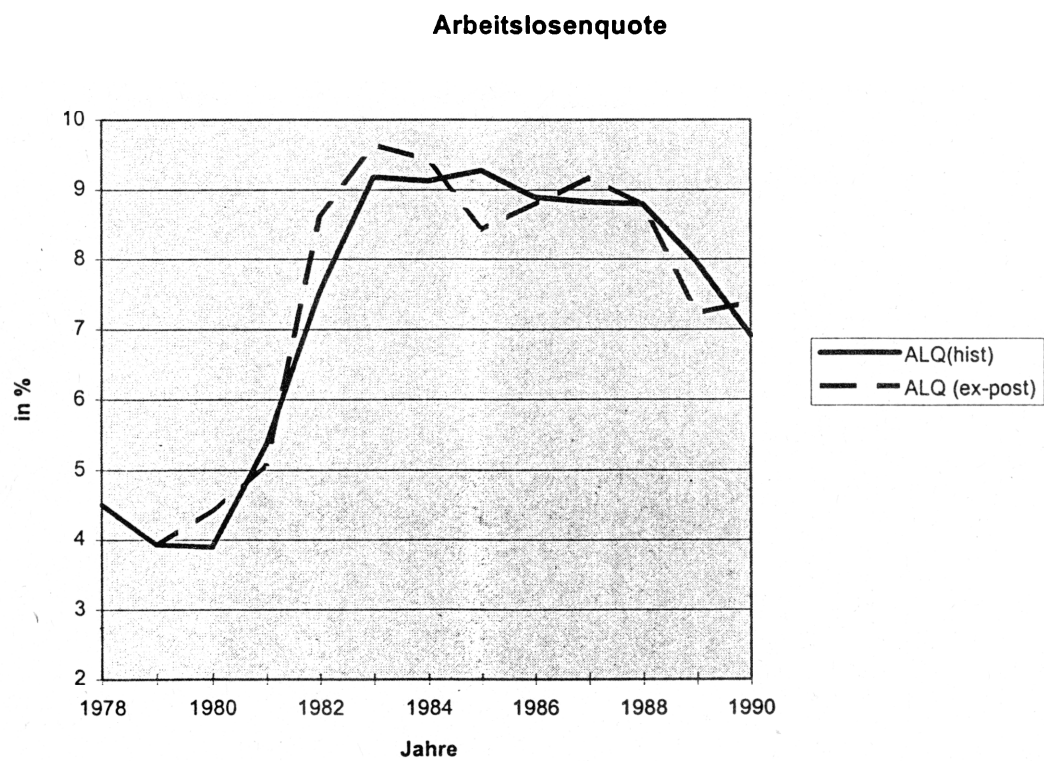


Abbildung 4:

**Anteil des Einkommens aus unselbständiger Arbeit am
Nettoinlandsprodukt zu Faktorkosten**

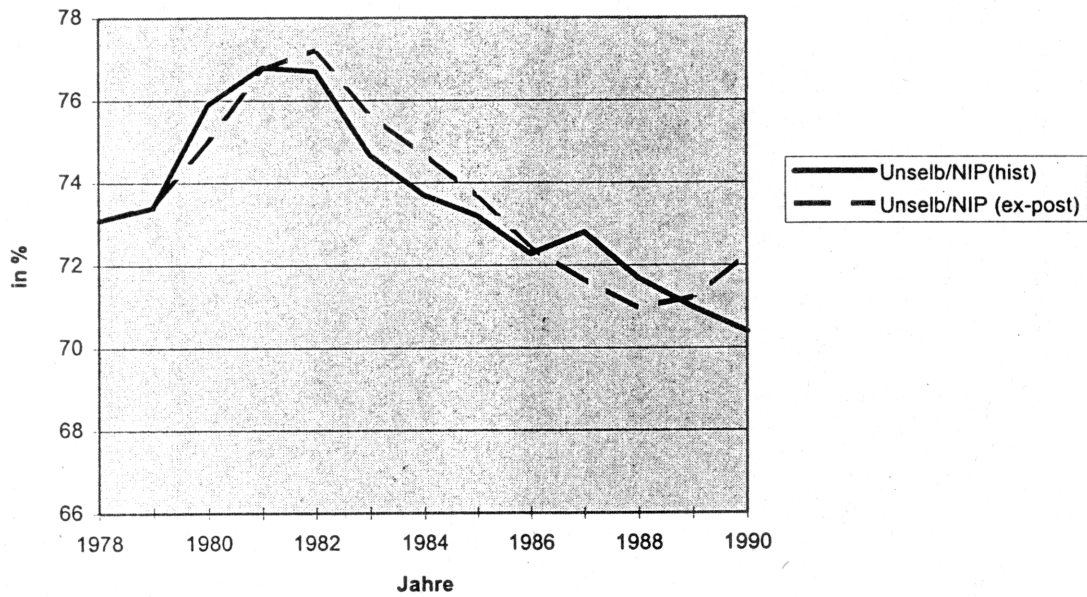


Abbildung 5:

Staatsquote

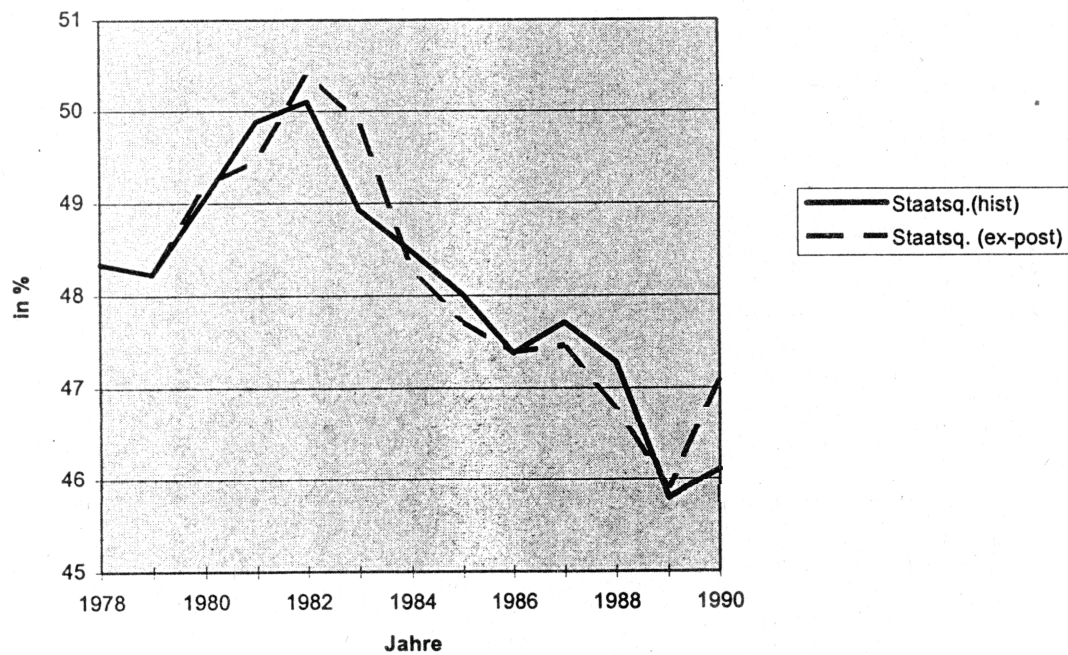


Abbildung 6:

**Außenhandelsüberschuß bzw. -defizit
in der Abgrenzung der Input-Output Rechnung**

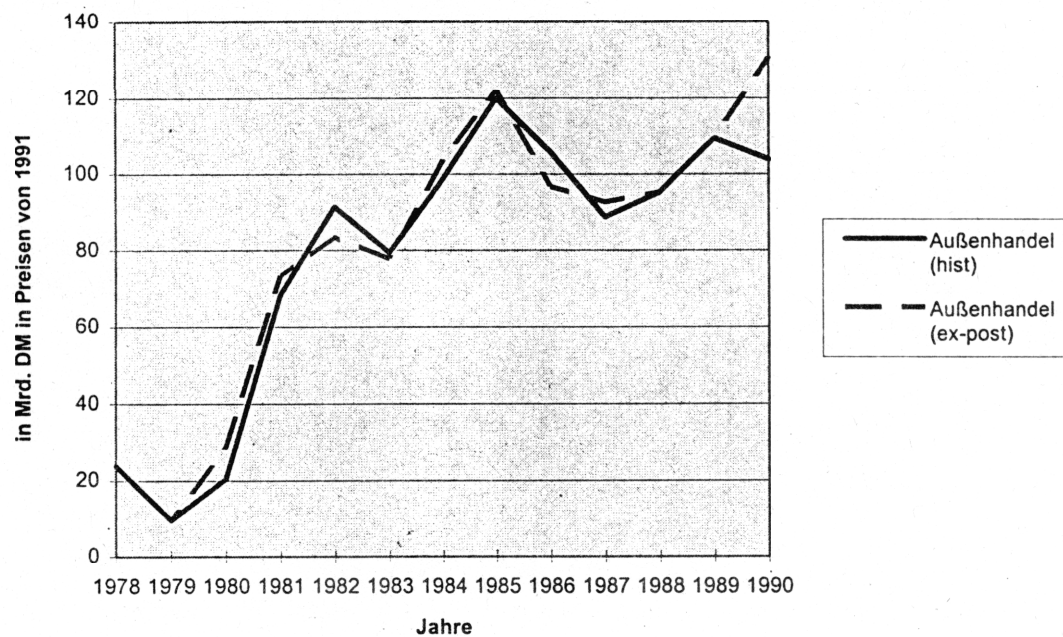


Abbildung 7:

Kohlendioxid - Emissionen

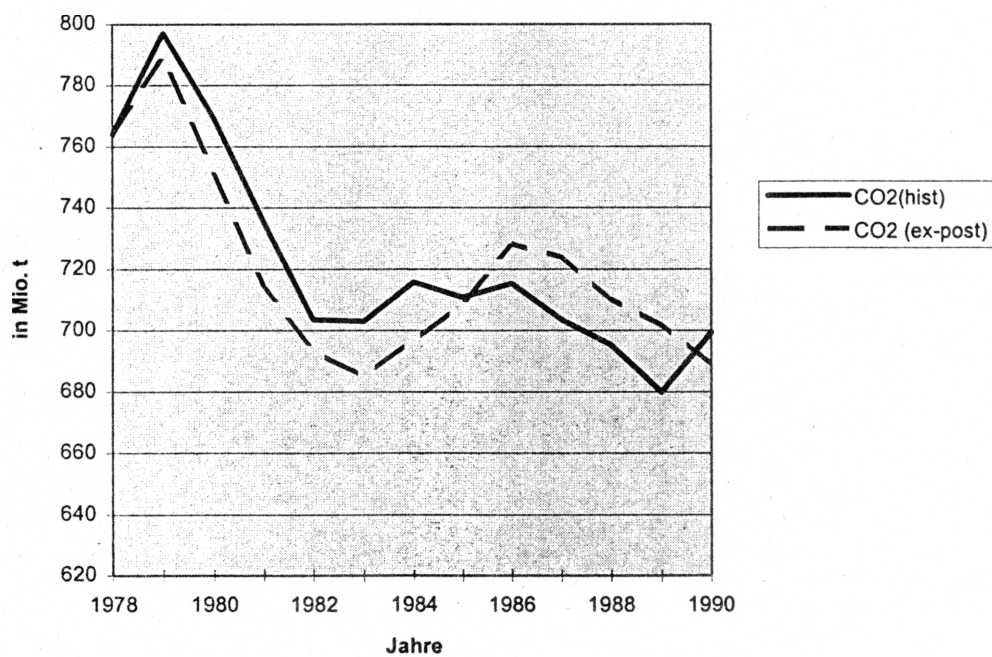


Abbildung 8:

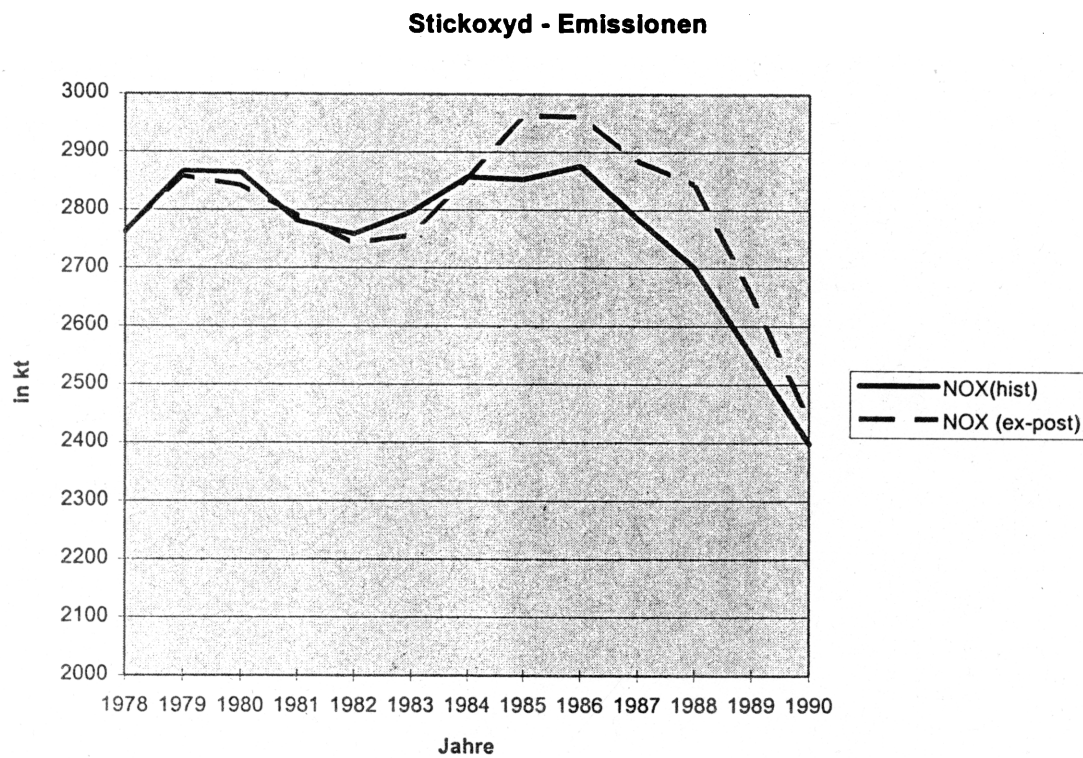
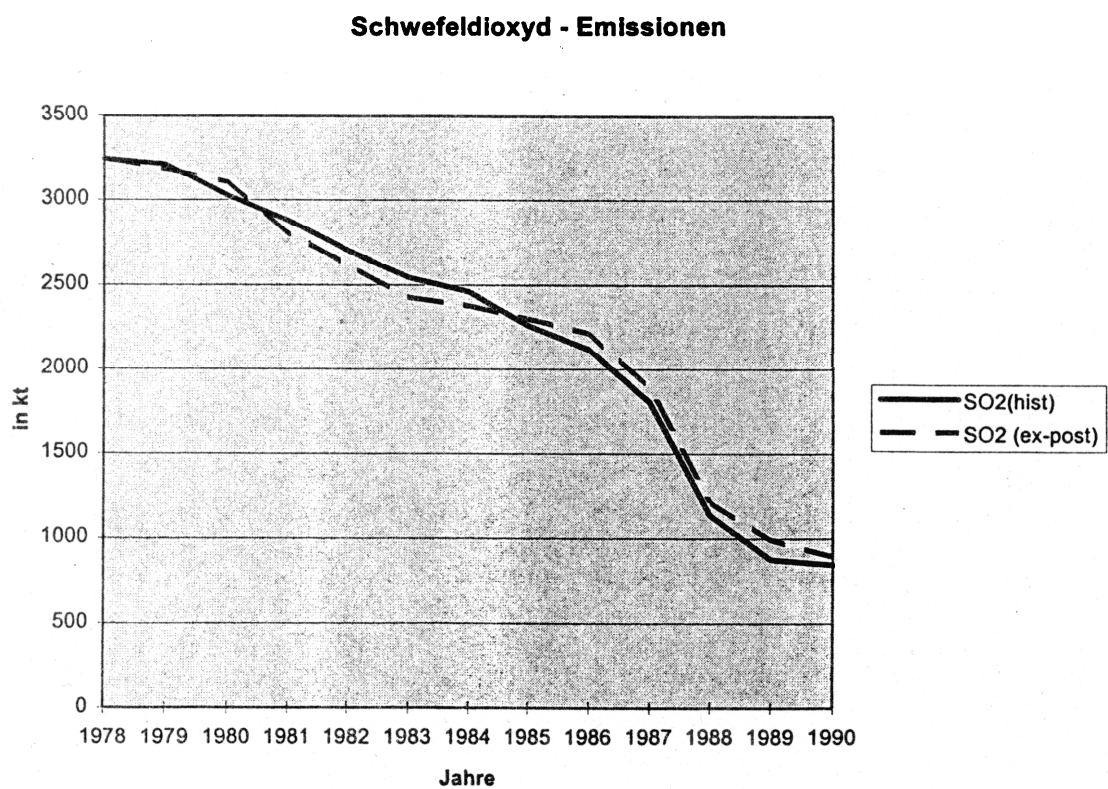
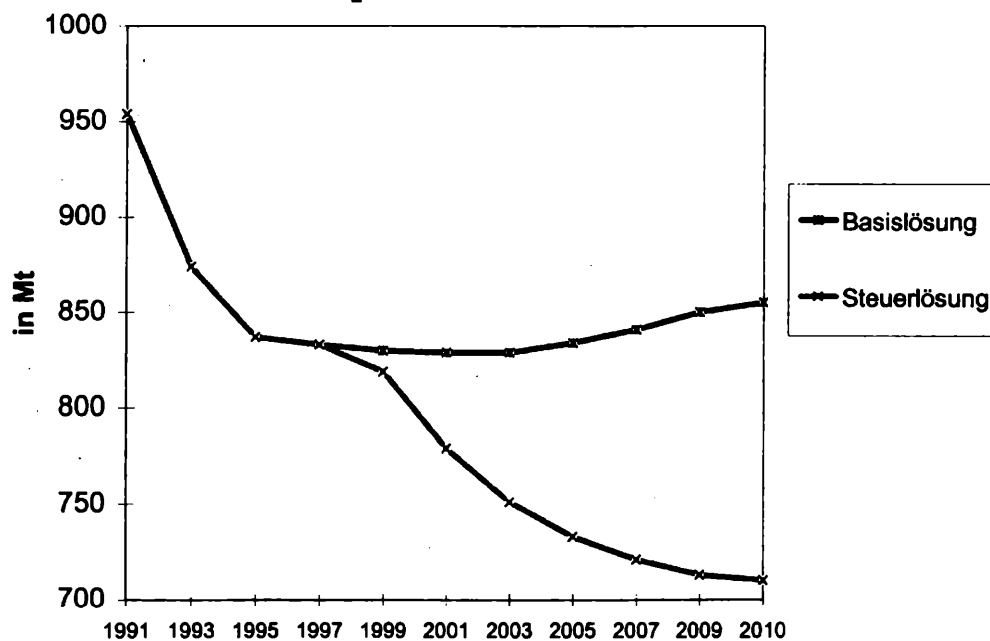


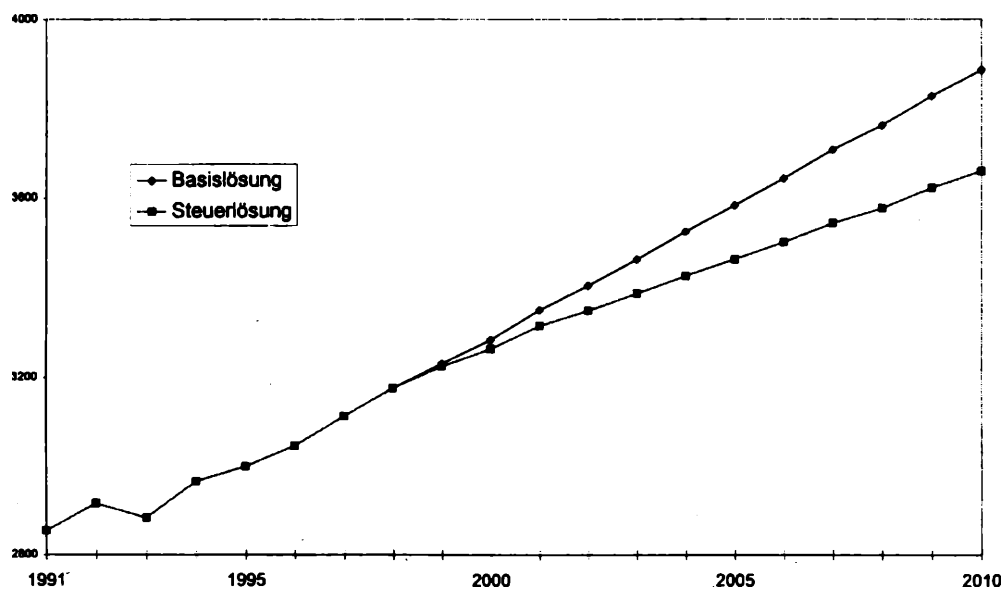
Abbildung 9:



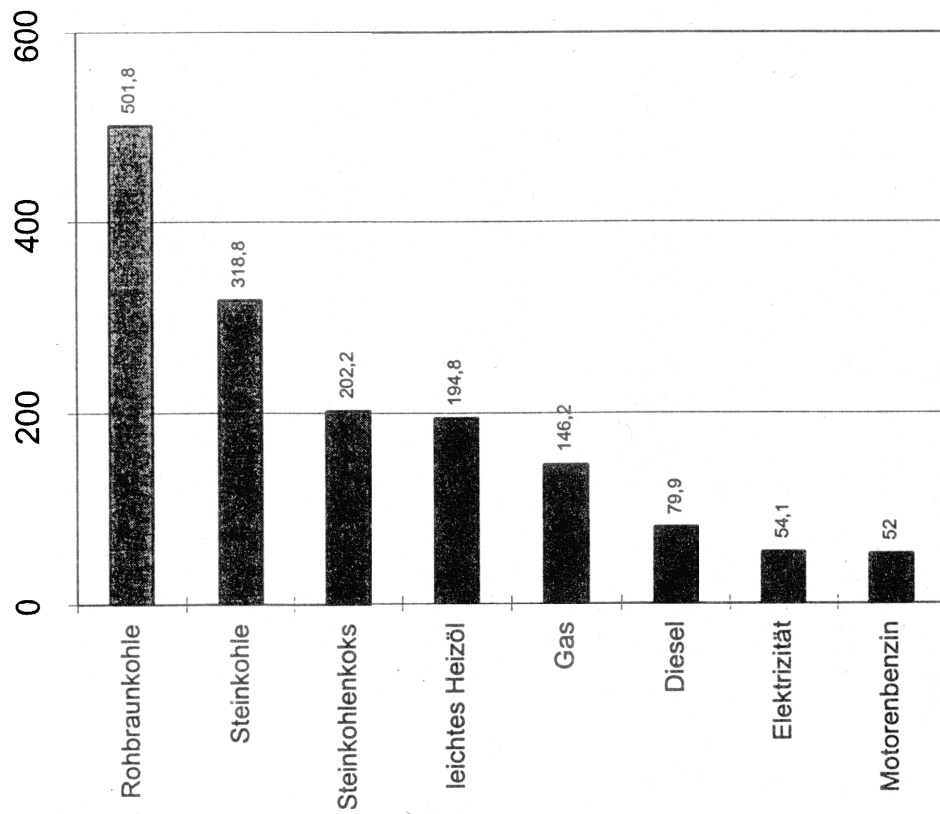
**Abbildung 10:
CO₂-Emissionen**



**Abbildung 11: BIP in Mrd. DM in Preisen von 1991 in der
Basis- und in der Steuerlösung**



**Abbildung 12: Veränderung ausgewählter
Energieträgerpreise in 2010 in der
Steuerlösung gegenüber der Basislösung
in v. H.**



**Abbildung 13: Veränderung ausgewählter
Bruttoproduktionspreise in 2010 in der
Steuerlösung gegenüber der Basislösung
in v.H.**

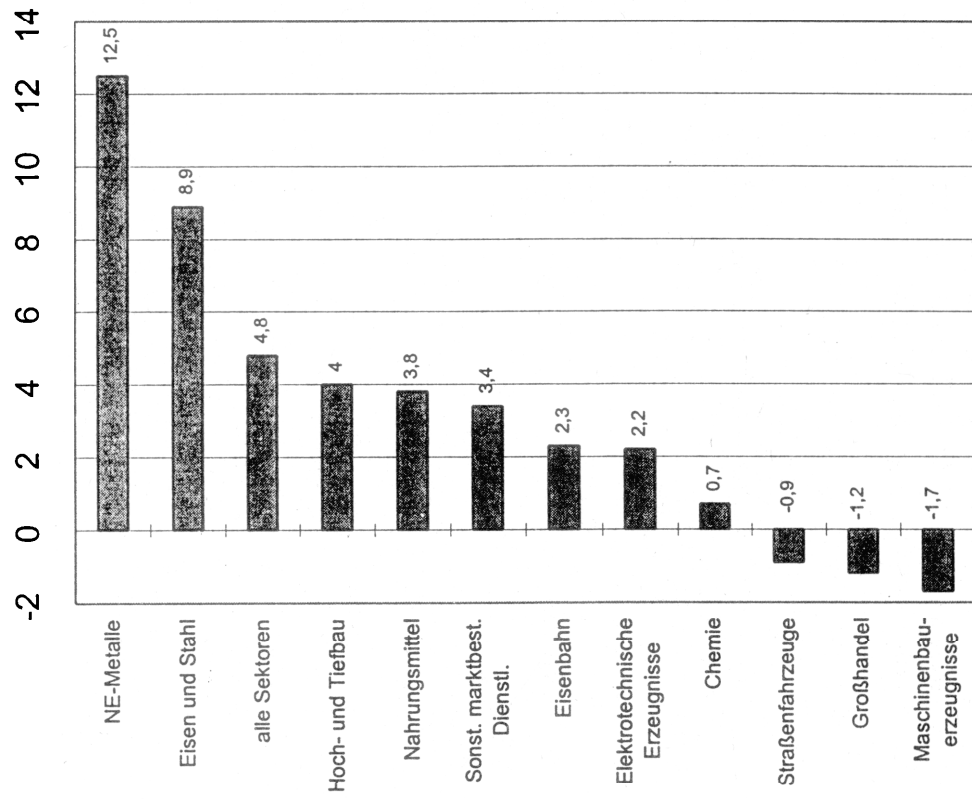


Abbildung 14: Veränderung des Energie-einsatzes verschiedener Energieträger in Petajoule in 2010 in der Steuerlösung gegenüber der Basislösung in v. H.

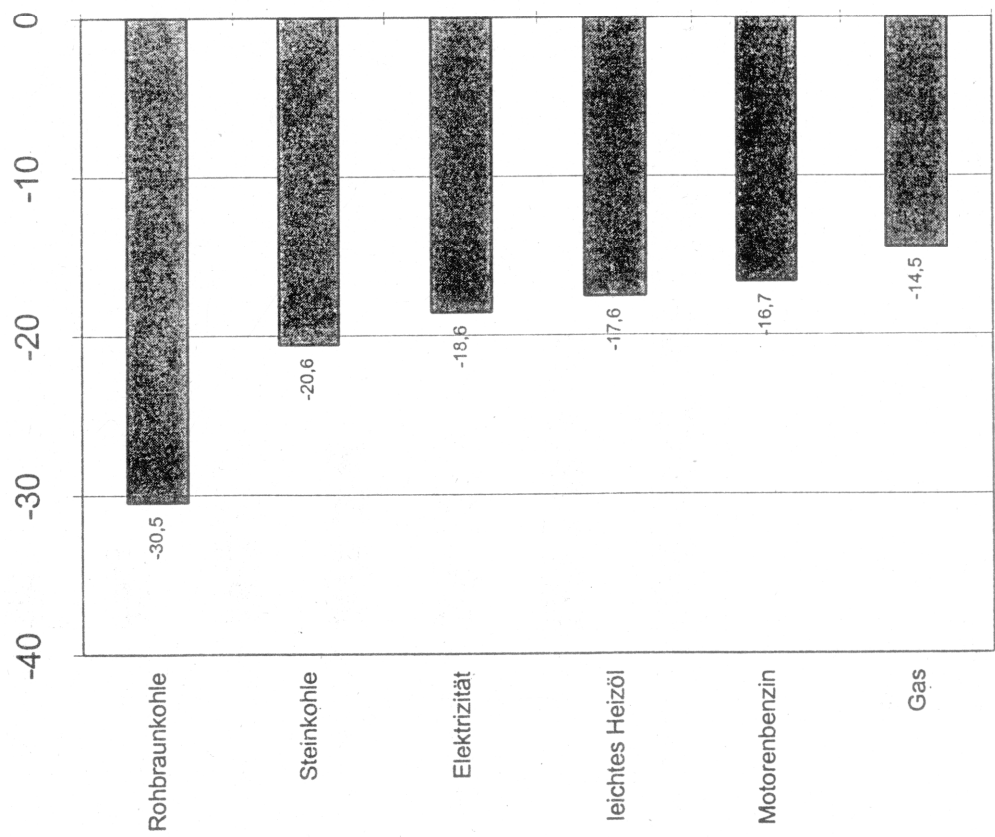


Abbildung 15: Veränderung der Brutto-produktion in ausgewählten Produktions-bereichen in 2010 in der Steuerlösung gegenüber der Basislösung in v. H.

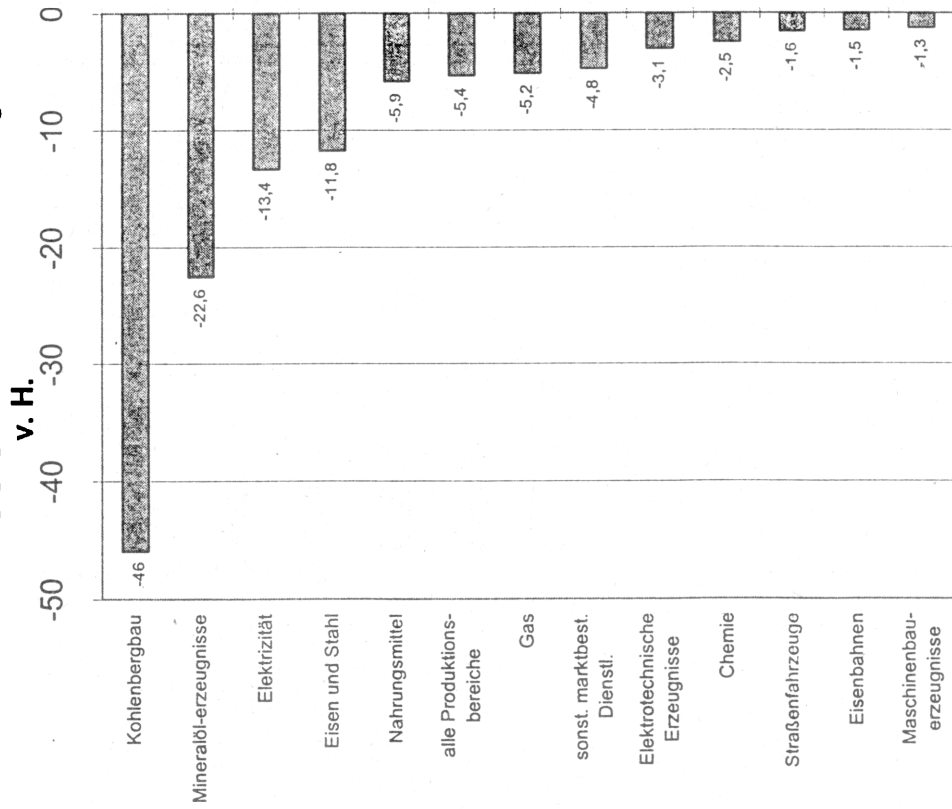


Abbildung 17: Veränderung der Arbeitsstunden in ausgewählten Produktionsbereichen in 2010 in der Steuerlösung gegenüber der Basislösung

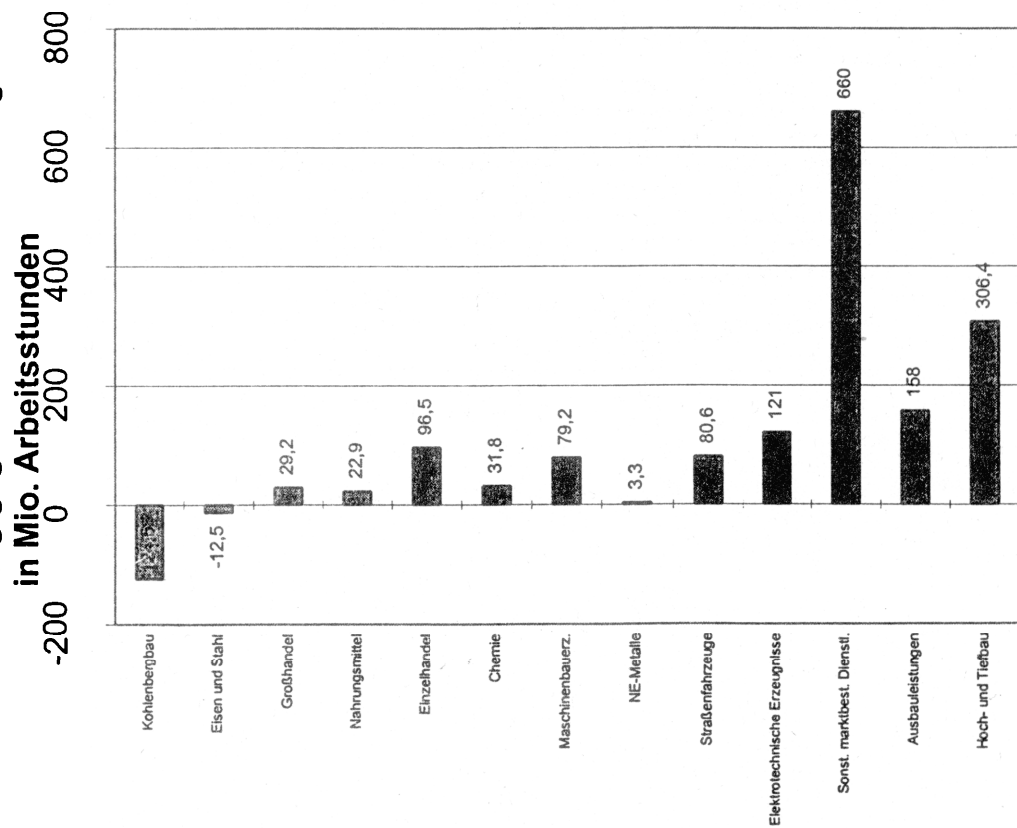


Abbildung 16: Veränderung der Arbeitsstunden in ausgewählten Produktionsbereichen in 2010 in der Steuerlösung gegenüber der Basislösung

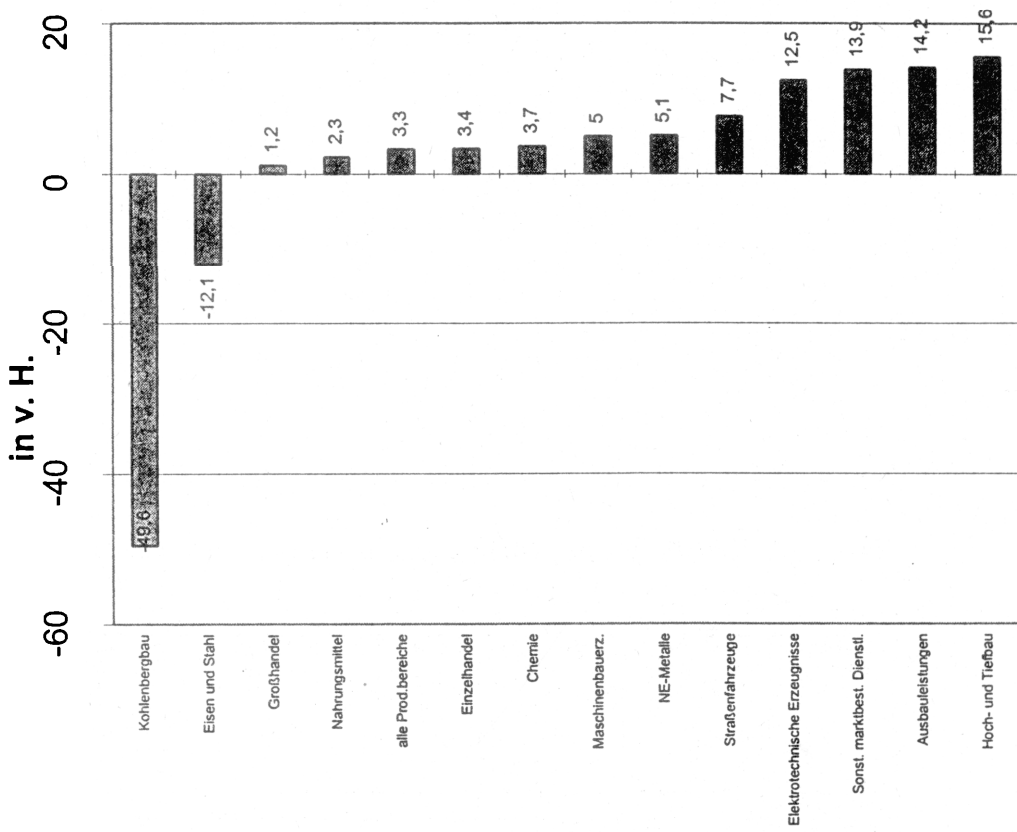


Tabelle 1: Ergebnisse der wichtigsten gesamtwirtschaftlichen Variablen

Jeweiliger Basislauf	Ohne jede Kompensation (Nr.: 1)	Reduktion der Staatsverschuldung (Nr.: 2a)	Reduktion der Arbeitgeberbeiträge (Nr. 2b)	Reduktion der Arbeitnehmerbeiträge (Nr. 2c)	Reduktion der Staatsverschuldung, der Arbeitgeber- und Arbeitnehmerbeiträge. (Nr.:2d)
Absolute Werte					
BIP (in Mrd. DM in Preisen von 1991)					
3885,9	3436,0	3448,5	3660,1	3599,2	3537,2
Inflationsrate					
2,5	3,2	3,2	3,0	3,2	3,2
Arbeitslosenquote					
9,0	11,4	11,4	6,9	10,5	10,14
Staatsquote					
47,3	47,7	47,7	46,5	47,4	47,4
Finanzierungssaldo des Staates (in Mrd. DM)					
-116,3	-194,3	-13,9	-20,9	-136,0	-45,3
Anteil Einkommen unsel. Arbeit am Nettoinlandsprodukt zu Faktorkosten					
72,0	75,0	74,9	71,3	74,5	73,9
CO2 (in Mio. Tonnen)					
855,2	670,3	671,3	710,5	699,7	687,8
Stickoxyd NOX (in kt)					
1945,6	1611,0	1614,5	1716,7	1685,7	1656,7
Schwefeldioxyd SO2 (in tk)					
719,5	505,2	506,0	542,8	525,1	519,5

Tabelle 2: Relative Abweichungen zur Basisprognose in v.H.

Ohne jede Kompensation (Nr.: 1)	Reduktion der Staats- verschuldung (Nr.: 2a)	Reduktion der Arbeit- geberbeiträge (Nr. 2b)	Reduktion der Arbeit- nehmerbeiträge (Nr. 2c)	Reduktion der Staatsverschul- dung, der Arbeitgeber- und Arbeitnehmer- beiträge (Nr.:2d)
Veränderung gegenüber der Basisprognose in v.H				
BIP (in Mrd. DM in Preisen von 1991)				
-11,6	-11,3	-5,8	-7,4	-9,0
Staatsquote				
0,8	1,0	-1,6	0,2	0,2
Anteil Einkommen unsel. Arbeit am Nettoinlandsprodukt zu Faktorkosten				
4,2	4,0	-1,0	3,4	2,6
CO2 (in Mio. Tonnen)				
-21,6	-21,5	-16,9	-18,2	-19,6
Stickoxyd NOX (in kt)				
-17,2	-17,0	-11,8	-13,4	-14,9
Schwefeldioxyd SO2 (in tk)				
-29,8	-29,7	-24,6	-27,0	-27,8

Tabelle 3: Die Basislösung

- durchschnittliche Wachstumsraten p. a. zwischen
1998 und 2010
in Preisen von 1991 -

Bruttoinlandsprodukt	1.7
Privater Verbrauch	1.4
Staatsverbrauch	1.6
Ausrüstungsinvestitionen	2.3
Bauinvestitionen	0.7
Exporte	4.0
Importe	3.2
Güterpreise	1.8

CO ₂ -Emissionen in 2010 in Mio. Tonnen	855
Arbeitslosenquote in 2010	9.0

**Tabelle 4: Auswirkungen von CO₂-
Minderungsstrategien**

- Veränderung zur Basislösung in 2010 in v. H. -

	Steuerlösung
Bruttoinlandsprodukt	-5.8
Privater Verbrauch	-7.7
Staatsverbrauch	-8.6
Ausrüstungsinvestitionen	-9.2
Bauinvestitionen	-1.1
Exporte	-1.2
Importe	-4.4
Güterpreise	+3.4
CO ₂	-16.9
Beschäftigung in Arbeitsstunden	+3.3

CO ₂ -Preise in DM/t in 2010	277.2
Arbeitslosenquote in 2010	6.92

Tabelle 5: Die Wirkungen der Steuerlösung auf ausgewählte Energiepreise des privaten Verbrauchs in 2010

	in der Basislösung	in der Steuerlösung	relative Abweichung
Kraftstoffpreise	2,15 DM/l	3,27 DM/l	52,1 %
Preis für leichtes Heizöl	0,82 DM/l	2,49 DM/l	203,6 %
Preis für Strom	29,9 Pf/kWh	46,2 Pf/kWh	54,2 %
Preis für Gas	7,5 Pf/kWh	18,0 Pf/kWh	140,5 %

Tabelle 6: Anteile einzelner Verwendungszwecke an den Gesamtausgaben der privaten Haushalte

	1991 (zum Vergleich)	Basislösung in 2010	CO ₂ -Steuer in 2010
Kraftstoffe	2,8	2,7	3,6
Heizung	1,4	1,4	3,3
Strom	1,9	1,9	2,2
Σ	6,1	6,1	9,1

B.2 B. Hillebrand: Sektorale und makroökonomische Wirkungen einer CO_2 -Steuer: Ausgewählte Simulationsergebnisse für den Umweltökonomischen Beirat beim Statistischen Bundesamt

B.2.1 Problemstellung und Aufbau der Untersuchung

Die gegenwärtige Diskussion um eine ökologisch wirksame wie auch ökonomisch effiziente Instrumentierung umweltpolitischer Ziele konzentriert sich zunehmend mehr auf den Einsatz von Steuern und Abgaben. Zusätzliche Abgaben gelten als marktkonforme Eingriffe in den Wirtschaftsprozess. Mit ihnen kann über den Preismechanismus nicht nur das individuelle Verhalten von Unternehmen bzw. privaten Konsumenten beeinflusst, sondern durch die Veränderung der relativen Preise auch ein struktureller Wandel eingeleitet werden, in dessen Folge umweltintensive Sektoren zugunsten umweltextensiver Segmente zurückgedrängt werden. Darüber hinaus lassen sich nach herrschender Meinung mit Hilfe zusätzlicher Abgaben die externen Kosten der Umweltnutzung jedenfalls zum Teil internalisieren und so das Marktpotential umweltschonender, langfristig tragfähiger Verhaltens- und Wirtschaftsweisen verbessern. Schließlich ist an den Einsatz preiärer Lenkungsinstrumente die Hoffnung auf zusätzliche Einnahmen geknüpft, die bei entsprechender Kompensation Ineffizienzen im bestehenden Steuer- und Abgabensystem verringern und so zu einer „doppelten Dividende“ zusätzlicher Abgaben beitragen sollen.

Untersuchungen über die Wirkungen von Abgabenlösungen zeigen jedoch, daß diese prinzipiellen Vorzüge in der konkreten Umsetzung einer ökologischen Steuerreform umstritten sind. Sowohl für die insgesamt positiven Wirkungen als auch für sektoral und regional starke Belastungseffekte lassen sich fundierte Analysen finden. Diese Kontroverse war für den Umweltökonomischen Beirat beim Statistischen Bundesamt (UGR) Anlaß, im Rahmen einer Simulationsstudie die Wirkungen einer CO_2 -Steuer von verschiedenen Institutionen untersuchen zu lassen. Mit dem folgenden Bericht legt das Rheinisch-Westfälische Institut für Wirtschaftsforschung seine wichtigsten Ergebnisse vor.

Zusätzliche Abgaben auf den Verbrauch oder das Angebot von Energie zielen primär auf Einspar- und Substitutionsprozesse in der Energieversorgung. Über diese erwünschten Anpassungsprozesse hinaus sind wegen der überwiegend unelastischen Energienachfrage allerdings Kosten- und Preiseffekte zu erwarten, die sich insbesondere bei den energieintensiven Produktionsprozessen in spürbaren Energiekostensteigerungen niederschlagen. Zudem sind Effizienzsteigerungen in der Regel an den Einsatz von zusätzli-

chem Kapital gebunden, so daß preisinduzierte Verbrauchseinsparungen mit einem Anstieg der Kapitalkosten verbunden sein können. Auch die privaten Haushalte werden nur einen Teil der zusätzlichen Preissteigerungen durch Verbrauchseinsparungen auffangen können. Der darüber hinausgehende unvermeidbare Anstieg der Energieausgaben wirkt ohne entsprechende Kompensationszahlungen wie eine Senkung der Realeinkommen und berührt von daher Niveau und Struktur der Konsumausgaben der privaten Haushalte. Um ein möglichst vollständiges Bild der Wirkungen zu zeichnen, die von zusätzlichen Abgaben zu erwarten sind, behandelt die folgende Analyse nicht nur die Reaktionen innerhalb der Energieversorgung, sondern schließt darüber hinaus jene sektoralen Effekte ein, die sich aus den zusätzlichen Energiekosten der produzierenden Wirtschaft bzw. den Energieausgaben der Privaten Haushalte ergeben können.

Über die kontraktiven Wirkungen hinaus müssen die Entlastungswirkungen in die Analyse einbezogen werden, die sich aus einer gezielten Verwendung der zusätzlichen Einnahmen ergeben können. Denn mit einer steuerlichen Belastung des Energieverbrauchs sind zusätzliche Einnahmen verbunden, die bei entsprechender Verwendung eine Entlastung der sektoralen Produktionskosten und eine Kompensation des Realeinkommenseffekts bei den Privaten Haushalten induzieren können. Aus der Fülle der verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten wird im folgenden insbesondere die Entlastung der Lohnnebenkosten über eine Verringerung der Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung im gewerblichen Bereich näher untersucht.

Die Entwicklung des Energieverbrauchs ist das Ergebnis eines Prozesses, der nicht nur von Energiepreisen gesteuert wird, sondern in den einerseits sektorale und gesamtwirtschaftliche Entwicklungen, andererseits aber auch technische Neuerungen und Innovationen eingehen. Die wechselseitige Abhängigkeit dieser einzelnen Teilprozesse erschwert eine isolierte Darstellung der Wirkungen, die von zusätzlichen Abgaben auf das Energieangebot, den Energieverbrauch sowie auf die sektoralen Kosten- und Preisstrukturen ausgehen. Aus diesem Grunde ist der Hinweis wichtig, daß die Darstellung formal zwar eine rekursive Struktur suggeriert, die Analyse selbst jedoch in einem interdependenten Prozeß abläuft.

Unter diesen interdependenten Wirkungszusammenhängen hat vor allem jener Ausschnitt, der die Impulse des Preissystems auf die realwirtschaftliche Güter- und Leistungssphäre beschreibt, für die folgende Untersuchung eine besondere Bedeutung. Deshalb orientiert sich der Aufbau der Untersuchung an der vermuteten Wirkungsrichtung von Abgabenlösungen, behandelt also zunächst die möglichen Kosten- und Preiseffekte in der Energieumwandlung, um daraus die Preise für die einzelnen Verbrauchergruppen und die Nachfrage nach Energie abzuleiten. Aus der Multiplikation von Energiepreisen und

-verbräuchen ergeben sich die Energiekosten der produzierenden Wirtschaft bzw. die Energieausgaben der Privaten Haushalte, die ein wichtiger Input für die Abschätzung der sektoralen und gesamtwirtschaftlichen Wirkungen sind.

Da im folgenden eine reine CO_2 -Steuer betrachtet wird, erscheint es naheliegend, die ökologischen Wirkungen anhand der vermiedenen CO_2 -Emissionen zu veranschaulichen, auch wenn darüberhinaus andere Luftschadstoffe wie NO_x , CO oder Staub verringert werden können.

Entsprechend den Vorgaben für das Simulationsexperiment werden die Wirkungen einer zusätzlichen CO_2 -Steuer für die alten Bundesländer zwischen 1980 und 1990 analysiert. Obwohl diese Vorgabe zunächst eher modelltechnischen Überlegungen entsprang, liefert sie wichtige Hinweise auf die Rahmenbedingungen und Restriktionen, die die Wirksamkeit von zusätzlichen Steuern zum Teil erheblich einschränken können. Auf diese Restriktionen wird bei der Interpretation der Ergebnisse näher einzugehen sein.

Die sektoralen und gesamtwirtschaftlichen Wirkungen der CO_2 -Steuer werden mit Hilfe von Modellsimulationen quantifiziert. Die einzelnen Elemente dieses Modellsystems sind ein Energieangebotsmodell, ein Energienachfragemodell sowie ein sektoral disaggregiertes Strukturmodell. Von besonderer Bedeutung ist der Hinweis, daß es sich im folgenden um reine Modellsimulationen handelt; zwar werden die Ergebnisse auf ihre sektorale und gesamtwirtschaftliche Plausibilität überprüft, eine Korrektur der Modellergebnisse mit den daraus folgenden veränderten Wirkungen konnte aufgrund des engen Zeitrahmens der Untersuchung allerdings nicht durchgeführt werden. Diese Vorgehensweise unterstellt zudem, daß die in den einzelnen Modellen abgebildeten Verhaltensmuster auch bei drastischen Energiepreisimpulsen, wie sie die folgende CO_2 -Steuer darstellt, unverändert gültig sind - eine Annahme, die bei einer Steigerung einzelner Energiepreise von jährlich 20 vH (z.B. Braunkohle in der Stromerzeugung) keineswegs als selbstverständlich zutreffend vorausgesetzt werden kann.

B.2.2 Steuersätze und Bemessungsgrundlage

Allen bislang veröffentlichten Vorschlägen für die zusätzliche Besteuerung des Energieverbrauchs liegt ein Mengenkonzept zugrunde. Die Steuer zielt entweder auf die Schadstoffemissionen oder den Energieinhalt der Energieträger ab. Folglich wird als Bemessungsgrundlage eine physische Bezugsgröße, der Steuersatz als D-Mark-Betrag pro Mengeneinheit definiert. Unabhängig von der konkreten Ausgestaltung hat dieses Konstruktionsprinzip zur Folge, daß eine derartige Steuer die gegenwärtige Energiepreisstruktur tendenziell nivelliert. Denn alle Energieträger werden unabhängig von ihrem bereits erreichten Niveau mit einem einheitlichen Steueraufschlag belegt. Die relativen Preis-

Tabelle 2: Steuersätze der Steuer auf Kohlendioxid, 1980 bis 1990 DM/t CO₂

	1980	1981	1985	1990
real ¹	6,25	18,75	68,75	131,35
nominal	6,25	19,90	82,80	170,10
Eigene Berechnungen.				
¹ in Preisen von 1980				

effekte, die für die ökonomischen Implikationen von besonderer Bedeutung sind, sind für Energieträger mit einem gegenwärtig niedrigen Preisniveau wesentlich größer als bei solchen Energieträgern, die bereits heute ein vergleichsweise hohes Preisniveau erreicht haben. Dieser Effekt stellt sich mit der Einführung einer zusätzlichen Abgabe als Mengensteuer zwangsläufig ein. Differenzierte Wirkungen lassen sich in diesem Konzept nur durch die Variation der Steuersätze und des Tarifverlaufs erreichen.

Im folgenden Abschnitt soll eine zusätzliche Belastung des Energieverbrauchs näher analysiert werden, die auf der Stufe des Primärenergieverbrauchs erhoben wird und sämtliche Energieträger nach ihrem Kohlenstoffgehalt einer zusätzlichen Steuer unterwirft. Die Steuer wird entweder bei der Einfuhr von Energieprodukten oder bei der Gewinnung von Energieträgern im Inland erhoben. Steuerschuldner sind insoweit die Importeure von Energie bzw. die im Inland tätigen Unternehmen der Primärenergiegewinnung. Insbesondere unterliegen die inländische Gewinnung von Stein- und Braunkohle dieser zusätzlichen Steuer. Die Stromerzeugung aus Kernenergie und regenerative Energiequellen wie Strom aus Wasserkraft oder Windkraftanlagen werden grundsätzlich von der Steuer freigestellt.

Ebenfalls von der Steuer ausgenommen ist der Einsatz von Energie als Rohstoff; dies betrifft insbesondere die chemische Industrie bzw. die petrochemische Primärproduktion von Kunststoffen.

Die Steuer ist so ausgestaltet, daß die realen Steuersätze linear um 12,50 DM/t CO₂ pro Jahr ansteigen. Als Ausgangsgröße für den Steuersatz wird für das Jahr 1980 ein Preis von rund 6,25 DM/t CO₂ angenommen. Da das Energiepreisniveau in diesem Zeitraum allein infolge der allgemeinen Inflation ansteigt, ist für die nominalen Steuersätze eine Korrektur erforderlich, die diesen Preisanstieg ausgleicht. Unter Berücksichtigung dieser Korrektur ergeben sich die in Tabelle 1 dargestellten Steuersätze.

B.2.3 Kosten der Energiebereitstellung

Grundsätzlich lassen sich bei zusätzlichen Abgaben ökologische und ökonomische Implikationen unterscheiden. Ökologische Konsequenzen resultieren aus den zusätzlichen Einspar- und Substitutionsprozessen in der Energieversorgung. Diese erwünschten Effekte werden allerdings begleitet von zunächst nicht beabsichtigten Kosten- und Preisveränderungen bei der Produktion von nichtenergetischen Waren und Dienstleistungen. Da die Kostenimpulse im produzierenden Bereich zu sektoralen Strukturwirkungen führen können, ist unmittelbar einsichtig, daß der Verbrauch von Energie nicht nur infolge der Energiepreisimpulse, sondern auch als Reflex der strukturellen Wirkungen Änderungen unterworfen ist. Im folgenden werden die Kosten- und Preiseffekte der zusätzlichen Steuer an den Beginn der Analyse gestellt; es sei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, daß diese Impulse bereits Reaktionen der Energieverbraucher und Struktureffekte enthalten, die erst in den darauf folgenden Abschnitten behandelt werden können. Die Veränderungen des Kraftwerksparks beispielsweise können einerseits auf die veränderten Brennstoffpreise, andererseits auf Stromeinsparungen und Standortverlagerungen stromintensiver Grundstoffproduktionen zurückzuführen sein.

Stromerzeugung

Eine zusätzliche Primärenergiesteuer belastet im Bereich der Stromversorgung ausschließlich den Brennstoffeinsatz. Sämtliche Wirkungen ergeben sich folglich aus der Belastung der Brennstoffe und den daraus ableitbaren Folgerungen für die Kosten der Stromerzeugung und die entsprechenden Energiepreise. Um diese Konsequenzen darstellen zu können, erscheint es wegen der langen Kapitalbindung in der Energieumwandlung, insbesondere in der Elektrizitätsversorgung, sinnvoll, zwischen kurz- und langfristigen Wirkungen zu differenzieren. Während nämlich bei unveränderlichem Kapitalstock die Folgen der Energiesteuer allein für die variablen Kosten von belang sind, müssen bei variablem Kapitalstock nicht nur die kurzfristigen Grenzkosten, sondern sämtliche Kosten der Energiebereitstellung berücksichtigt werden.

Für die Elektrizitätsversorgung ist bekannt, daß der Stromverbrauch tageseitlichen und jährlichen Schwankungen unterliegt, die je nach Verbrauchergruppe unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Abnehmergruppen mit relativ stetigem Verbrauch stehen Abnehmergruppen mit ausgeprägten Lastspitzen und -tälern gegenüber. Um diese Verbrauchsschwankungen in der Stromerzeugung auffangen zu können, ist ein Kraftwerkspark erforderlich, der sowohl Anlagen umfaßt, die gleichmäßig über das ganze Jahr in der sogenannten Grundlast Strom erzeugen, als auch Kraftwerke, die relativ kurzfristig und ausgesprochen diskontinuierlich in der sogenannten Spitzenlast

Tabelle 3: Brennstoffkosten in der Elektrizitätserzeugung 1980 bis 1990; Pf/kWh

	Kernenergie	Braunkohle	Steinkohle	Erdgas
Referenzlösung				
1980	2,1	1,7	4,5	7,2
1983	2,3	2,5	5,1	11,4
1985	2,3	2,6	5,5	11,9
1990	2,4	2,6	3,5	7,2
CO ₂ -Steuer				
1980	2,1	2,4	5,1	7,5
1983	2,3	8,2	9,5	13,8
1985	2,3	11,9	13,0	15,9
1990	2,4	21,6	18,7	15,5
Eigene Berechnungen.				

eingesetzt werden können. Ob ein Kraftwerk im Dauerbetrieb oder nur zur Abdeckung von Lastspitzen genutzt wird, richtet sich nach den variablen Kosten der einzelnen Kraftwerke und Kraftwerkstypen. Anlagen mit hohen variablen Kosten werden zur Abdeckung von Lastspitzen, solche mit niedrigen variablen Kosten im Dauerbetrieb genutzt. Die kurzfristig variablen Kosten bestehen zum überwiegenden Teil aus den Kosten der eingesetzten Brennstoffe. Diese sind ihrerseits das Produkt aus Brennstoffpreis und spezifischem Verbrauch. Folglich führt bereits die kostenminimale Auslastung des bestehenden Kraftwerksparks zu einer ökologisch wirksamen Selektion in der Weise, daß bei sonst gleichen Voraussetzungen Anlagen mit relativ niedrigen spezifischen Verbräuchen bzw. hohen Wirkungsgraden intensiver genutzt werden als weniger effiziente Kraftwerke.

Eine Belastung der Brennstoffkosten durch eine zusätzliche Primärenergiesteuer führt zu einer auch kurzfristig wirksamen Veränderung der Einsatzplanung von Kraftwerken. Unter dem neuen Preisregime erscheint es kostenminimal, Gaskraftwerke nicht mehr im Bereich der Spitzenlast, sondern im Bereich der Mittellast und gegen Ende des Untersuchungszeitraumes auch im Bereich der Grundlast einzusetzen (vgl. Tabelle 2). Die Brennstoffkosten von Steinkohle liegen im Jahr 1990 um mehr als 3 Pf/kWh, von Braunkohle sogar um 6 Pf/kWh höher als Erdgas; Kohlekraftwerke sollten daher nur noch im Bereich der Mittellast oder für die Abdeckung von Lastspitzen eingesetzt werden, vorausgesetzt, diese Veränderung der Einsatzplanung ließe

sich überhaupt technisch realisieren.

Bei der Beurteilung der langfristigen Wirkungen erscheint es zweckmäßig, zwischen verschiedenen Techniken und Kraftwerkstypen zu differenzieren. Beim gegenwärtigen Stand der Technik lassen sich in reinen Stromerzeugungsanlagen insbesondere durch GuD-Prozesse erhebliche Verbesserungen der Brennstoffausnutzung erreichen. Diese Effizienzsteigerungen erfordern zwar ein erhebliches Maß an Zeit, da sie nur über den Zubau neuer und die Stilllegung alter Kraftwerke realisiert werden können. Eine zusätzliche Abgabe, die nicht nur dazu dienen soll, zusätzliche Einnahmen zu erschließen, sondern auch eine ökologische Lenkungsfunktion erfüllen soll, muß über die Veränderung der langfristigen Erzeugungskosten diesen Anpassungsprozeß so beeinflussen, daß an die Stelle wenig effizienter Kraftwerke GuD-Kraftwerke treten, die spezifisch deutlich geringere Brennstoffeinsätze erfordern.

Dieser ökologisch gewollte Effekt tritt bei einer CO_2 -Steuer in dem hier betrachteten Zeitraum allerdings kaum ein. Zwar wären die langfristigen Kosten der Stromerzeugung in GuD-Kraftwerken kostengünstiger als bei konventionellen Trockenfeuerungen (vgl. Tabelle 3), diese Kostenvorteile sind angesichts der Freistellung der Kernergie jedoch irrelevant. Ein vermehrter Zubau von Kernkraftwerken im Laufe der achtziger Jahre wäre andererseits aufgrund der Akzeptanzprobleme und dem Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahre 1986 kaum realistisch. Folglich dürfte die CO_2 -Steuer vor allem den Ausbau von Gaskraftwerken begünstigen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß in den achtziger Jahren die Verstromung heimischer Steinkohle durch vertragliche Vereinbarungen und gesetzliche Vorschriften außerordentlich streng reguliert war. Eine ökologisch wünschenswerte Verringerung von kohlenstoffhaltigen Energieträgern in der Stromerzeugung steht - jedenfalls bis zum Ende der achtziger Jahre - im Gegensatz zu den energiepolitischen Vorgaben der Steinkohleverstromung.

Die Lenkungswirkungen der CO_2 -Steuer im Bereich der Stromerzeugung sind daher über den hier betrachteten Zeitraum relativ gering. Der überwiegende Teil der zusätzlichen Abgaben wird kosten- und preiswirksam; das Anpassungsproblem wird insofern vom Energieangebot auf die Energieverbraucher verlagert.

Übrige Energiepreise

Die Stromerzeugung dürfte der bedeutendste Teil des Energieangebots sein. Die Kosten- und Preiseffekte für die übrigen Umwandlungsbereiche werden an dieser Stelle zusammenfassend wiedergegeben. Für die Fernwärme, die in Kraft-Wärme-Koppelung erzeugt wird, werden zusätzliche Kostenimpulse wirksam, die zum einen aus den der Wärmeerzeugung zuzurechnenden

Tabelle 4: Nominale Erzeugungskosten¹ neu zu errichtender Kraftwerke im Jahr der Inbetriebnahme, Grundlast (6 500 h), Pf/kWh

	Kernenergie	Braunkohle		Importkohle		Erdgas ²
		Trocken- feuerung	GUD- Kraftwerk	Trocken- feuerung	GUD- Kraftwerk	
Referenzlösung						
1980	7,7	6,2	6,5	9,6	9,7	10,5
1985	9,8	8,5	8,6	12,1	12,3	14,5
1990	11,8	9,8	10,1	10,1	11,0	12,0
CO ₂ -Steuer						
1980	7,7	7,0	7,1	10,1	10,2	11,6
1985	9,8	18,1	16,4	19,4	18,7	21,2
1990	11,8	29,6	26,1	24,5	23,7	23,6
Eigene Berechnungen.						
¹ Bei einer Betriebsdauer von 20 Jahren.						
² GUD-Kraftwerk.						

Steuerbelastungen der eingesetzten Brennstoffe, zum anderen aus den mit der Verteilung der Wärme erforderlichen zusätzlichen Leitungs- und Transportsystemen abgeleitet werden können. Dem sind gegenüberzustellen die aus der Einspeisung von Strom erzielbaren zusätzlichen Erlöse, die sich an den vermiedenen Kosten der Stromerzeugung orientieren; diese Vergütungen schließen nicht nur die kurzfristigen Brennstoffkosten, sondern z.T. auch die vermiedenen Kapitalkosten ein. Da die fossilen Brennstoffe mit einer progressiv ansteigenden Steuer belastet werden, ist eine nachhaltige Verbesserung der Wettbewerbsposition der Fernwärme nur dann zu erwarten, wenn die Einspeisevergütungen für den in Kuppelproduktion erzeugten Strom stärker ansteigen als die Preise der eingesetzten Brennstoffe. Dieser Effekt wird bei einer reinen CO_2 -Steuer und der Erzeugungsstruktur der achtziger Jahre allerdings nicht eintreten, da die Einspeisevergütungen infolge der Freistellung der Kernenergie nicht annähernd so stark steigen wie die Belastung der Brennstoffe der in Heizkraftwerken eingesetzten Energieträger.

Für die übrigen Energiepreise induziert eine zusätzliche CO_2 -Steuer erkennbare Veränderungen im Preisgefüge (vgl. Tabelle 4). Insbesondere die Preise für Kraftstoffe und leichtes Heizöl steigen stärker als der Steuersatz an. Diese Preisdifferenzierung ist Ausdruck der unterschiedlichen Angebots- und Nachfragebedingungen auf den einzelnen Energiemärkten. Der Markt für Kraftstoffe ist oligopolistisch organisiert, Wettbewerb drückt sich insbesondere darin aus, daß Anbieter im Inland gleichgewichtigen Konkurrenten aus dem Ausland gegenüberstehen. Zusammen mit der im Vergleich zu anderen Mineralölprodukten geringeren Elastizität der Nachfrage ergeben sich in diesem Marktsegment leichtere Überwälzungsspielräume.

Auch die Preisentwicklung beim Erdgas ist das Ergebnis des weitgehend monopolistisch organisierten Gasmarktes der achtziger Jahre; denn die Gaspreisbildung erfolgt bislang nach dem sog. Anlegbarkeitsprinzip, d.h. der Erdgaspreis orientiert sich an den Preisen der auf den einzelnen Absatzmärkten mit Erdgas konkurrierenden Energieträger. Da Erdgas in der Industrie in direkter Konkurrenz zum schweren Heizöl steht, führt das Anlegbarkeitsprinzip hier zu einer im Gegensatz zu anderen Verbrauchssegmenten deutlich geringeren Preiserhöhung. Im privaten Wärmemarkt stehen insbesondere Heizöl und Erdgas in einem Substitutionswettbewerb, so daß die überproportionalen Preisaufschläge bei leichtem Heizöl die Gasversorger in die Lage versetzen, erhebliche „windfall profits“ zu realisieren; am Ende des Untersuchungszeitraumes liegen die Gewinne der Gaswirtschaft immerhin um 1,8 Mrd. DM höher als in der tatsächlichen Entwicklung bis 1990.

Der Markt für Strom war ähnlich wie die Gasversorgung in den achtziger Jahren ein wettbewerblicher Ausnahmebereich. Dennoch herrschen auch in diesem Bereich unterschiedliche Angebots- und Nachfragebedingungen. Indu-

Tabelle 5: Entwicklung ausgewählter Energiepreise nach Verbrauchergruppen: Abweichungen von der Referenzlösung, 1980 bis 1990

	Einheit	1980	1983	1985	1990
Industrie¹					
Heizöl, leicht	DM/t SKE	14,55	119,00	197,10	405,80
Heizöl, schwer	DM/t SKE	9,90	85,10	142,00	294,00
Erdgas, Sonderabnehmer	DM/t SKE	2,10	58,40	108,00	238,60
Erdgas, Tarifabnehmer	DM/t SKE	2,70	69,70	128,60	284,10
Strom, Sonderabnehmer	Pf/kWh	0,5	3,4	4,1	7,5
Strom, Tarifabnehmer	Pf/kWh	0,7	4,4	6,1	10,9
Verkehr¹					
Dieselmotorkraftstoff	DM/t SKE	13,75	110,20	181,90	373,70
Motorenbenzin	DM/t SKE	14,80	112,20	183,60	374,80
Strom	Pf/kWh	0,8	4,6	6,4	11,4
Kleinverbrauch¹					
Heizöl, leicht	DM/t SKE	14,55	119,00	197,10	405,80
Erdgas	DM/t SKE	2,30	62,60	115,80	256,40
Strom	Pf/kWh	1,1	5,6	7,9	13,9
Haushalte²					
Motorenbenzin	DM/t SKE	17,60	134,80	220,60	450,30
Dieselmotorkraftstoff	DM/t SKE	15,20	122,80	202,70	416,50
Heizöl, leicht	DM/t SKE	17,05	138,00	227,82	468,10
Erdgas	DM/t SKE	4,80	92,70	168,25	368,20
Strom, Tarifabnehmer	Pf/kWh	1,1	5,2	8,9	16,5
Strom, Sonderabnehmer	Pf/kWh	0,8	5,0	8,6	15,8

Eigene Berechnungen.

¹ Einschließlich Verbrauchsteuern, Handels- und Transportleistungen, jedoch ohne Mehrwertsteuer.

² Einschließlich Verbrauchsteuern, Handels- und Transportleistungen und Mehrwertsteuer.

striellen Großabnehmern mit relativ kontinuierlichem Stromverbrauch stehen kleine Verbraucher mit einer Abnahmemenge von weniger als 2500 kWh pro Jahr bei ausgesprochen diskontinuierlicher Verbrauchsstruktur gegenüber. Diese Unterschiede schlagen sich erkennbar im Preis nieder. Darüberhinaus ist zu berücksichtigen, daß die Ausrichtung der Steuer am Kohlenstoffgehalt der Energieträger zusätzliche Strompreisdifferenzierungen induziert, die in der unterschiedlichen Abnahmecharakteristik einzelner Verbrauchsbereiche und dem damit zusammenhängenden Anteil der Kernenergie am gesamten Strombezug zum Ausdruck kommt. Grundsätzlich gilt dabei, daß der Preisimpuls umso geringer ist, je höher der Anteil der steuerfreien Kernenergie am Gesamtbedarf ist.

B.2.4 Einspar- und Substitutionseffekte im Energieverbrauch

Abgabenlösungen erhöhen die Energiepreise und belasten somit den Verbrauch von Energie. Sie stellen folglich einen Anreiz dar, den Energieverbrauch insgesamt zu verringern, bzw. je nach Ausgestaltung der Steuer kohlenstoffintensive durch kohlenstoffextensive Energieträger zu substituieren.

Bei einer Primärenergiesteuer, wie sie in diesem Abschnitt untersucht wird, sind aufgrund der Progression darüberhinaus strukturelle Wirkungen zu erwarten, die die eigentlichen Verbrauchsreaktionen überlagern können. Insbesondere in jenen Sektoren, die im internationalen Wettbewerb stehen und deren Faktoreinsätze nahezu limitational sind, dürfte der Produktionseffekt von erheblicher Bedeutung sein. Dieser Effekt kann allerdings erst im Zusammenhang mit den sektoralen Wirkungen insgesamt und darüberhinaus erst unter Berücksichtigung der Entlastungen durch die Senkung der Lohnnebenkosten analysiert werden, da eine isolierte Betrachtung der zusätzlichen Energiekosten an dieser Stelle zu erheblichen Fehleinschätzungen führen müßte. Aus diesem Grund konzentriert sich der folgende Abschnitt zunächst auf die Energieeinsparungen in jenen Bereichen, die nicht dem internationalen Wettbewerb ausgesetzt sind. Dazu gehört insbesondere der Energieverbrauch der privaten Haushalte zur Beheizung von Wohnungen.

Raumwärme

Die Energienachfrage der privaten Haushalte zur Wohnraumbeheizung ist das Ergebnis eines komplexen Zusammenspiels von technischen und ökonomischen Faktoren, in dem der Einfluß von Einkommensveränderungen insbesondere über die Struktur des Wohnungsbestandes (Ein- und Zweifamilienhäuser als Eigentum versus Mehrfamilienhäuser als Mietobjekte), von Energiepreisentwicklungen über die technischen Standards und die Nutzung des vorhandenen Bestandes wirksam werden. Eine zusätzliche Energiesteuer, de-

Tabelle 6: Auswirkungen der CO₂-Steuer auf den Energieverbrauch der privaten Haushalte: Abweichungen von der Referenzlösung, 1980 bis 1990; Mill. t SKE

	1980	1983	1985	1990
Kraftstoffe	-0,0	-0,2	-0,4	-1,0
davon:				
Motorenbenzin	-0,0	-0,2	-0,4	-1,2
Diesel	0,0	0,0	0,0	0,2
Brennstoffe	-0,4	-2,4	-3,3	-6,1
davon:				
feste Brennstoffe	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0
Heizöl, leicht	-0,2	-1,7	-2,4	-4,3
Erdgas	-0,0	-0,2	-0,3	-0,7
Speicherstrom	-0,2	-0,4	-0,5	-0,8
Fernwärme	-0,0	-0,1	-0,1	-0,2
Eigene Berechnungen.				

ren Aufkommen nicht unmittelbar an die privaten Haushalte zurückerstattet wird, reduziert demnach sowohl über den allgemeinen Einkommenseffekt die Ausstattungskomponente als auch über den spezifischen Substitutionseffekt die technischen Standards und das Nutzungsverhalten.

Die Einführung einer progressiven Primärenergiesteuer verringert den Raumwärmebedarf bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes um 6,2 Mill. t SKE (vgl. Tabelle 5). Maßgeblich für diese Verbrauchsreduktionen sind zum einen der forcierte Einsatz energiesparender Heizungsanlagen (Niedertemperaturkessel), zum anderen Modernisierungsmaßnahmen am Gebäudebestand insgesamt. Durch die zusätzliche Steuerbelastung wird darüber hinaus ein Struktureffekt wirksam, der dazu führt, daß der Anteil der Ein- und Zweifamilienhäuser am gesamten Wohnungsbestand geringer ausfällt als beobachtet; denn die Nachfrage nach Immobilien ist sehr stark von der Entwicklung der Realeinkommen abhängig. Bei einer unkompensierten Steuer resultiert aus dem damit verbundenen Realeinkommenseffekt ein Rückgang der Investitionen in Ein- und Zweifamilienhäuser und damit eine Verringerung der Nachfrage nach Heizenergie, da der spezifische Heizenergiebedarf dieser Gebäudetypen aufgrund der größeren Wohnfläche und des ungünstigeren Verhältnisses von Gebäudehülle zum Volumen deutlich höher liegt als bei Mehrfamilienhäusern.

Beim Bau neuer Heizungsanlagen etwa in Einfamilienhäusern sind ka-

pitalintensive, aber energieeffizientere Heizungstechniken nunmehr anderen Anlagen überlegen. Vergleicht man die Kosten der Wärmebereitstellung über einen Zeitraum von 20 Jahren, so ist bei einer dezentralen Versorgung der konventionelle Niedertemperaturkessel auf Erdgasbasis - trotz über die Steuer hinausgehender Preisaufschläge - preiswerter als ein Heizölkessel (vgl. Tabelle 6). Folglich verliert das Heizöl sowohl beim Neubau als auch beim Ersatz alter Heizungsanlagen weitere Marktanteile. Ähnliches gilt für die Fernwärme im Bereich der Mehrfamilienhäuser, da dieser Energieträger aufgrund der geschilderten Kostensteigerungen deutliche Wettbewerbseinbußen gegenüber dem Erdgas hinnehmen muß. Regenerative Energiequellen werden ohne staatliche Zuschüsse auch im Fall einer CO_2 -Primärenergiesteuer nicht konkurrenzfähig sein. Weder die Elektrowärmepumpe noch die Solarkollektoren zur Brauchwassererwärmung können mit konventionellen Techniken konkurrieren.

Verkehr

Im Vergleich zum Wohnungsbau sind die Einspareffekte im Verkehrsbereich weniger erfolgreich. Die Kraftstoffeinsparungen der Privaten Haushalte erreichen bis zum Jahr 1990 ein Niveau von 1,0 Mill. t SKE. Wesentlich für diese Reduktion sind folgende Faktoren:

- der negative Realeinkommenseffekt der Steuerlösung führt zu einem Rückgang der Neuzulassungen, so daß der Pkw-Bestand im Jahr 1990 um 0,7 Mill. Fahrzeuge niedriger liegt;
- die Steuer vergrößert den Betriebskostennachteil des Pkw mit Otto-Antrieb und bewirkt so einen Shift hin zu sparsameren Fahrzeugen mit Dieselmotor;
- die Nutzungsintensität der Fahrzeugflotte (Mrd. Pkm) verringert sich um etwa 7,1 vH. Besonders die einkommens- und preiselastischen Fahrleistungen im Freizeit- und Urlaubsverkehr werden gegenüber der Referenzlösung deutlich reduziert;
- das höhere Energiepreisniveau reduziert langfristig den spezifischen Verbrauch neu zugelassener Pkw.

Kleinverbrauch

Im Kleinverbrauch sind außerordentlich heterogene Sektoren zusammengefaßt. Diese Heterogenität erschwert eine eindeutige Zurechnung der Wirkungen, die von einer zusätzlichen Steuer auf das Verbrauchsverhalten in diesem

Tabelle 7: Heizkosten¹ in neu zu errichtenden Wohnungen 1980 bis 1990; Pf/kWh

	Heizöl	Erdgas		Fernwärme	Speicher-	Elektro-	Solar-
		Nieder-	Brenn-		strom	Wärmepumpe	kollektor ²
		temperatur	wert				
Einfamilienhäuser							
1980	21,8	17,9	17,8	17,2	20,3	22,5	67,1
1985	31,5	27,2	27,5	29,7	37,9	30,1	75,9
1990	34,0	28,5	30,5	38,5	52,8	38,9	86,0
Zweifamilienhäuser							
1980	21,4	17,6	17,6	16,8	20,3	25,2	67,1
1985	31,0	26,8	27,3	29,3	37,9	34,2	75,9
1990	33,4	28,1	30,2	37,9	52,8	43,3	86,0
Mehrfamilienhäuser							
1980	19,7	16,5	16,4	15,4	20,2	25,0	67,1
1985	28,6	25,2	25,5	27,2	37,8	33,9	75,9
1990	30,2	25,9	27,8	35,1	52,7	42,9	86,0
Eigene Berechnungen.							
¹ Bei einer Nutzungsdauer von 20 Jahren.							
² Ohne staatliche Zuschüsse.							

Tabelle 8: Auswirkungen einer CO_2 -Steuer auf den Energieverbrauch der Kleinverbraucher: Abweichungen von der Referenzlösung, 1980 bis 1990; Mill. t SKE

	1980	1983	1985	1990
Insgesamt	-0,4	-1,6	-2,3	-4,7
darunter:				
Heizöl, leicht	-0,1	-0,8	-1,3	-2,7
Erdgas	-0,0	-0,2	-0,3	-0,8
Strom	-0,3	-0,6	-0,7	-1,1
Fernwärme	0,0	0,0	0,0	0,0
Eigene Berechnungen.				

Segment ausgeht. Sofern Energie als Kraftstoff eingesetzt wird, sind die Einspareffekte ähnlich gering wie bei den privaten Haushalten, da die relativen Veränderungen der Kraftstoffpreise nicht so ausgeprägt sind wie die Preiseffekte bei Brennstoffen und Strom. Die größten Einsparungen werden - ähnlich wie bei den privaten Haushalten - im Bereich der Beheizung von Gebäuden erzielt.

Bemerkenswert dabei ist, daß der Einsparprozeß mit deutlichen Verschiebungen in der Verbrauchsstruktur einhergeht (vgl. Tabelle 7). Maßgeblich für diese Entwicklung dürfte sein, daß ähnlich wie bei den privaten Haushalten der Wettbewerbsvorteil des Erdgases gegenüber konkurrierenden Energieträgern trotz der unvollständigen Überwälzung der relativen Preisvorteile zunimmt. Für den Kleinverbrauch dürfte darüberhinaus die Rentabilität von dezentral betriebenen Kraft-Wärme-Koppelungsanlagen (Blockheizkraftwerke) auf Basis Erdgas durch die CO_2 -Steuer spürbar verbessert, der Anteil der Nahwärmenutzung folglich im Vergleich zur Referenzlösung noch ausgeweitet werden.

Verarbeitendes Gewerbe

Bei der Analyse der Wirkungen, die von einer Primärenergiesteuer auf den Energieverbrauch im Verarbeitenden Gewerbes ausgehen, ist zwischen dem Einspar- und Struktureffekt zu trennen. Wenngleich beide Effekte bei der inhaltlichen Ausgestaltung der Steuer zumindest prinzipiell beabsichtigt sind, so sind die energiewirtschaftlichen Folgen dennoch außerordentlich unterschiedlich. Während die erwünschten Einspar- und Substitutionsprozesse zu einer tatsächlichen Verringerung des Energieverbrauchs und damit auch zu einer Entlastung der Umwelt führen, ist bei strukturellen Wirkungen a priori nicht sicher, ob Produktionsverlagerungen tatsächlich zu einer globalen

Tabelle 9: Auswirkungen einer CO₂-Steuer auf den Energieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes: Abweichungen von der Referenzlösung, 1980 bis 1990, Mill. t SKE

	1980	1983	1985	1990
Grundstoff- u. Produktionsgüter	-0,1	-2,56	-3,26	-6,3
Investitionsgüter	-0,0	-0,2	-0,5	-0,9
Verbrauchsgüter	-0,0	-0,3	-0,7	-1,1
Nahrungs. u. Genussmittel	-0,0	-0,2	-0,5	-0,8
Verarbeitendes Gewerbe	-0,9	-3,2	-4,8	-9,1
Eigene Berechnungen.				

Verringerung des Energieverbrauchs beitragen. Dieser Aspekt verdient besonders hervorgehoben zu werden, da im folgenden ausschließlich auf die nationalen Einsparungen abgehoben wird, eine globale Saldierung der resultierenden Energieverbräuche in dieser Untersuchung nicht geleistet werden kann. Ein aus strukturellen Veränderungen abgeleiteter Rückgang des Energieverbrauchs ist folglich nicht gleichzusetzen mit einer globalen Verringerung der CO₂-Emissionen.

Der Energieverbrauch im Verarbeitenden Gewerbe sinkt durch die Einführung einer CO₂- Primärenergiesteuer um rund 9 Mill. t SKE.

Der überwiegende Teil dieser Verbrauchsreduktion ist auf den Produktionsrückgang im Grundstoff- und Produktionsgütergewerbe zurückzuführen. Wie im nachfolgenden Abschnitt im einzelnen erläutert wird, sind insbesondere die energieintensiven Teilsegmente von den zu erwartenden Kostensteigerungen essentiell betroffen.

Die eigentlichen Einspar- und Substitutionsprozesse finden außerhalb der Grundstoffindustrien statt. Besonders hohe Einsparerfolge kann dabei das Verbrauchsgüter produzierende Gewerbe verbuchen. In diesem Produktionsbereich vermindert die abgabeninduzierte Steigerung der Energieeffizienz den Verbrauch bis zum Jahr 1990 um 1,1 Mill. t SKE. Der Energiebedarf liegt dann 14,5 vH unter dem Verbrauchswert in der Referenzlösung. Allerdings entfallen über 30 vH des Endenergiebedarfs der Verbrauchsgüterindustrie auf den Brennstoff- und Stromverbrauch zur Herstellung von Glas und Feinkeramik. Der Sektor Glas wird zwar traditionell zum Verbrauchsgüterbereich gerechnet, zählt jedoch hinsichtlich der verwendeten Produktionstechnik zu den energieintensiven Wirtschaftszweigen. Die technischen Energiesparpotentiale entsprechen folglich jenen in Hochtemperaturprozessen der

Grundstoffproduktionen. Durch die Preisaufschläge der Primärenergieabgabe entstehen zusätzliche Anreize, alte und ineffiziente Schmelzaggregate vorzeitig durch moderne Hochleistungswannen zu ersetzen. Der Einsatz neuer U-Flammenwannen mit Deep-Refiner in der Hohlglaserzeugung, die sich durch hohe spezifische Schmelzleistungen (t/d) auszeichnen, erlauben bereits heute eine drastische Verringerung des spezifischen Energieeinsatzes. Bei einer Schmelzleistung von 382 t/d und einem Scherbenanteil von 90 vH am Gemenge sinkt der spezifische Energieverbrauch auf 111 kg SKE/t Glasmasse. Zum Vergleich: die Herstellung einer Tonne Glas benötigt zur Zeit etwa 380 kg SKE, wobei der Altglasanteil in der Behälterglasproduktion etwa 57 vH beträgt.

B.2.5 Sektorale Wirkungen

Von erheblicher Bedeutung für die sektoralen und regionalen Wirkungen von zusätzlichen Abgaben auf den Verbrauch von Energie sind die Be- und Entlastungen der einzelnen Unternehmen und Verbraucher. Konzeptioneller Bestandteil der Steuer ist die Aufkommensneutralität in dem Sinne, daß die zusätzlichen Einnahmen aus der Steuer über einen gesetzlich festgelegten Mechanismus zurückerstattet werden. Insofern ist für die Bewertung der sektoralen und regionalen Effekte zwingend eine Saldierung von abgabeinduzierten Kostenbelastungen und verwendungsbedingten Entlastungen erforderlich.

Wie bereits zu Beginn erwähnt, wird im folgenden aus der Vielzahl der Verwendungsmöglichkeiten für die gewerbliche Wirtschaft allein eine Entlastung der Sozialversicherungsbeiträge der Arbeitgeber analysiert. Von besonderem Interesse ist dabei, mit welcher Intensität die zusätzliche Steuer den sektoralen Strukturwandel von energie- und umweltintensiven Bereichen hin zu energieextensiven Produktionssektoren begünstigt. Unmittelbar betroffen sind zunächst die energieintensiven Sektoren des Verarbeitenden Gewerbes. Insofern erscheint es sinnvoll, mit der Grundstoffindustrie zu beginnen.

Grundstoffindustrie

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt gezeigt, sind die einer Primärenergiesteuer zurechenbaren Verbrauchsrückgänge im Verarbeitenden Gewerbe vornehmlich auf Veränderungen im sektoralen Strukturbild der westdeutschen Wirtschaft zurückzuführen. Dieser Wandel entspricht zwar der Intention der Steuer, ist jedoch aus dem Energieverbrauch allein nicht ableitbar. Maßgeblich hierfür ist vielmehr der zusätzliche Kostenimpuls, der aus der Saldierung von Energiekostensteigerungen und Entlastungen bei den Arbeitskosten entsteht.

Tabelle 10: Auswirkungen einer CO₂-Steuer auf die Kostenentwicklung der Grundstoffindustrie: Abweichungen von der Referenzlösung, 1980 bis 1990; Mrd. DM

	1980	1983	1985	1990
	brutto			
Grundstoffe insg.	4,2	17,0	27,8	58,3
darunter:				
Chemie	1,7	5,4	7,1	13,7
Steine, Erden	0,4	1,6	2,4	4,7
Eisen, Stahl	0,9	6,0	12,4	28,2
NE-Metalle	0,6	1,8	2,2	3,7
HZPP	0,3	1,0	1,6	3,9
	netto			
Grundstoffe insg.	3,9	12,7	19,0	40,0
darunter:				
Chemie	1,7	3,8	3,5	5,9
Steine, Erden	0,4	1,2	1,5	3,0
Eisen, Stahl	0,9	5,2	10,7	25,0
NE-Metalle	0,6	1,6	1,9	3,0
HZPP	0,3	0,9	1,3	3,1
Eigene Berechnungen.				

In den energieintensiven Sektoren überwiegt naturgemäß der Belastungseffekt. Die in Mrd. DM gemessenen zusätzlichen Belastungen steigen in diesen Sektoren aufgrund der Dynamisierung der Steuersätze kontinuierlich an und erreichen im Jahr 1990 rund 40 Mrd. DM.

Die zusätzlichen Energiepreisimpulse werden nur zu etwa einem Drittel durch eine Entlastung bei den Arbeitgeberbeiträgen kompensiert. Eine Überwälzung dieser Kostenimpulse auf nachgelagerte Sektoren wäre nur möglich, wenn durch Marktzutrittsbeschränkungen oder andere Formen der Regulierung der Bereich vor Wettbewerb geschützt würde oder bei speziellen Produktanforderungen und -qualitäten. Bei den Absatzmärkten der wichtigsten Grundstoff- und Produktionsgüter, die in standardisierten Produktionsverfahren als Massenprodukte gehandelt werden, liegen diese Voraussetzungen nicht vor. Es ist daher zu erwarten, daß die dargestellten Kostenimpulse von den Unternehmen nur zu einem geringen Teil im Preis weitergegeben wer-

den können. Kapazitätsanpassungen und Produktionseinschränkungen werden die unausweichliche Folge sein - ein Lenkungseffekt, der bei der Konstruktion der Steuer intendiert ist.

Diese Aussage ist jedoch relativ grob, da in den einzelnen Sektoren energieintensive Produktionsprozesse mit energieextensiven Verfahren vermischt sind. Es ist daher zu vermuten, daß ein Teil jener Sektoren, deren variable Kosten einschließlich der zusätzlichen Energiekosten nicht mehr durch die Umsatzerlöse gedeckt werden können, die Produktion nicht vollständig einstellt, sondern auf den energieextensiven Teil verlagert. Zwar ist dabei offen, in welchem Umfang Primärproduktion und nachgelagerte Verarbeitungsstufen in einem festen Produktionsverbund stehen, dennoch erscheint die Annahme gerechtfertigt, daß Produktionsverlagerungen nur für den energieintensiven Teil zu erwarten sind.

Insbesondere stromintensive Produktionssegmente, wie die Verhüttung von Aluminium oder die Chlor-Elektrolyse, unterliegen einem zusätzlichen Kostendruck. Im Jahr 1980 verteuert sich die Herstellung einer Tonne Primäraluminium um rund 110 DM, dies entspricht einer Preissteigerung von 3,6 vH. Die gegenüber der Referenzlösung erhöhten Strompreise lassen diese Preisdifferenz bis zum Jahr 1990 auf knapp 2 100 DM pro t Aluminium anwachsen (vgl. Tabelle 10). Die CO_2 -Steuer begründet vor allem in stromintensiven Produktionsprozessen, wie beispielsweise der Verhüttung von Primäraluminium, einen zusätzlichen Kostendruck. Aber auch die Rohstahlproduktion auf Basis der Verfahrenslinie Roheisen-Oxygenstahl wird über die kumulierten direkten und indirekten Preiswirkungen der Energiesteuern überproportional belastet. Die Elektrostahlwerke haben aufgrund des relativ hohen Schrotteinsatzes zwar geringere Kostensteigerungen zu erwarten; immerhin steigen aber auch in diesem Produktionssegment trotz eines spezifisch höheren Schrotteinsatzes die Herstellungskosten bis zum Jahr 1990 um rund 130 DM/t bzw. 10,3 vH. Eine nachhaltige Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Elektro- gegenüber Oxygenstahlwerken ist daher nicht zu erwarten.

Energieextensive Sektoren

Die im vorangegangenen Abschnitt dargestellten sektoralen Strukturprobleme entsprechen dem allokativen Zweck der Primärenergiesteuer, einen strukturellen Wandel einzuleiten, der im Laufe der Jahre eine Extensivierung der deutschen Volkswirtschaft erzwingt. Die bisherigen Ausführungen konzentrierten sich auf die von diesem Strukturwandel betroffenen Sektoren.

Die allokativen Wirkungen der Steuer wären jedoch außerordentlich einseitig, wenn über die negativen Effekte hinaus nicht auch positive Wirkun-

Tabelle 11: Auswirkungen einer CO₂-Steuer auf die Herstellungskosten energieintensiver Produkte, 1980 bis 1990

	1980	1983	1985	1990
	DM/t			
Chlor	9	65	77	150
Zement	2	21	35	64
Oxygenstahl	2	71	131	268
Elektrostahl	1	21	92	128
Hüttenaluminium	112	785	1152	2085
HZPP	9	57	94	183
	in vH			
Chlor	8,7	32,5	35,0	47,3
Zement	2,4	16,7	22,8	36,2
Oxygenstahl	0,5	12,3	20,9	37,3
Elektrostahl	0,5	1,8	5,1	10,3
Hüttenaluminium	3,6	19,2	24,2	37,8
HZPP	0,8	4,2	6,4	11,3
Eigene Berechnungen.				

Tabelle 12: Auswirkungen einer CO₂-Steuer auf die Kostenentwicklung energie-extensiver Bereiche: Abweichungen von der Referenzlösung, 1980 bis 1990; Mrd. DM

	1980	1983	1985	1990
Brutto				
Investitionsgüter	1,6	6,3	9,8	22,1
darunter:				
Maschinenbau	0,4	1,5	2,4	4,8
Straßenfahrzeugbau	0,5	2,1	3,3	8,0
Elektrotechnik	0,3	1,2	1,6	3,7
Verbrauchsgüter	0,8	2,7	3,8	8,4
Nahr.u.Genussmittel	0,4	1,8	2,7	5,5
Baugewerbe	0,6	2,0	4,3	8,9
Handel, Verkehr	1,2	5,8	9,0	21,9
Dienstleistungen	0,7	3,0	4,5	10,5
Staat	1,3	4,4	6,2	12,6
Netto				
Investitionsgüter	1,6	-0,2	-3,8	-10,8
darunter:				
Maschinenbau	0,4	-0,3	-1,1	-3,5
Straßenfahrzeugbau	0,5	0,2	-0,8	-2,0
Elektrotechnik	0,3	-0,2	-1,8	-4,8
Verbrauchsgüter	0,8	0,7	-0,1	-0,4
Nahr.u.Genussmittel	0,4	0,4	-0,0	0,0
Baugewerbe	0,6	0,4	-0,3	-0,4
Handel, Verkehr	1,2	1,7	2,6	6,1
Dienstleistungen	0,7	-1,7	-5,5	-15,5
Staat	1,3	-3,6	-9,2	-21,5
Eigene Berechnungen.				

gen zu erwarten wären. Die Konstruktion der Steuer sieht jedenfalls vor, den Faktor Energie zu be-, den Faktor Arbeit zu entlasten. Die in diesem Kapitel analysierte CO_2 -Steuer sollte demnach die arbeitsintensiven Sektoren der Volkswirtschaft so begünstigen, daß eine nachhaltige Verbesserung ihrer relativen Preisposition erreicht wird.

Um diese intendierte Lenkungsfunktion quantifizieren und bewerten zu können, sind auch für die energieextensiven Sektoren die zusätzlichen Belastungen aus der Besteuerung des Faktors Energie den Entlastungen durch die Senkung der Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung gegenüberzustellen. Dies ist für einige ausgewählte Jahre in Tabelle 11 geschehen. Die Ergebnisse sind im Hinblick auf die der Steuer zugeschriebenen Strukturwirkungen vergleichsweise bescheiden.

In den als arbeitsintensiv zu klassifizierenden Investitionsgüterbereichen erreicht die Entlastung im Jahr 1990 insgesamt knapp 11 Mrd. DM; die Arbeitskosten im Maschinenbau werden um 3,5 Mrd. DM, im Straßenfahrzeugbau um 2,0 und in der Elektrotechnik um 4,8 Mrd. DM entlastet. Bezogen auf das durchschnittliche Niveau der achtziger Jahre entspricht dieser Effekt nicht einmal 25 vH der Lohnnebenkosten (Sozialkosten) und 4,4 vH der Lohnkosten insgesamt. Eine moderate Lohnpolitik mit nominal konstanten Lohnabschlüssen über zwei Jahre hätte vergleichbare Wirkungen.

Spürbare Entlastungen sind allein für die Dienstleistungsbereiche und den Staat zu erwarten. Die Entlastungen beim Staat müssen allerdings mit den sinkenden Steuereinnahmen etwa aus der Mineralölsteuer (1990: -2,2 Mrd. DM) oder den übrigen direkten und indirekten Steuern saldiert werden, um die tatsächliche Nettoentlastung zu ermitteln. Unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge reduziert sich die Nettoentlastung bis zu Jahr 1990 auf 17,5 Mrd. DM.

B.2.6 Gesamtwirtschaftliche Wirkungen

Die gesamtwirtschaftlichen Wirkungen der CO_2 -Steuer ergeben sich als Summe der sektoralen Veränderungen. Die sektoralen Effekte wiederum werden in einer Gliederung nach 60 Bereichen analysiert. Es würde über den Rahmen dieser Analyse hinausgehen, diese Wirkungen im Detail darzustellen. Da für die zu Beginn aufgeworfene Frage nach einer doppelten Dividende vor allem die Beschäftigungswirkungen der zusätzlichen Steuer von Interesse sind, beschränkt sich die Analyse auf diesen Teil der gesamtwirtschaftlichen Wirkungen.

Die Beschäftigungsbilanz, die in Tabelle 12 für den Fall dargestellt ist, daß das Aufkommen aus der CO_2 -Steuer zur Verringerung der Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung verwendet wird, korrespondiert weitge-

Tabelle 13: Beschäftigungseffekte einer CO₂-Steuer: Abweichungen von der Referenzlösung, 1980 bis 1990; 1000 Personen

	1980	1983	1985	1990
Energieversorgung	-0	-2	-7	-12
Grundstoffe	-15	-27	-32	-46
Investitionsgüter	-11	-5	6	32
Verbrauchsgüter	-9	4	16	30
Nahr.u.Genussmittel	-1	8	12	22
Baugewerbe	-2	6	10	20
Handel, Verkehr	-19	-16	-15	3
Dienstleistungen	-4	2	6	14
Staat	-2	-8	-11	-23
Insgesamt	-63	-29	5	62
Eigene Berechnungen				

hend mit den dargestellten Be- und Entlastungswirkungen der zusätzlichen Steuer; Beschäftigungseinbußen haben insbesondere die Energiewirtschaft, die Grundstoff- und Produktionsgütersektoren sowie der distributive Sektor hinzunehmen, in allen übrigen Bereichen sind die Beschäftigungseffekte zum Ende des Untersuchungszeitraumes positiv. Überraschend ist zunächst der Rückgang der Beschäftigten beim Staat, da die Kompensation der Arbeitgeberbeiträge auch die Arbeitskosten des Staates verringert. Dieser Entlastungseffekt wird jedoch dominiert von einem nachfrageinduzierten Rückgang nach staatlichen Dienstleistungen im Bereich Verkehr und Freizeit der privaten Haushalte. Bemerkenswert ist darüberhinaus das Zeitprofil der Beschäftigungswirkungen: der positive Effekt stellt sich erst nach einer Anpassungsdauer von mindestens 5 Jahren ein, wobei die Beschäftigungsverluste in den ersten 5 Jahren nahezu identisch mit den -gewinnen nach Ablauf von zehn Jahren sind. Über den gesamten Zeitraum saldiert sind die Beschäftigungseffekte mithin weder positiv noch negativ.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist allerdings zu bedenken, daß die vorliegenden Zahlen - wie bereits zu Beginn erwähnt - reine Modellergebnisse darstellen, die angesichts des engen zeitlichen Rahmens der Analyse weder auf ihre Plausibilität hin überprüft noch gegebenenfalls korrigiert werden konnten.

B.3 T. Schmidt: Technische Details zur Simulation des ZEW

B.3.1 Durchgeführte Szenarien

Durchgeführt wurden drei ex-ante Simulationen für den Zeitraum 1999-2009 (11 Jahre):

- Aufkommensneutrale ökologische Steuerreform in Deutschland, Verwendung des Steueraufkommens zur Reduktion des Staatsdefizits
- Aufkommensneutrale ökologische Steuerreform in Deutschland, Verwendung des Steueraufkommens zur Senkung der Sozialversicherungsbeiträge der Arbeitgeber
- Harmonisierte aufkommensneutrale ökologische Steuerreform in der EU, Verwendung der jeweiligen Steueraufkommens zur Senkung der Sozialversicherungsbeiträge der Arbeitgeber. In allen EU-Länder wird also die gleiche Steuer erhoben, das Steueraufkommen verbleibt in den jeweiligen Ländern.

B.3.2 Begründung für Auswahl der Szenarien

Aus Kapazitätsgründen wurden die übrigen Rückerstattungsvarianten nicht simuliert. Grundsätzlich ist dies jedoch möglich. Auch eine ex-post Simulation der verschiedenen Politiken ist möglich, der Erkenntnisgewinn steht jedoch, wie Erfahrungen zeigen, in keiner Relation zum Aufwand.

Die Analyse eines (komparativ-statischen) Szenarios ohne Aufkommensverwendung ist in allgemeinen Gleichgewichtsmodellen (AGE) nicht sinnvoll, da es sich grundsätzlich um in sich geschlossene Systeme handelt. Das heißt, sofern der Ökonomie an irgendeiner Stelle Ressourcen entzogen werden, muß auch über die Verwendung dieser Ressourcen eine Aussage getroffen werden. Wird nur der Ressourcenentzug spezifiziert, wird das Modell über die sogenannte Schließungsregel automatisch geschlossen. In GEM-E3 entspricht die Nicht-Verwendung des Aufkommens daher einer Verwendung des Steueraufkommens zur Reduktion des Staatsdefizits. Bei sinkendem Staatsdefizit steigt der Finanzierungssaldo des Staates (in der Regel wird er weniger negativ). Da die Summe der Finanzierungssalden der abgebildeten Agenten (Unternehmen, Haushalte, Staat und Ausland) Null ergeben muß, hat die Nicht-Verwendung eine entsprechende Rückkopplungswirkung auf die Finanzierungssalden der übrigen Agenten. Dies betrifft auch die Leistungsbilanz. Ceteris paribus bedeutet dies für den Finanzierungssaldo des Auslands,

daß weniger importiert, jedoch mehr exportiert werden muß. Das inländische Preisniveau paßt sich in diesem Fall so an, daß der notwendige Ausgleich erreicht wird; d.h., daß die Summe aller Überschußnachfragen gleich Null ist. Diese in Bezug auf die VGR notwendige Bedingung ist meines Wissens in offenen Input-Output-Modellen nicht sichergestellt, so daß die Nicht-Verwendung des Aufkommens zu anderen Ergebnissen führt als die Verwendung zur Senkung des Staatsdefizits.

B.3.3 Modelleinstellung

Grundsätzlich ergeben sich keine Probleme bei der Durchführung der vorgegebenen Szenarien. GEM-E3 unterstützt eine Reihe von umweltpolitischen Instrumenten für eine Vielzahl von Schadstoffen in der Standard-Modellversion. Hierzu gehören exogene Emissions- und/oder Energiesteuern, endogene Emissions- und/oder Energiesteuern (bei Vorgabe des Emissionsziels wird der Steuersatz modellendogen ermittelt), handelbare Emissionszertifikate und Umweltstandards auf sektoraler, nationaler und EU-weiter Ebene. Die vorgegebenen Rückerstattungsmechanismen sind bereits in die Standardversion integriert und können beim entsprechenden Lauf jeweils zugeschaltet werden.

Für die ex-ante Simulation wurde folgende Emissionsentwicklung für die EU-Mitgliedsländer unterstellt (ohne Einführung einer Umweltpolitik)⁷.

⁷Sowohl für den Referenzlauf, als auch für den Politiklauf.

**Expected CO₂ Emissions Growth (base 1990)
(Pre-Kyoto Study, Capros et al. 1997)**

	2000	2010
Austria	-3	3
Belgium	7	19
Germany	-10	-9
Denmark	15	11
Finland	22	37
France	5	6
Greece	18	36
Ireland	13	26
Italy	13	18
Netherlands	9	23
Portugal	25	55
Spain	20	38
Sweden	23	31
Un. Kingdom	-6	1
EU-14	2	8

B.3.4 Zusammenfassung der Simulationsergebnisse in Stichpunkten

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt jeweils als prozentuale Abweichung vom Referenzlauf. Besprochen werden nur diejenigen Werte, welche sich am Ende der Politik, d.h. in 2009, ergeben.

CO₂-Steuer in Deutschland, Verwendung des Steueraufkommens zur Reduktion des Staatsdefizits

Wirkungen in Deutschland

- Erhöhung der Energiepreise führt zur einem Rückgang des Energiekonsums um 23.3%.
- Daraus resultiert eine Senkung des CO₂-Emissionen um 36.8% gegenüber 1990, dies entspricht einer politikinduzierten Reduktion um 28.4%. (Die Emissionsentwicklung der übrigen Schadstoffe ist der entsprechenden Tabelle zu entnehmen).
- Die Verteuerung der inländischen Produktion führt zu einem Beschäftigungsrückgang um nahezu 10% bei gleichzeitig sinkenden Reallöhnen (knapp 8%).

- Sinkende Realeinkommen lassen privaten Konsum um 6.5% sinken.
- Zusammen mit den übrigen Endnachfragekomponenten ergibt sich ein Rückgang der inländischen Nachfrage um etwa 4.7%.
- Der Nachfrageeffekt überkompensiert den Substitutionseffekt bei den Importen. Letztere sinken um etwa 6%.
- Der Ausfall der inländischen Nachfrage führt jedoch insgesamt zu einem niedrigeren inländischen Preisniveau. Die Terms of Trade verbessern sich, so daß die Exporte um 4% steigen.
- Insgesamt ergibt sich ein Rückgang des Bruttosozialprodukts um etwas 1.3%.

CO₂-Steuer in Deutschland, Verwendung des Steueraufkommens zur Senkung der Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung Wirkungen in Deutschland

- Der Rückgang der Energienachfrage und der Emissionen ist etwas geringer als bei einer Verwendung des Aufkommens zur Reduktion des Staatsdefizits. Ursache: der negative Nachfrageeffekt entfällt.
- Die Veränderung der Relativpreise fällt zugunsten des Faktors Arbeit aus: Energie wird teurer, Arbeit wird billiger, so daß mehr Arbeit nachgefragt wird. Es kommt zu einem Beschäftigungsanstieg um ca. 300.000 Beschäftigte.
- Es gibt also eine „doppelte Dividende“.
- Bei gleichzeitig steigendem Reallohn (etwas über 3%) nimmt das reale verfügbare Einkommen und der private Konsum zu (letzterer um 0.2%).
- Der Konsumanstieg kann die Entwicklung in den übrigen Endnachfragekomponenten jedoch nicht kompensieren, so daß die inländische Nachfrage um 2.4% sinkt.
- Dies führt zu einem entsprechenden Rückgang der Importe (3.6%)
- Da der preissenkende Nachfrageausfall nicht eintritt, bleiben die Exportpreise gegenüber den ausländischen Wettbewerben hoch. Die Exporte sinken daher um 4.4%.
- Der Rückgang des Bruttosozialprodukts liegt mit 0.42% deutlich unter dem Wert bei Verwendung des Steueraufkommens zur Reduktion des Staatsdefizits.

Harmonisierte CO₂-Steuer in der EU, Verwendung des Steueraufkommens zur Senkung der Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung

Wirkungen in Deutschland

- Die Entwicklung von Energieeinsatz und Emissionen entspricht weitgehend den Werten bei nationalem Alleingang.
- Wie im obigen Fall wird Arbeit relativ billiger. Die Beschäftigung nimmt bei steigendem Reallohn (3.7%) um etwa 320.000 Beschäftigte zu.
- Trotz vergleichsweise höherem Anstieg der Reallöhne gegenüber der nationalen Politikvariante ist das reale verfügbare Einkommen rückläufig, da der Zuwachs beim Arbeitseinkommen vom Rückgang des Kapitaleinkommens überkompensiert wird. Der private Konsum geht daher zurück (0.16%).
- Die inländische Nachfrage sinkt noch etwas stärker als bei nationalem Alleingang (hier war der private Konsum gestiegen).
- Zusammen mit den nun ebenfalls höheren Preisen für Importe aus den übrigen EU-Ländern führt dies zu einem noch stärkeren Rückgang der Importe.
- Die nun auch für die übrigen EU-Länder auftretenden Belastungen führen zu einem weiteren Rückgang der Exporte (etwa 4.7%).
- Der BSP-Verlust fällt daher für Deutschland noch etwas größer aus als bei der nationalen Politikvariante (0.47%).

Wirkungen in der EU

- EU-weit sinken die CO₂-Emissionen um 20.8% gegenüber 1990.
- EU-weit nimmt die Beschäftigung um etwa 2 Mio zu.
- Die Wirkungen in den einzelnen Mitgliedsländern entsprechen qualitativ weitgehend den für Deutschland beschriebenen.
- Die effektive Belastung der nationalen Ökonomien richtet sich jedoch nach länderspezifischen Besonderheiten bezüglich Produktionsstruktur, Energieintensität, Arbeitsintensität, Energieträgermix, Importabhängigkeit, Handelsverflechtungen, der Verzerrungswirkung der bestehenden Steuersysteme, etc.

Table 1.1: CO2 Tax, unilateral action by Germany
Recycling: Social Security Contribution (employers)
(numbers indicate percent changes from baseline except if defined otherwise)

Macroeconomic Aggregates for Germany						
	2000	2002	2004	2006	2009	
Gross Domestic Product	0.03%	0.01%	-0.07%	-0.19%	-0.42%	
Employment*	58	138	203	259	329	
Private Investment	-0.16%	-0.33%	-0.52%	-0.72%	-1.03%	
Domestic Consumption	-0.05%	0.13%	0.23%	0.26%	0.22%	
Domestic Demand	-0.49%	-0.98%	-1.43%	-1.85%	-2.44%	
Exports in volume	-0.41%	-1.42%	-2.37%	-3.24%	-4.44%	
Imports in volume	-0.73%	-1.48%	-2.16%	-2.77%	-3.60%	
Energy consumption in volume	-4.60%	-9.63%	-13.78%	-17.30%	-21.72%	
Consumers' price index	0.57%	1.70%	2.77%	3.78%	5.22%	
GDP deflator in factor prices	-0.83%	-1.31%	-1.68%	-2.00%	-2.43%	
Real wage rate	0.38%	1.25%	1.94%	2.49%	3.12%	
Current account as % of GDP***	0.17	0.23	0.28	0.33	0.38	
Development of CO2 emissions						
Total CO2 emissions (based on 1990)	-10.80%	-18.08%	-23.86%	-28.67%	-34.68%	
Actual reduction effort (incl. BAU-growth expectation)	-6.39%	-12.79%	-17.68%	-21.61%	-26.30%	
Actual reduction of other atmospheric emissions (incl. growth)						
NOX	-4.31%	-8.82%	-12.42%	-15.43%	-19.16%	
SO2	-10.27%	-20.02%	-26.99%	-32.25%	-38.17%	
PM	-10.40%	-20.28%	-27.37%	-32.72%	-38.74%	
Equivalent variation of total welfare						
Economic welfare		in % GDP	in ECU per capita			
Economic and environmental welfare		0.64%	607			
		0.84%	803			

* in thousand employed persons

** as percent of GDP (last simulation year)

*** absolute difference from baseline

- Die Betroffenheit der Länder ist daher durchaus unterschiedlich. Hinsichtlich des BSP-Rückgangs gehören vor allem Irland, Österreich und das Vereinigte Königreich zu den Verlierern. Auch beim privaten Konsum sind die Ergebnisse unterschiedlich: In einigen Ländern ergibt sich ein schwacher Anstieg, in anderen ist der private Konsum dagegen negativ.

Die jeweiligen Werte der Simulationsszenarien sind en detail den entsprechende Tabellen zu entnehmen.

**Table 2.1: CO2 Tax, unilateral action by Germany,
Recycling: Public Deficit**
(numbers indicate percent changes from baseline except if defined otherwise)

Macroeconomic Aggregates for Germany						
	2000	2002	2004	2006	2009	
Gross Domestic Product	-0.07%	-0.25%	-0.50%	-0.81%	-1.32%	
Employment*	6	7	2	-9	-34	
Private Investment	-0.35%	-0.84%	-1.33%	-1.83%	-2.57%	
Private Consumption	-1.06%	-2.37%	-3.61%	-4.79%	-6.51%	
Domestic Demand	-0.82%	-1.80%	-2.70%	-3.55%	-4.76%	
Exports in volume	0.91%	1.88%	2.65%	3.27%	4.05%	
Imports in volume	-1.13%	-2.42%	-3.58%	-4.63%	-6.05%	
Energy consumption in volume	-4.81%	-10.19%	-14.67%	-18.48%	-23.26%	
Consumers' price index	-0.53%	-1.05%	-1.36%	-1.51%	-1.53%	
GDP deflator in factor prices	-2.05%	-4.34%	-6.23%	-7.85%	-9.91%	
Real wage rate	-1.25%	-2.81%	-4.30%	-5.75%	-7.87%	
Current account as % of GDP***	0.57	1.23	1.83	2.39	3.16	
Development of CO2 emissions						
Total CO2 emissions (based on 1990)	-11.10%	-18.90%	-25.13%	-30.32%	-36.81%	
Actual reduction effort (incl. BAU-growth expectation)	-6.69%	-13.61%	-18.96%	-23.26%	-28.42%	
Actual reduction of other atmospheric emissions (incl. growth)						
NOX	-4.68%	-9.77%	-13.89%	-17.33%	-21.58%	
SO2	-10.47%	-20.59%	-27.90%	-33.43%	-39.67%	
PM	-10.67%	-21.01%	-28.47%	-34.12%	-40.48%	
Equivalent variation of total welfare						
		in % GDP	in ECU per capita			
Economic welfare		-1.39%	-1322			
Economic and environmental welfare		-1.17%	-1107			

* in thousand employed persons

** as percent of GDP (last simulation year)

*** absolute difference from baseline

**Table 3.1: CO2 Tax, harmonized EU-wide
Recycling: Social Security Contribution (employers)**
(numbers indicate percent changes from baseline except if defined otherwise)

Macroeconomic Aggregates for Germany						
	2000	2002	2004	2006	2009	
Gross Domestic Product	0.02%	-0.01%	-0.10%	-0.23%	-0.47%	
Employment*	57	136	200	255	323	
Private Investment	-0.18%	-0.37%	-0.59%	-0.82%	-1.18%	
Private Consumption	-0.12%	-0.01%	0.02%	-0.01%	-0.16%	
Domestic Demand	-0.54%	-1.08%	-1.59%	-2.06%	-2.73%	
Exports in volume	-0.44%	-1.51%	-2.52%	-3.44%	-4.68%	
Imports in volume	-0.90%	-1.85%	-2.72%	-3.51%	-4.59%	
Energy consumption in volume	-4.65%	-9.75%	-13.98%	-17.58%	-22.12%	
Consumers' price index	0.41%	1.46%	2.46%	3.41%	4.74%	
GDP deflator in factor prices	-1.05%	-1.65%	-2.14%	-2.58%	-3.19%	
Real wage rate	0.28%	1.04%	1.63%	2.07%	2.54%	
Current account as % of GDP***	0.16	0.20	0.23	0.26	0.29	
Development of CO2 emissions						
Total CO2 emissions (based on 1990)	-10.70%	-17.99%	-23.80%	-28.64%	-34.72%	
Actual reduction effort (incl. BAU-growth expectation)	-6.29%	-12.69%	-17.62%	-21.58%	-26.33%	
Actual reduction of other atmospheric emissions (incl. growth)						
NOX	-4.26%	-8.75%	-12.39%	-15.42%	-19.21%	
SO2	-10.10%	-19.88%	-26.92%	-32.24%	-38.23%	
PM	-10.23%	-20.15%	-27.30%	-32.72%	-38.82%	
Equivalent variation of total welfare						
	in % GDP		in ECU per capita			
Economic welfare	0.52%		491			
Economic and environmental welfare	0.97%		926			

* in thousand employed persons

** as percent of GDP (last simulation year)

*** absolute difference from baseline

B.4 W. Kuckshinrichs: Der IKARUS-Beitrag zum Simulationsexperiment des Beirats für Umweltökonomische Gesamtrechnung

B.4.1 Vorschlag für ein Simulationsexperiment im Rahmen des UGR-Projekts „Modellvergleich“

Untersuchungsgegenstand der Simulationen soll die Einführung einer Energie-/CO₂-Steuer sein, die eine Verminderung des Ausstoßes klimarelevanter Gase zum Ziel hat. Die Steuer wird zum 1.1.1999 mit einem Steuersatz von 10 DM/t CO₂ eingeführt. Der Steuersatz steigt bis 31.12.2009 jährlich linear bis auf 210 DM/t CO₂.

Für die Verwendung des Steueraufkommens sollen 5 verschiedene Kompensationsszenarien gerechnet werden:

1. ohne jede Kompensation
2. mit Kompensation: Verwendung des gesamten Steueraufkommens zur Reduktion der
 - (a) Staatsverschuldung,
 - (b) Arbeitgeberbeiträge zur Sozialversicherung,
 - (c) Arbeitnehmerbeiträge zur Sozialversicherung,
 - (d) Staatsverschuldung und der Arbeitgeber- bzw. Arbeitnehmerbeiträge zur Sozialversicherung im Verwendungsverhältnis 50 : 25 : 25.

Der Verlauf folgender Variablen soll dokumentiert werden:

- Bruttoinlandprodukt (BIP) in Preisen von 1995, pro-Kopf-BIP in Preisen von 1995,
- Inflationsrate des Konsumentenpreisindex und des Großhandelspreisindex,
- Außenhandelsüberschuß bzw. -defizit in Preisen von 1995,
- Staatsquote in der Definition des Statistischen Bundesamtes,
- Anteil des Einkommens aus unselbständiger Arbeit am Nettoinlandprodukt zu Faktorkosten,
- Einzel- und Großhandelspreise für möglichst viele Energieträger,
- Emissionsmengen für möglichst viele Luftschadstoffe.

B.4.2 IKARUS-Modellkonzeption und Durchführbarkeit der Simulationsexperimente

Das IKARUS-Instrumentarium⁸ ist entsprechend der Komplexität der Aufgabenstellung und der technologischen Vielfalt der Energieanwendungen im Laufe der Entwicklungszeit gewachsen. Ursprünglich sollte IKARUS aus einem Optimierungsmodell, das entsprechend der Ausgangsparameter die jeweils kostengünstigste CO_2 -Minderungsstrategie aufzeigt, und einer Datenbank bestehen, die lediglich die Modelldatensätze für die Rechenläufe zur Verfügung stellt.

Diese Komponenten bilden immer noch den Kern des IKARUS-Instrumentariums. Zusätzlich sind aufgrund des Bedarfs weitere Simulationsmodelle (Teilmodelle) entwickelt worden, mit denen detaillierte sektorspezifische Fragestellungen beantwortet werden können. Darüber hinaus wurde die Datenbank zu einem eigenständigen Informationsinstrument ausgeweitet, dessen Datenbestand in seiner Detaillierung weit über die Modelldatensätze hinausgeht. Eine direkte Kopplung von Modellen und Datenbank wurde zugunsten einer flexibleren Handhabung aufgegeben. Die Modelle wurden von STE erstellt⁹, während das Fachinformationszentrum (FIZ), Karlsruhe, die Datenbank aufbaute.

IKARUS-Modellkonzeption

Datenbank Technikdaten: Die Technikdaten stellen den Hauptteil der Datenbank dar und beinhalten technische, wirtschaftliche und umweltbezogene Daten zu Einzeltechniken (z. B. Gaskraftwerk, Wärmepumpe). Ihr Detaillierungsgrad geht weit über den Bedarf des Modells hinaus. Die Einzeldaten sind jeweils für die bereits genannten Analysejahre 1995, 2005 und 2020 dargestellt. Bei den Technikbeschreibungen handelt es sich nicht um einen Produktkatalog, sondern um typisierte, repräsentative Techniken, deren Eigenschaften aber z. T. auf Herstellerangaben zurückgehen. Die einzelnen Daten sind durch Literaturangaben belegt und, soweit nötig, zusätzlich kommentiert. Die Technikdaten sind entsprechend dem Optimierungsmodell in die einzelnen Stufen Primärenergie, Umwandlung und Anwendung und die Sektoren Haushalte, Kleinverbraucher, Industrie, Verkehr gegliedert. Zusätzlich wurde der Bereich Querschnittstechniken gebildet, der sektorübergreifende Techniken beschreibt (z. B. Lichttechnik, elektrische Antriebe). Die Technikdaten sind ausgehend von den inhaltlichen Anforderungen des jeweiligen Teilbereichs unterschiedlich stark strukturiert.

⁸Zum Überblick vgl. BINE Informationsdienst, profi info 1/97

⁹Das Simulationsmodell Industrie wurde von ISI, Karlsruhe, erstellt. Jede Komponente ist - bis auf das Teilmodell Industrie - für sich allein betreibbar.

Rahmendaten: Die Rahmendaten informieren über die volkswirtschaftlichen Randbedingungen, die sowohl den Ist-Zustand (im Basisjahr 1989 - ein Update mit Basisjahr 1995 ist in Arbeit) als auch die zu erwartenden Entwicklungen der Analysejahre 2005 und 2020 wiedergeben, u. a. demographische Angaben, Strukturdaten, Energiebilanzen, Preise von importierten Energieträgern.

Modelldaten: Die Modelldaten, die eine vergleichsweise kleine Untermenge des gesamten Datenbestandes darstellen, sind die Ausgangsdaten für das Optimierungsmodell. Inhaltlich bauen sie vor allem auf den Technikdaten auf. Eine umkehrbare Zuordnung der Modelldaten zu den Technikdaten ist nur zum Teil möglich, da diese unterschiedliche Aggregationsniveaus aufweisen, d. h. eine Modell-Technik stellt oft ein Aggregat (Technik-Mix) aus gewichteten Einzeltechniken dar. In der IKARUS-Einzeltechnik-Datenbank bzw. der Datenbasis der Teilmodelle ist aber nachvollziehbar abgelegt, wie die Einzeltechniken zu Aggregaten verdichtet werden.

Einsatzbereiche der Datenbank: Eine große Zahl von Einzelinformationen ermöglicht die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit, der energetischen Effizienz sowie der Emissionen unterschiedlichster Techniken. Damit stellt die Datenbank ein in diesem Umfang bisher nicht vorhandenes Informationskompendium zum bundesdeutschen Energiesystem zur Verfügung. Für ihre Nutzung wurde ein menügeführtes Retrievalsystem (Suche) mit einer graphischen Oberfläche entwickelt, das ein Navigieren durch den Datenbestand erlaubt. Eine Stichwortsuche erleichtert das Auffinden des jeweils gesuchten Technikbereichs. Ferner besteht die Möglichkeit des Technikvergleichs. Bei den Querschnittstechniken werden viele Merkmale in Form dynamisch erzeugter Kennlinien dargestellt. Im Sektor Raumwärme wird das Retrieval durch ein Tool ergänzt, das dem Nutzer erlaubt, den Energiebedarf, die Emissionen sowie die Wirtschaftlichkeit des nahezu beliebig kombinierbaren Gesamtsystems Gebäude (inkl. Auswahl verschiedener bauphysikalischer Standards und Nutzungsbedingungen) mit Heizsystem, Warmwassersystem und raumlufttechnischer Anlage individuell zu ermitteln. Die Datenbank ist z. B. für folgende Zwecke einsetzbar:

- Detaillierte Informationsbasis in vielfältigen Zusammenhängen (z. B. Energiepolitik, Energiekonzepte, Planung),
- Technikvergleiche in der Vorplanungsphase für die Auswahl von Gerätetypen sowie deren Dimensionierung oder für Analysezwecke,
- Hintergrundinformation und Hilfestellung für die Gestaltung der Nutzereingaben in den Modellen oder für die Deutung der Modellergebnisse,

- Selektion von Eingangsdaten für eigene Simulationsprogramme.

Optimierungsmodell Das Optimierungsmodell¹⁰ bildet das Energiesystem der Bundesrepublik Deutschland in Form vernetzter Prozesse ab. Solche Prozesse sind z. B. die Gewinnung oder der Import von Primärenergie, die Umwandlung in Sekundärenergie (z. B. Stromerzeugung) und deren Verteilung sowie schließlich die Nutzung beim Endverbraucher für die Nachfrage nach Energiedienstleistungen (z. B. Transport von Gütern und Personen, Industrieproduktion). Dabei werden die Vielzahl der Optionen für verschiedene Techniken, die zugehörigen spezifischen Emissionen, die individuellen Kosten sowie die möglichen Vernetzungen der Energieflüsse erfaßt. Neben ökonomischen und technischen Daten werden relevante energiepolitische Rahmenbedingungen (z. B. Umfang der inländischen Steinkohleförderung) berücksichtigt. Das Energiesystem wird vom optimierenden Modell so gestaltet, daß die Nachfrage nach Energiedienstleistungen erfüllt wird. Die Nachfragen sind quasi die „treibenden Kräfte“ im Modell. Mit dem mathematischen Verfahren der linearen Programmierung wird die Befriedigung des zukünftigen Energiebedarfs im Modell in der Form ermittelt, daß die gesetzten energie- und umweltpolitischen Ziele mit volkswirtschaftlich minimierten Kosten erreicht werden. Dabei werden Art und Menge der zu verwendenden Energieträger sowie Typ und Kapazität der Energietechniken bestimmt. Außerdem ermittelt das Modell die entstehenden Gesamtkosten.

Eingriffsmöglichkeiten des Nutzers: Für jedes Analysejahr wird dem Modellnutzer ein konsistenter Referenzdatensatz angeboten, der im Rahmen des IKARUS-Projektes erarbeitet wurde. Dieser beinhaltet z. B. die Datenbeschreibungen von ca. 2000 Energiewandlungstechniken, die Nachfragen nach Energiedienstleistungen, die Importenergieträgerpreise etc. Alle Daten können vom Nutzer über eine benutzerfreundliche Oberfläche geändert werden. Sämtliche Änderungen, die gegenüber dem Referenzdatensatz durchgeführt werden, werden automatisch protokolliert.

Makroökonomische Analyse: Anhand des Makroökonomischen Modells (MIS) werden die Optimierungsergebnisse hinsichtlich volkswirtschaftlicher Widerspruchsfreiheit bewertet. Die Anbindung von Optimierungsmodell und MIS erfolgt nicht automatisch über einen Algorithmus, sondern über einen soft-linking-Ansatz. Das MIS-Modell dient im Vorfeld der Optimierungsläufe auch zur Generierung exogener Größen, z. B. Nachfrage von Energiedienstleistungen. Es kann auch unabhängig vom Optimierungsmodell als eigenstän-

¹⁰Eine ausführliche Darstellung der von STE erstellten Modelle gibt Markewitz, P. et al (1998), Modelle für die Analyse energiebedingter Klimagasreduktionsstrategien. Schriften des Forschungszentrums, Reihe Umwelt, Band 7.

diges Analyseinstrument eingesetzt werden.

Durchführbarkeit der Simulationsexperimente

Optimierungsmodell Auf der Basis der Modellkonzeption, insbesondere des Optimierungsmodells, ist eine historische Simulation für den Zeitraum ab 1980 praktisch nicht durchführbar. Das Modell ist für ein Basisjahr kalibriert. Die Erfahrung zeigt, daß die für eine historische Simulation notwendige Erhebung von detaillierten Technikdaten nur mit nicht zu vertretendem Aufwand durchgeführt werden kann. Daher ist nur der Einsatz für eine prognostische Simulation gerechtfertigt.

Der Einsatz des Modells für das Simulationsexperiment muß vor dem Hintergrund bewertet werden, daß bei Einführung einer CO_2 -Steuer sich den Akteuren des ökonomischen Systems Reaktionsmöglichkeiten bieten, die nur partiell durch das Modell abgebildet werden:

- Aufgrund der veränderten relativen Preise können technische Substitutionsmöglichkeiten realisiert werden. Diese umfassen sowohl den Austausch CO_2 -intensiver gegen weniger CO_2 -intensive Energieträger (z. B. Erdgas und Windenergie statt Kohle) als auch die Substitution von Energieträgern durch Kapitaleinsatz (z. B. Wärmedämmung).
- Der Preisanstieg kann nach Maßgabe der Preiselastizität der Nachfrage für Energiedienstleistungen zu Nachfragereduktionen führen.

Das technik-orientierte Optimierungsmodell bildet zwar Substitutionsmöglichkeiten ab, aber nicht eine preisreagible Nachfrage nach Energiedienstleistungen¹¹. Der Einsatz des Optimierungsmodells für die Analyse von steuerinduzierten CO_2 -Reduktionen bildet daher nicht alle Reaktionsmöglichkeiten der Akteure des ökonomischen Systems ab. Dieser Sachverhalt führt tendenziell zu hohen CO_2 -Vermeidungskosten bzw. Grenzkosten. Entsprechend ist tendenziell ein hoher CO_2 -Steuersatz zur Vermeidung von Emissionen notwendig.

Das Optimierungsmodell verfügt derzeit über keinen Mechanismus, eines der vorgeschlagenen Kompensationsszenarien zu berechnen. Daher kommt im folgenden nur das Szenario 1 „Keine Kompensation des Steueraufkommens“ in Betracht.

Das Modell rechnet für das Stützjahr 2005. Unter der Annahme eines jährlichen linearen Anstiegs des CO_2 -Steuersatzes beträgt dieser im Jahr 2005 130 DM/t CO_2 . Im folgenden wird eine Modellrechnung vorgestellt, die sich an dieser Höhe des CO_2 -Steuersatzes orientiert.

¹¹Prinzipiell kann die derzeitige Konzeption auch in Richtung einer preisreagiblen Nachfrage nach Energiedienstleistungen erweitert werden.

Da das Optimierungsmodell nur mit realen Kostengrößen operiert und sich in der Struktur nicht auf makroökonomische Variablen stützt, kann von den gewünschten Variablen lediglich der Verlauf von Emissionsmengen dargestellt werden.

MIS-Modell Das MIS-Modell ist ebenfalls auf ein Basisjahr kalibriert, so daß eine historische Simulation für den Zeitraum ab 1980 ebenfalls nur mit nicht zu vertretendem Aufwand durchgeführt werden kann. Vor dem Hintergrund des linking-Konzepts mit dem Optimierungsmodell ist auch im MIS-Modell keine preisreagible (End-)Nachfrage endogenisiert. Preisinduzierte Substitutionsprozesse für den Faktoreinsatz zwischen Energieträgern und zwischen Kapital und Energie sind über eine geschachtelte CES-Produktionsfunktion integriert.

Das MIS-Modell verfügt in der aktuellen Version über die in der folgenden Tabelle 1 dargestellten Kompensationsansätze. Damit kommen nach dem Vorschlag für die durchzuführenden Simulationsprozesse zwei Fälle in Betracht. Da das MIS-Modell in der aktuellen Version von uns noch nicht hinreichend getestet werden konnte, kann es für das Simulationsexperiment noch nicht eingesetzt werden. Der verstärkte Einsatz des MIS-Modells im Rahmen der IKARUS-Arbeiten ist für die nächste Zeit geplant.

Vorgabe Modellexperiment		MIS
Ohne Kompensation	↔	Ohne Kompensation
Verwendung des Steueraufkommens zur Reduktion der <ul style="list-style-type: none"> Staatsverschuldung Arbeitgeberbeiträge zur SZV Arbeitnehmerbeiträge zur SZV 50 %/ 25 %/ 25 % 	↔	Verwendung des Steueraufkommens zur Reduktion der <ul style="list-style-type: none"> Arbeitgeberbeiträge zur SZV für alle Sektoren gleich Arbeitgeberbeiträge zur SZV mit Differenzierung für Industrie und Dienstleistungssektor

Tab. 1: Kompensationsmechanismen

B.4.3 Simulationsexperiment ohne Kompensation

Die folgende Analyse basiert auf Modellanwendungen, die STE im Rahmen eines UFOPLAN-Vorhabens für das Umweltbundesamt erstellt hat¹². Mit dem Optimierungsmodell wurden Szenarien zur Reduktion von CO_2 unter volkswirtschaftlich kostenminimalen Kriterien gerechnet. Ergebnis dieser Modellrechnungen sind Reduktionsstrategien, die aus verschiedenen technologischen Maßnahmen in den Verbrauchs- und Umwandlungssektoren bestehen. Dieser Ansatz bewertet Reduktionsmaßnahmen im Kontext des vernetzten Energiesystems; d.h. es werden zwischen verschiedenen Maßnahmen bestehende Wechselwirkungen eingefangen.

Vorgaben

Rahmendaten ¹³ Das Modell ist für das Jahr 1989 kalibriert und enthält Stützpunkte für die Jahre 2005 sowie 2020. Für das CO_2 -Bezugsjahr 1990 werden die statistischen Werte der CO_2 -Emissionen auf die Struktur des Modells projiziert. Die Importenergieträgerpreise sowie die Nachfrage nach Energiedienstleistungen bzw. Nutzenergie werden außerhalb des Modells erhoben und dem Modell exogen vorgegeben. Es wird angenommen, daß die Preise der wichtigsten Importenergieträger nur moderat ansteigen. Tabelle 2 enthält eine Auswahl der wichtigsten Nachfragewerte, die für die einzelnen Endverbrauchssektoren unterschiedlich definiert sind. So sind z.B. die Verkehrsleistungen in Form von Personen- und Tonnenkilometern (Pkm bzw. tkm) die Nachfragen des Verkehrssektors oder die beheizten Quadratmeter die Nachfragen im Raumwärmebereich des Haushaltssektors. Die Nachfrage des Industriesektors wird als Nettoproduktion branchenweise vorgegeben und ist in Tabelle 2 als Summenwert für alle Branchen angegeben. Die Nachfragewerte wurden im Rahmen des IKARUS-Projektes u.a. mit Hilfe eines makroökonomischen Input-/Output-Modells abgeleitet.

Begrenzungen Das Optimierungsmodell wählt unter dem Zielkriterium der Kostenminimierung ausschließlich die kostengünstigsten Technologien und Maßnahmen aus. Allerdings spielen in der Realität auch noch andere Aspekte (z.B. energiepolitischer Rahmen, Hemmnisse, Ressourcen etc.)

¹²Vgl. detaillierte Angaben in Stein, G./Strobel, B. (Hrsg.) (1997), Politiksznarien für den Klimaschutz. Band 1: Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO_2 -Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Bd. 5, Kap IV.

¹³Vgl. dazu auch Markewitz, P./Martinsen, D. (1997), Konsequenzen für die deutsche Energiewirtschaft bei Einhaltung des CO_2 -Minderungsbeschlusses bis zum Jahr 2005. In: VDI-Berichte 1321, Fortschrittliche Energieumwandlung und -anwendung, Bd II, S. 579-593.

	1989 ABL	2005 ABL Anstieg in %	1989 NBL	2005 NBL Anstieg in %
Raumwärme (10^6 m^2)	2198	18	419	15
Verkehr				
(Mrd. Pkm)	690	22	141	50
(Mrd. tkm)	281	48	75	84
Industrie (Mrd. DM)	592	35	(100)	35
Kleinverbrauch				
Beschäftigte (Mio)	22	9	4.6	31

Tabelle 2: Entwicklung der wichtigsten Nachfragegrößen in den alten und neuen Bundesländern (ABL bzw. NBL) bis zum Jahr 2005

eine Rolle, die es zu beachten gilt. Diese Art von Information wird dem Modell in Form von Restriktionen oder Begrenzungen mitgeteilt. Als Beispiel sei die im Vergleich zum Weltmarktpreis teure deutsche Steinkohle angeführt, die von einem Modell, das nach einem kostenoptimalen Kriterium entscheidet, in der Regel nicht gewählt würde. Dem durch die Steinkohlesubvention ermöglichten Einsatz für Verstromung wird Rechnung getragen, indem dem Modell eine Mindestförderung deutscher Steinkohle vorgegeben wird. Weitere wichtige Begrenzungen sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Szenarien

Referenzszenario, Reduktionsszenario Die Referenzszenarien für die alten und neuen Bundesländer werden ohne CO_2 -Minderungsvorgabe gerechnet und sind im Sinne einer Business-as-Usual Entwicklung zu interpretieren, die jedoch einige der bereits von der Bundesregierung umgesetzten Minderungsmaßnahmen (z.B. Wärmeschutzverordnung) enthält.

Demgegenüber wird in den Reduktionsszenarien dem Modell eine CO_2 -Reduzierung vorgegeben, so daß das Minderungsziel in jedem Fall eingehalten wird. Bereits im Referenzszenario sinken die Emissionen in den alten sowie neuen Bundesländern um ca. 6,3% bzw. 43% bezogen auf 1990. In der Summe entspricht das einer Minderung von 16,8% für die Bundesrepublik Deutschland; das Minderungsziel der Bundesregierung wird also im Referenzszenario nicht eingehalten.

Da die alten und neuen Bundesländer vom Modell getrennt behandelt werden, müssen zur Einhaltung des gesamtdeutschen Minderungsziels von

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

Tabelle 3: Auswahl wichtiger energiepolitischer Begrenzungen für das Jahr 2005

	1990	Referenz- szenario	Reduktions- szenario	Reduktions- szenario: Minderung gegen 1990 %
Alte Bundesländer	709	664	582	17,8
Neue Bundesländer	284	162	162	43,0
Deutschland	992	826	744	25,0

Tab. 4: CO₂-Emissionen im Jahr 2005 für Referenz- und Reduktionsszenario, Mio t

25% jeweils Reduktionsziele für Ost- und Westdeutschland vorgegeben werden. Ausgehend von der Annahme, daß in den neuen Bundesländern keine Belastungen durch eine über den Referenzfall hinausgehende CO₂-Reduktion stattfinden soll, müssen die CO₂-Emissionen in den alten Bundesländern um ca. 18% gegenüber 1990 reduziert werden. Gegenüber dem Referenzszenario entspricht dies einer Reduktion von 12,2%.

Die Mehrkosten des Reduktionsszenarios gegenüber der Referenzentwicklung müssen demnach den alten Bundesländern zugeordnet werden.

B.4.4 Variationsrechnung

Für die alten Bundesländer ist eine Variationsrechnung mit zunehmender CO₂-Restriktion durchgeführt worden. Die CO₂-Restriktion ist dabei in 5%-

Mehrkosten gegenüber Referenz (Jahreskosten 2005)	5,47 Mrd DM
Durchschnittliche Reduktionskosten	67 DM/t CO ₂
Grenzkosten	198 DM/t CO ₂

Tab. 5: Kosten der Reduktionsmaßnahmen

	CO ₂ -Reduktion im Vergleich zu 1990	Grenzkosten der Minderung der CO ₂ -Emission
Klasse I	10%	39 DM/t
Klasse II	15%	101 DM/t
Szenario	18%	198 DM/t
Klasse III	20%	309 DM/t
Klasse IV	25%	613 DM/t

Tab. 6: Größenklassen der Grenzkosten zur Minderung von CO₂-Emissionen in den alten Bundesländern bis zum Jahr 2005

Schritten erhöht worden. Die folgende Tabelle 6 zeigt einen drastischen Anstieg bei zunehmender CO₂-Restriktion. Zusätzlich ist das oben vorgestellte Szenarioergebnis aufgeführt.

Um ohne hohen zusätzlichen Aufwand auf der Basis der vorliegenden Rechenläufe zu ermitteln, wie hoch die CO₂-Reduktion mit dem für das Simulationsexperiment vorgeschlagenen CO₂-Steuersatz ist, wird ein Näherungsverfahren gewählt. Der vorgeschlagene CO₂-Steuersatz in Höhe von 130,- DM liegt zwischen den Grenzkosten der Klasse II und des oben beschriebenen Szenarios. Unter der Annahme eines linearen Verlaufs einer Grenzkostenfunktion zwischen den durch Klasse II und dem Szenario in Kap. III.2 beschriebenen Punkten ergibt sich für Grenzkosten von 130,- DM eine Reduktion der CO₂-Emissionen um ca. 16% bezogen auf 1990 (Abb. 1).

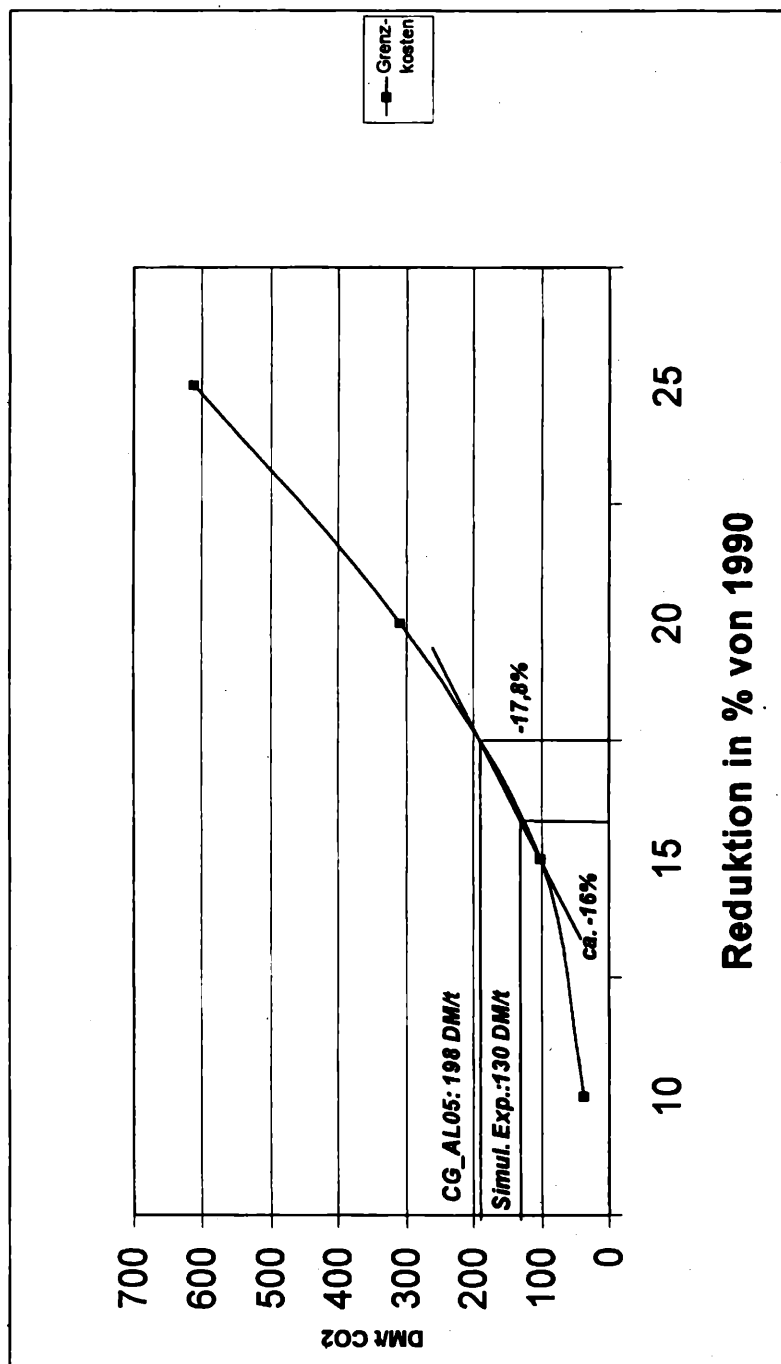


Abb. 1: CO₂-Reduktion bei 130,- DM Grenzkosten auf der Basis eines Näherungsverfahrens

Literatur

- Bach, S., M. Kolhaas, V. Meinhardt, B. Praetorius, H. Wessels und R. Zwiener.** *Wirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform.* Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Sonderheft 153, 1995.
- Blazejczak, J.** *Simulation gesamtwirtschaftlicher Perspektiven mit einem ökonometrischen Modell für die Bundesrepublik Deutschland.* Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Beiträge zur Strukturfor-schung, Heft 100, 1987.
- Blazejczak, J. und D. Edler (Hrsg.).** A Stylized Model for Calculating Avoidance Costs. In: A. Franz, C. Stahmer (Hrsg.), *Approaches to Environmetal Accounting.* Heidelberg: Physika, 1992.
- Bunke, D., U. Eberle, R. Grießhammer.** *Umweltziele statt Last Minute-Umweltschutz: Nationale und internationale stoffbezogene Zielvorgaben.* Freiburg: Öko-Institut, 1995.
- Buttermann, H.-G.** Zur Interdependenz von Energieverbrauch und Kapitaleinsatz – dargestellt am Beispiel der Zementindustrie. *RWI-Mitteilungen*, Nr. 45(2), 1994. S. 147-75.
- Buttermann, H.-G., B. Hillebrand, E. Hödl M. und Oberstraß.** Ein integriertes makroökonomisches Input-Output-Modell für die Bundesrepublik Deutschland: Modellkonzeption und Simulationsexperimente. Institut für Europäische Wirtschaftsforschung, *Arbeitspapiere des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Bergischen Universität-Gesamthochschule Wuppertal* Nr. 160, 1992.
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung.** Ökologische Steuerreform auch im nationalen Alleingang! *Wochenbericht des DIW*, Nr. 24/94, 1994.
- „Selbstverpflichtung“ der Wirtschaft zur CO_2 -Reduktion: Kein Ersatz für aktive Klimapolitik. *Wochenbericht des DIW*, Nr. 14/95, 1995.
- Investitionserfordernisse von CO_2 -Minderungsstrategien. *Wochenbericht des DIW*, Nr. 14/95, 1995.
- Edler, D. und T. Ribakova.** The Leontief-Duchin-Szyld Dynamic Input-Output Model with Reduction of Idle Capacity and Modified Decision Function. *Structural Change and Economic Dynamics*, Nr. 4(2), 1993.

- FIU** *Der Einfluß von Energiesteuern und -abgaben zur Reduktion von Treibhausgasen auf Innovation und technischen Fortschritt: Clearing-Studie.* Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Finanzwissenschaftliches Forschungsinstitut an der Universität Köln, Forschungszentrum für Umweltpolitik der TU Berlin, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Zentrum für europäische Wirtschaftsforschung, 1997.
- Franz, W., K. Göggelmann, P. Winkler.** Ein makroökometrisches Ungleichgewichtsmodell für die westdeutsche Volkswirtschaft 1960 bis 1994: Konzeption, Ergebnisse und Erfahrungen. Erscheint demnächst.
- Hake, J.-F., M. Kleemann, W. Kuckshinrichs, D. Martinsen und M. Walbeck (Hrsg.).** *Advances in System Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level.* Konferenzen des Forschungszentrums Jülich, Band 15/1994. Jülich: Forschungszentrum, 1994.
- Hake, J.-F. und P. Markewitz (Hrsg.).** *Modellinstrumente für CO₂-Minderungsstrategien.* Jülich: Forschungszentrum, 1997.
- Hillebrand, B.** Ein Kraftwerksmodell für die Bundesrepublik Deutschland. *RWI-Mitteilungen*, Nr. 42(1), 1991.
- *Stromerzeugungskosten neu zu errichtender konventioneller Kraftwerke.* RWI-Papiere, Nr. 47, 1997.
- Hillebrand, B., M. Kiy und R. Neuhaus.** *Das RWI-Strukturmodell - Konzeption, Hypothesen und Wirkungsanalysen.* RWI-Papiere, Nr. 19, 1989.
- Hillebrand, B. und J. Wackerbauer.** Ökologische und ökonomische Wirkungen von CO₂-Minderungsstrategien. *RWI-Mitteilungen*, Nr. 47(1/2), 1996. S. 107-31.
- Hillebrand, B., J. Wackerbauer, K. Behring, H.-D. Karl, U. Lehr, A. Oberheitmann, R. Ratzenberger, T. Siebe, K.-H. Storchmann u.a.** *Gesamtwirtschaftliche Beurteilung von CO₂-Minderungsstrategien.* Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 19, 1997.
- Hoffmann, H.-J., W. Katsche und G. Stein.** *Energiestrategien für den Klimaschutz in Deutschland — Das IKARUS-Projekt des BMBF: Zusammenfassender Endbericht.* Jülich: Forschungszentrum, 1997.

- Klemmer, P., D. Hecht, B. Hillebrandt, H. Karl, K. Löbbe u.a.**
Grundlagen eines mittelfristigen umweltpolitischen Aktionsplans.
 Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Nr. 10, 1994.
- Kuckshinrichs, W., W. Pfaffenberger und W. Ströbele (Hrsg.).**
Workshop on the Economics of the Greenhouse Effect: Modelling Strategies and Impacts. Konferenzen des Forschungszentrums Jülich, Band 13/1993. Jülich, Forschungszentrum, 1993.
- Lutz, C.** *Umweltpolitik und Emissionen von Luftschadstoffen: Eine empirische Analyse für Westdeutschland.* Dissertation, Universität Osnabrück, 1997.
- Meyer, B., A. Bockermann, G. Ewerhart und C. Lutz.**
Möglichkeiten und Grenzen einer modellmäßigen Ermittlung des Ökoinlandsprodukts. Forschungsprojekt des Statistischen Bundesamtes, Endbericht, 1997.
- *Was kostet eine Reduktion der CO₂-Emissionen? Ergebnisse von Simulationsrechnungen mit dem umweltökonomischen Modell PANTA RHEI.* Universität Osnabrück, Beiträge des Instituts für Empirische Wirtschaftsforschung, Nr. 55, 1997.
- Meyer, B., G. Ewerhart.** *INFORGE: Ein disaggregiertes Simulations- und Prognosemodell für die Bundesrepublik Deutschland.* Universität Osnabrück, Beiträge des Instituts für Empirische Wirtschaftsforschung, Nr. 44, 1995.
- *Lohnsatz, Produktivität und Beschäftigung: Ergebnisse einer Simulationsstudie mit dem disaggregierten ökonometrischen Modell INFORGE.* Universität Osnabrück, Beiträge des Instituts für Empirische Wirtschaftsforschung, Nr. 57, 1997. Universität Osnabrück, Beiträge des Instituts für Empirische Wirtschaftsforschung, Nr. 44, 1995. Universität Osnabrück, Beiträge des Instituts für Empirische Wirtschaftsforschung, Nr. 44, 1995.
- Molt, S. und U. Fahl (Hrsg.).** *Energiemodelle in der Bundesrepublik Deutschland - Stand der Entwicklung.* Jülich: Forschungszentrum, 1997.
- Raineri, G. M.** *Erweiterung des DIW-Langfristmodells um einen monetären Teil und ex-post-Simulation von 1975 bis 1987 im Vergleich mit dem bisherigen DIW-Langfristmodell.* Studienarbeit, Technische Hochschule Darmstadt, Institut für Volkswirtschaftslehre, ohne Jahrgang.

- Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung.** *Ein Energiemodell für die Bundesrepublik Deutschland, Band 1: Gesamtdarstellung.* Gutachten im Auftrag des Bundesministers für Wirtschaft, 1987.
- *CO₂-Monitoring der deutschen Industrie – ökologische und ökonomische Verifikation, Band 1: Ergebnisse und Bewertung.* Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 23/1, 1997.
- *CO₂-Monitoring der deutschen Industrie – ökologische und ökonomische Verifikation, Band 2: Fortschrittsberichte der Verbände.* Untersuchungen des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 23/2, 1997.
- Schön, M., J. Blazejczak, R. Walz und D. Edler.** *Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen von Emissionsminderungsstrategien: Bericht für die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages, Teilstudie C2, Studienkomplex C: Integriertes Gesamtkonzept zur Minderung energiebedingter Treibhausgasemissionen.* Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung und Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, 1994.
- Statistisches Bundesamt.** *Umweltökonomische Gesamtrechnungen – Basisdaten und ausgewählte Ergebnisse, Fachserie 19, Reihe 4.* Stuttgart: Metzler-Poeschel, 1996.

Fachserie 19: Umwelt

Umweltstatistiken

Reihe 1: Abfallbeseitigung

Reihe 1.1: Öffentliche Abfallbeseitigung

Die in *dreijährlicher* Folge erscheinende Veröffentlichung enthält Angaben über die Entsorgung der Gemeinden und deren Bevölkerung, die eingesammelte Menge an Hausmüll, hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen und Sperrmüll sowie über Art und technische Einrichtungen der Entsorgungsanlagen und die Fläche und Bevölkerung der Entsorgungsgebiete. Weiterhin werden die angelieferten Abfallmengen an Anlagen der öffentlichen Abfallentsorgung nach Abfallarten und Art der Anlieferung nachgewiesen.

Reihe 1.2: Abfallbeseitigung im Produzierenden Gewerbe und in Krankenhäusern

In *dreijährlichem* Turnus werden in diesem Bericht Angaben über die Abfallmengen und -entsorgung der Betriebe gegliedert nach Wirtschaftsbereichen und ausgewählten Wirtschaftszweigen sowie nach Abfallarten und -hauptgruppen veröffentlicht. Ferner werden die betriebliche Abfallbehandlung und -entsorgung in Deponien und Verbrennungsanlagen, die betriebliche Vorbehandlung von Abfällen sowie außerdem die Anlieferung von Abfällen an von Dritten betriebene Anlagen dargestellt.

Reihe 2: Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung

Reihe 2.1: Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung

Hinsichtlich der öffentlichen Wasserversorgung bringt diese Veröffentlichung (Periodizität: *vierjährlich*) Nachweisungen über die versorgten Gemeinden, über die Wassergewinnung (gegliedert nach Wasserarten und Wassereinzugsgebieten) und die Wasserabgabe. In bezug auf die öffentliche Abwasserbeseitigung wird über die Gemeinden mit öffentlicher Sammelkanalisation, das Abwasseraufkommen und seine Behandlung sowie über das Aufkommen, die Behandlung und Beseitigung von Klärschlamm berichtet.

Reihe 2.2: Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung im Bergbau und im Produzierenden Gewerbe sowie bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung

Der *vierjährlich* erscheinende Bericht gibt einen Überblick über das Wasseraufkommen und die Wassernutzung (Einfach-, Mehrfach- und Kreislaufnutzung) der einbezogenen Betriebe. Ferner sind Angaben über die Ableitung des Abwassers und ungenutzten Wassers, die Behandlung des Abwassers in betriebseigenen Behandlungsanlagen sowie über die Behandlung und Beseitigung von Klärschlamm enthalten.

Reihe 3: Investitionen für Umweltschutz im Produzierenden Gewerbe

In diesem *Jahresbericht* sind die Investitionen der Unternehmen und Betriebe für den Umweltschutz in der Gliederung nach Wirtschaftsbereichen, ausgewählten Wirtschaftszweigen, Beschäftigten- und Umsatzgrößenklassen sowie nach Investitionsarten dargestellt. Die Investitionen für Umweltschutz werden ferner in Beziehung zu den Gesamtinvestitionen gesetzt und in Form von entsprechenden Quoten (Investitionen je Beschäftigten sowie je 1 000 DM Umsatz) veröffentlicht.

Umweltökonomische Gesamtrechnungen

Reihe 4: Basisdaten und ausgewählte Ergebnisse

Diese, in *zweijährlichem* Turnus erscheinende Veröffentlichung, liefert umfangreiche fundierte Daten über den Zustand der Umwelt und die zu ihrem Schutz notwendigen Informationen.

Reihe 5: Material- und Energieflußrechnungen

Diese Veröffentlichung bringt in *zweijährlicher* Folge ausgewählte Daten zur Material- und Energieflußrechnung, und zwar in gebiets-, wirtschafts- und aktivitätsbezogener Gliederung. Die dargestellten Ergebnisse beschreiben die Material- und Energieflüsse für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland (Zu- und Abflüsse), für die Gesamtwirtschaft (Entnahmen und Abgaben) sowie für die Produktionsbereiche (Aufkommen und Verwendung).

Reihe 6: Ausgaben und Anlagevermögen für Umweltschutz

Diese *jährlich* erscheinende Veröffentlichung stellt die Ausgaben und das Anlagevermögen beim Produzierenden Gewerbe und beim Staat im Rahmen der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen dar. Die Ergebnisse beruhen auf sekundärstatistischen Auswertungen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen und ergänzen damit die Daten der umweltstatistischen Erhebungen. Dargestellt werden Ausgaben, Aufwendungen, Investitionen, Abschreibungen, laufende Ausgaben sowie Bruttoanlagevermögen für Umweltschutz – für das Produzierende Gewerbe und seine Bereiche sowie für den Staat. Die Resultate werden in jeweiligen und in konstanten Preisen präsentiert.

Schriftenreihe „Beiträge zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen“

Ziel der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) ist die Erstellung eines Berichterstattungssystems, das die Wechselbeziehungen zwischen den wirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen und der natürlichen Umwelt statistisch abbildet. Konzeptionelle Neu- bzw. Weiterentwicklungen und die Ergebnisse entsprechender Pilotprojekte zu den UGR werden in dieser Schriftenreihe in unregelmäßigen Abständen veröffentlicht.

Bisher sind folgende Bände erschienen:

Band 1

Carsten Stahmer, Michael Kuhn und Norbert Braun

Physische Input-Output-Tabellen 1990

166 Seiten · DM 23,90 · Bestellnummer: 2300201-97900

Band 2

Felix Müller

Ableitung von integrativen Indikatoren zur Bewertung von Ökosystem-Zuständen für die Umweltökonomischen Gesamtrechnungen

135 Seiten · DM 22,00 · Bestellnummer: 2300202-98900

Band 3

Michael Reidenbach

Umweltschutzausgaben und Umweltschutzvermögen des öffentlichen Bereichs in den neuen Bundesländern

124 Seiten · DM 22,00 · Bestellnummer: 2300203-98900

Band 4

Heribert F. Kerner

Auswahl von Indikatoren der Funktionalität von Ökosystemen und Ökosystemkomplexen für die Beschreibung des Umweltzustandes im Rahmen der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR)

85 Seiten · DM 16,50 · Bestellnummer: 2300204-98900

Band 5

Walter Radermacher, Roland Zieschank et al.

Entwicklung eines Indikatorensystems für den Zustand der Umwelt in der Bundesrepublik Deutschland mit Praxistest für ausgewählte Indikatoren und Bezugsräume

457 Seiten · DM 36,70 · Bestellnummer: 2300205-98900

Band 6

Reiner Stäglin

Möglichkeiten der Erfassung länderübergreifender Materialströme mit Hilfe von internationalen Input – Output – Verflechtungen

182 Seiten · DM 28,50 · Bestellnummer: 2300206-98900



Statistisches Bundesamt

Gustav-Stresemann-Ring 11

65189 Wiesbaden

Veröffentlichungen und Prospekte sind durch den Verlag Metzler-Poeschel, Verlagsauslieferung: SFG – Servicecenter Fachverlage GmbH, Postfach 43 43, 72774 Reutlingen, erhältlich.