

**JET-SET**



## **Die Einführung von Emissionshandelssystemen als sozial-ökologischer Transformationsprozess**

### **Joint Emissions Trading as a Socio-Ecological Transformation**

Makroökonomische Wirkungen des Emissionshandels

Niels Anger, Marcel Braun, Renate Duckat,  
Tilman Santarius, Sonja Schmid und Ralf Schüle



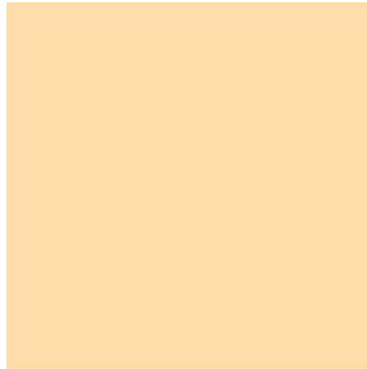
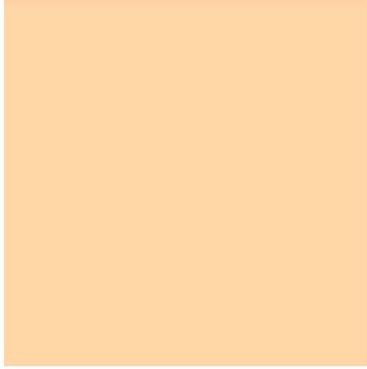
**Hintergrundpapier I/05**



JET-SET 

ist ein Verbundvorhaben im Rahmen der  
BMBF-Förderinitiative „Sozial-ökologische Forschung“





## JET-SET



# Die Einführung von Emissionshandelssystemen als sozial-ökologischer Transformationsprozess

## Joint Emissions Trading as a Socio-Ecological Transformation

Wissenschaftszentrum  
Nordrhein-Westfalen  
Institut Arbeit  
und Technik



Kulturwissenschaftliches  
Institut  
Wuppertal Institut für  
Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

Dr. Ralf Schüle (*Koordination*)  
Dipl. Vw. Christiane Beuermann  
Dipl. Umw. Wiss. Bernd Brouns  
Dipl. Soz. Tilman Santarius  
Wolfgang Sterk, M.A.  
Dipl. Geogr. Renate Duckat  
Marcel Braun, M.A.  
Dr. Hermann E. Ott  
Prof. Dr. Joseph Alcamo  
Dr. Janina Onigkeit  
Dipl. Vw. Niels Anger  
Prof. Dr. Christoph Böhringer  
Dr. Ulf Moslener  
Dipl. Wi.-Ing. Marcus Stronzik  
Dipl. Wi.-Ing. Marion Hitzeroth  
Dr. Irmgard Schultz  
Dr. Immanuel Stiess  
Dipl. Ing. Markus Duscha  
Dipl.-Ing. Hans Hertle

[ralf.schuele@wupperinst.org](mailto:ralf.schuele@wupperinst.org)  
[christiane.beuermann@wupperinst.org](mailto:christiane.beuermann@wupperinst.org)  
[bernd.brouns@wupperinst.org](mailto:bernd.brouns@wupperinst.org)  
[tilman.santarius@wupperinst.org](mailto:tilman.santarius@wupperinst.org)  
[wolfgang.sterk@wupperinst.org](mailto:wolfgang.sterk@wupperinst.org)  
[renate.duckat@wupperinst.org](mailto:renate.duckat@wupperinst.org)  
[marcel.braun@wupperinst.org](mailto:marcel.braun@wupperinst.org)  
[hermann.ott@wupperinst.org](mailto:hermann.ott@wupperinst.org)  
[alcamo@usf.uni-kassel.de](mailto:alcamo@usf.uni-kassel.de)  
[onigkeit@usf.uni-kassel.de](mailto:onigkeit@usf.uni-kassel.de)  
[anger@zew.de](mailto:anger@zew.de)  
[boehringer@zew.de](mailto:boehringer@zew.de)  
[moslener@zew.de](mailto:moslener@zew.de)  
[stronzik@zew.de](mailto:stronzik@zew.de)  
[hitzeroth@zew.de](mailto:hitzeroth@zew.de)  
[schultz@isoe.de](mailto:schultz@isoe.de)  
[stiess@isoe.de](mailto:stiess@isoe.de)  
[duscha@ifeu.de](mailto:duscha@ifeu.de)  
[hertle@ifeu.de](mailto:hertle@ifeu.de)



Wuppertal, Januar 2005

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b><i>EINLEITENDER ÜBERBLICK</i></b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b><i>GRUNDLAGEN DER ÖKONOMISCHEN MODELLIERUNG</i></b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Zur ökonomischen Modellierung</b>	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>Kategorisierung von Modelltypen</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b><i>INNOVATIONSWIRKUNGEN DES EMISSIONSHANDELS</i></b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Grundsätzlicher Wirkungszusammenhang</b>	<b>14</b>
3.2.1	Innovationswirkung von Emissionshandelssystemen	14
3.2.2	Innovationswirkung bei unterschiedlicher Ausgestaltung	18
<b>3.3</b>	<b>Innovationswirkung anderer umweltpolitischer Instrumente</b>	<b>19</b>
<b>3.4</b>	<b>Quantitative Untersuchungen</b>	<b>21</b>
3.4.1	Technischer Fortschritt in umweltökonomischen Modellen	21
3.4.2	Numerische Simulationen	23
3.4.3	Erfahrungen mit existierenden Emissionshandelssystemen	29
<b>3.5</b>	<b>Fazit</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b><i>VERTEILUNGSWIRKUNGEN DES EMISSIONSHANDELS</i></b>	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>31</b>
<b>4.2</b>	<b>Grundsätzlicher Wirkungszusammenhang</b>	<b>31</b>
4.2.1	Zum Begriff der Verteilungswirkung	31
4.2.2	Equity – Gerechtigkeit im Klimaschutz	32
4.2.3	Wie werden Emissionsrechte gerecht verteilt?	33
<b>4.3</b>	<b>Quantitative Untersuchungen</b>	<b>35</b>
4.3.1	Numerische Simulationen	35
4.3.2	Geografische Betrachtung des EU-Emissionshandels	37
4.3.3	Sektorale Betrachtung des Emissionshandels	42
4.3.4	Preisentwicklung	44
<b>4.4</b>	<b>Fazit</b>	<b>46</b>
<b>4.5</b>	<b>Anhang: Modellierungen zum EU-Emissionshandelssystem</b>	<b>49</b>

<b>5</b>	<b>BESCHÄFTIGUNGSWIRKUNGEN DES EMISSIONSHANDELS</b>	<b>53</b>
<b>5.1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>53</b>
<b>5.2</b>	<b>Grundsätzlicher Wirkungszusammenhang</b>	<b>54</b>
5.2.1	Direkte Beschäftigungseffekte	55
5.2.2	Indirekte Beschäftigungseffekte	55
<b>5.3</b>	<b>Quantitative Untersuchungen</b>	<b>56</b>
5.3.1	Eine allgemeine Untersuchungen	56
5.3.2	Untersuchungen zum internationalen Emissionshandel	57
5.3.3	Drei Untersuchungen zum europäischen Emissionshandel	58
5.3.4	Zwei Untersuchungen zu projektbasierten Mechanismen	61
<b>5.4</b>	<b>Fazit</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>64</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>66</b>

## Das Forschungsprojekt JET-SET

### Ausgangsproblem

Die Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls im Jahre 1997 markiert für die Entwicklung und Umsetzung der Klimapolitik in der Europäischen Union und in der Bundesrepublik Deutschland einen wichtigen Meilenstein: Seit diesem Zeitpunkt kommt der Konkretisierung und Einführung sog. flexibler Mechanismen – und hier insbesondere dem Handel mit Zertifikaten für Treibhausgasemissionen (kurz: Emissionshandel) zwischen den Industriestaaten – eine herausragende Rolle zu. Mit der Entwicklung von Emissionshandelssystemen (EHS) wird der in Europa bislang vorwiegend ordnungsrechtlich ausgerichteten Umweltpolitik ein marktwirtschaftliches Instrumentarium hinzugefügt, das in seiner Ausgestaltung auf nationaler Ebene neue gesellschaftliche Chancen und Risiken birgt. Über das Ausmaß der ökologischen, wirtschaftlichen, institutionellen und sozialen Folgewirkungen besteht jedoch weiterhin ein großer Informations- und Forschungsbedarf – und dies, obwohl hierzu bereits eine Reihe wirtschafts- bzw. politikwissenschaftlicher Studien vorliegen. Darüber hinaus besteht sowohl für die sog. 1. Kyoto-Verpflichtungsperiode zwischen 2008 und 2012 als auch für die Phase ab dem Jahre 2012 ein großes Informationsdefizit über die sektorale und geographische Weiterentwicklung des europäischen Emissionshandelssystems.

Das vom BMBF geförderten Projekt „Emissionshandel als ein sozial-ökologischer Transformationsprozess“ (**JET-SET – Joint Emissions Trading as a Socio-Ecological Transformation**) befasst sich mit einer Analyse der Folgewirkungen der Implementierung des Emissionshandels in der EU und in Deutschland.

### Zielsetzungen des Gesamtvorhabens

Dem Verbundvorhaben liegt die übergeordnete **Hypothese** zugrunde, dass die Einführung eines europäischen Emissionshandelssystems weit reichende sozial-ökologische Transformations- und Lernprozesse auslöst, die u.a.

- das institutionelle Setting klimapolitischer Maßnahmen auf europäischer und nationalstaatlicher Ebene verändern,
- die Entscheidungsrationitäten und das Marktverhalten von Unternehmen maßgeblich beeinflussen,
- sich auf den öffentlichen Diskurs über – und die öffentliche Wahrnehmung von – (inter-)nationaler Klimapolitik auswirken und die sich schließlich
- auf die Gestaltung der gesellschaftlichen Naturverhältnisse auswirken.

In dieser Hinsicht lässt sich die Einführung eines europäischen Emissionshandelssystems als ein Transformationsprozess begreifen, der gleichermaßen soziale und ökologische Dimensionen in ihren Wechselwirkungen umfasst.

Die **Zielsetzungen** des Verbundvorhabens liegen

- in der wissenschaftlichen Begleitung der Einführung eines EHS in der EU und der Bundesrepublik Deutschland,
- in einer integrierten Abschätzung und Bewertung ausgewählter (zu erwartender) ökonomischer, ökologischer und sozialer Folgewirkungen eines EHS,
- in der Formulierung von Empfehlungen für die Ausgestaltung eines künftigen EHS und schließlich in einer
- konzeptionellen und theoretischen Einbettung der Forschungsergebnisse in die interdisziplinäre Nachhaltigkeitsforschung.

## Aufbau des Gesamtvorhabens

In der **Struktur des Gesamtvorhabens** spiegeln sich ein *analytisches* und ein *praktisch-politisches Element* sozial-ökologischer Transformationen durch die Einführung eines europäischen Emissionshandelssystems wider:

Eine **erste Projektphase** befasst sich in analytischer Perspektive mit den sich gegenwärtig abzeichnenden, durch ein europäisches EHS ausgelösten Transformationsprozessen. Entsprechend der Zielsetzungen befassen sich die Basisprojekte (BP) 1-4

- mit Transformationen der institutionellen Rahmenbedingungen im Bereich der europäischen Klimapolitik (BP 1),
- mit der Veränderung von Unternehmensstrategien (BP 2),
- mit der Veränderung von Diskursen und öffentlicher Wahrnehmung von Klimapolitik (BP 3)
- und mit Landnutzungsänderungen am Beispiel von Energiepflanzen (BP 4).

Weitere Bausteine liegen in der Entwicklung einer integrierten Forschungsperspektive für das Gesamtprojekt bzw. in der Sondierung von Gender-Aspekten internationaler Klimapolitik.

Die **zweite Projektphase** befasst sich mit den Potenzialen und Risiken einer Vernetzung des EU-Emissionshandelssystems mit anderen entstehenden Emissionshandelssystemen in Nicht-EU-Staaten und unternimmt eine integrierte Abschätzung und Bewertung dieser möglichen strategischen Verknüpfung von Systemen. Dabei werden folgende Fragestellungen bearbeitet.

- (1) Welche Länder planen momentan den Aufbau eines nationalen CO<sub>2</sub>-Emissionshandelssystems? In welchen zeitlichen Dimensionen werden diese nationale Handelssysteme aufgebaut?
- (2) Welche ökonomischen Wirkungen (Kosten, Zertifikatepreis) lösen verschiedene Alternativen („storylines“) der Verknüpfung des EU-Systems mit anderen nationalen Systemen aus?
- (3) Können anspruchsvolle Emissionsreduktionsziele mit Hilfe der Verknüpfung von Emissionshandelssystemen für die Phase nach 2012 erreicht werden?
- (4) Welche institutionellen und prozeduralen Anforderungen müssen erfüllt sein, um potentielle Verknüpfungen verschiedener Emissionshandelssysteme zu ermöglichen?

Die Fragestellungen werden in vier Querschnittsprojekten behandelt:

- Querschnittsprojekt 1: Modelle und Politiksznarien von Vernetzungen
- Querschnittsprojekt 2: Beiträge zu ökologischen Stabilisierungszielen
- Querschnittsprojekt 3: Ökonomische und ökologische Wirkungen
- Querschnittsprojekt 4: Institutionelle und prozedurale Rahmenbedingungen

## Rolle dieses Hintergrundpapiers im Gesamtvorhaben

Ein Projektcluster innerhalb des JET-SET Verbundprojektes setzt sich mit den Wirkungen und Eigenschaften auseinander, die der EU-Emissionshandel auf verschiedenen Einzelmärkten auslöst, so etwa mit Emissionsmarkt- oder Arbeitsmarkteffekten. Insbesondere das *Basisprojekt 2: Marktmacht* und das hier behandelte *Ergänzungsprojekt 6: Makroökonomische Wirkungen* setzen sich mit diesen Fragestellungen auseinander. Letzteres leistet in der vorliegenden Studie insbesondere eine Literaturanalyse der zu erwartenden Verteilungs-, Beschäftigungs- und Innovationswirkungen von Emissionshandelssystemen im Allgemeinen und des EU-Systems im Besonderen.

# 1 Einleitender Überblick

Mit dem Inkrafttreten der Emissionshandelsrichtlinie zum 1. Januar 2005 hat der Handel mit Emissionszertifikaten zwischen Unternehmen in der Europäischen Union begonnen. Dieses Handelssystem stellt damit ein weiteres bedeutsames marktwirtschaftliches Instrumentarium in der Europäischen Umwelt- und Klimapolitik dar, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen großer industrieller Quellen zu begrenzen. Es soll den beteiligten Unternehmen aus den derzeit 25 EU-Mitgliedstaaten Anreize bieten, die notwendigen Klimaschutzziele im Rahmen des Kyoto-Protokolls kosteneffizient zu erreichen.

Das Instrument des Emissionshandels ist ein Meilenstein, sowohl für den internationalen Klimaschutz als auch für die Marktbedingungen der Unternehmen aus dem Energie- und Industriesektor – u. a. mit Auswirkungen auf das Innovationsverhalten, die ökonomische Wettbewerbsfähigkeit (Verteilungswirkungen) und die Beschäftigungsstruktur der Unternehmen. Entsprechend ergeben sich eine Vielzahl relevanter Fragestellungen: Wer wird Gewinner, wer wird Verlierer in diesem System sein? Wer wird von diesem System profitieren und welche Unternehmen werden dazu veranlasst sein, Emissionen zu reduzieren oder aber zusätzliche Emissionszertifikate zu erwerben? Begünstigt der Emissionshandel die Innovationsanreize seiner Marktteilnehmer? Und schließlich, welche Arbeitsmarkteffekte wird der Emissionshandel induzieren?

Im Rahmen des Verbundprojektes JET-SET sollen im vorliegenden Ergänzungsprojekt die makroökonomischen Wirkungen des Europäischen Emissionshandelsystems (EU-EHS) untersucht werden. Die Ergebnisse des Ergänzungsprojektes finden sich in der vorliegenden Aufsatzsammlung wieder. Ziel der folgenden Kapitel ist es, eine Übersicht über die aktuelle Diskussion und den Stand der Forschung bezüglich verschiedener Aspekte makroökonomischer Wirkungen des EU-EHS darzustellen. Das vorliegende Forschungsprojekt beleuchtet anhand von drei separaten Studien den Einfluss des Europäischen Emissionshandels auf

- das Innovationsverhalten
- die Verteilung der ökonomischen Kosten sowie
- die Beschäftigungsstruktur

der Marktteilnehmer dieses umweltpolitischen Regimes.

Das Ergänzungsprojekt ist wie folgt strukturiert. Als methodischer Rahmen der drei Untersuchungen wird eine Einführung in die methodischen Grundlagen der ökonomischen Modellierung vorgestellt. Hierzu zählen Gegenüberstellungen und Einordnungen der besprochenen methodischen Ansätze. Die drei Studien weisen jeweils folgende Struktur auf: Nach der Vorstellung der relevanten Fragestellungen und der Erläuterung grundsätzlicher Wirkungszusammenhänge folgt die Präsentation quantitativer Abschätzungen. Hierbei werden Einblick in die mittels ökonomischer Modellierung bzw. ökonometrischer Schätzung kalkulierten Ergeb-

nisse für die drei Untersuchungsaspekte Innovations-, Verteilungs- und Beschäftigungswirkungen vermittelt. Jede separate Studie schließt mit der Einordnung der Ergebnisse in den Kontext der relevanten Fragestellung. Das gesamte Ergänzungsprojekt wird schließlich übergeordnet im Hinblick auf die makroökonomischen Wirkungen des Emissionshandels besprochen.

## 2 Grundlagen der ökonomischen Modellierung

Nicht erst mit der Diskussion um die Einführung des Zertifikatehandels in Europa sind diverse Modellrechnungen erfolgt, um zu beantworten, welche Kosten die Reduzierung von Treibhausgasen verursachen. Bereits seit den 60er Jahren hat der Emissionshandel Aufmerksamkeit erlangt, insbesondere in den USA, wo einige Handelsprogramme mit Emissionszertifikaten umgesetzt wurden. Mit der Diskussion und konkreten Verabschiedung der EU-Emissionshandelsrichtlinie im Oktober 2003 wurde eine Vielzahl ökonomischer Modellierungen durchgeführt, um die Effekte des Emissionshandels auf Europäischer Ebene zu bewerten.

Grundsätzlich können Modellergebnisse die potentielle Spanne der Zertifikatpreise anzeigen, ebenso wie die voraussichtliche Größe eines entstehenden Marktes für handelbare Emissionszertifikate im Sinne des Volumens gehandelter Emissionen. Bisherige Ergebnisse aus diesen Modelluntersuchungen differieren allerdings gravierend. Dies ist zum einen in den unterschiedlichen Erwartungen von Emissionspfaden begründet und zum anderen im Spektrum unterschiedlicher Modell-Ansätze. Die den unterschiedlichen Modellen zu Grunde liegenden Grenzen und implizierten Annahmen müssen daher sorgfältig beachtet und in die Analyse integriert werden. Direkte Vergleiche verschiedener Modellergebnisse sind daher nur unter Kenntnis der Voraussetzungen und Modellannahmen möglich. Vor diesem Hintergrund werden in diesem Abschnitt vorab die verschiedenen relevanten Modelltypen kategorisiert und kurz beschrieben.

### 2.1 Zur ökonomischen Modellierung

Die wesentliche Aufgabe ökonomischer Modellierungen ist eine problemgerechte Reduktion der Komplexität auf zentrale Systemelemente und deren Beziehungen (vgl. Böhringer 1999, S. 372). Kein Modell kann alle Aspekte im Detail behandeln, ein jedes fokussiert einen bestimmten Bereich und schließt einige Faktoren aus.

In diesem Abschnitt werden daher die wichtigsten Charakteristika zusammengestellt, die einem Modellvergleich zugrunde zu legen sind. Folgende Merkmale sind dabei von Beachtung: Welche Zielsetzungen werden mit den Modellen verfolgt? Handelt es sich um ein allgemeines ökonomisches Modell mit einem ökologischen Submodell oder um ein reines Wirtschaftsmodell? Weiterhin gilt es, grundsätzliche Fragen zum Spezifikations-, Schätz- und Simulationszeitraum sowie die Fristigkeit der untersuchten Effekte (kurz-, mittel- oder langfristige Effekte) zu klären.

Hinsichtlich der Modellspezifikation ist darüber hinaus entscheidend, welche ökonomischen Variablen endogen erklärt werden, welche exogen sind. Hier ist insbesondere zu beachten, inwieweit zum einen mit den zur Verfügung stehenden exogenen Variablen wirtschaftspoliti-

schen Mittel hinreichend abgebildet werden können. Kann zum anderen mittels der endogenen Variablen der Grad der Erreichung der ökonomischen, sozialen und ökologischen Ziele erfasst werden? Von Relevanz ist schließlich auch die Beschreibung technischer Zusammenhänge: Kann technischer Fortschritt im Modell berücksichtigt werden? Die Interpretation von Modellergebnissen muss neben den bereits genannten Determinanten letztlich auch die Wahl der Systemgrenzen, der Systembeziehungen und die Referenzsituation berücksichtigen.

## 2.2 Kategorisierung von Modelltypen

Die hier beschriebenen Modelle und ihre Ergebnisse lassen sich drei wesentlichen, aber unterschiedlichen Modellansätzen zuordnen. Die Literatur unterscheidet zum einen in Energiesystemmodelle und zum anderen in Energiewirtschaftsmodelle, sogenannte Bottom-up und Top-down Modelle, sowie drittens in Integrated Assessment-Modelle. Diese sind durch unterschiedliche Prämissen gekennzeichnet:

### *Bottom-up Modelle*

Bottom-up Modelle sind prozessanalytische Partialmodelle, d. h. Modelle eines einzelnen Marktes wie etwa dem Energiemarkt, die keine Interaktionen mit weiteren Märkten abbilden. Diese Energiesystemmodelle beschreiben das Wirtschaftssystem aus der technologischen Perspektive „von unten“ mittels seiner prozesstechnischen Strukturen. Den Schwerpunkt dieser Modellkategorie bildet die detaillierte Abbildung eines Sektors, so z.B. im Energiesektor von der Primärenergie bis zur Ebene der Nutzenergie oder Energiedienstleistung: über die Gewinnung, den Import, die Umwandlung, den Transport und die Verteilung von Endenergie sowie die Umwandlung in Nutzenergie- bzw. Energiedienstleistungsformen. Konkurrierende Maßnahmen zur Reduktion von klimawirksamen Treibhausgasen können somit auf sämtlichen Stufen der Energienutzungskette wider gespiegelt werden.

Das Ziel dieser Modellkategorie ist die Generierung der kostengünstigsten Alternative für einen festgelegten Bedarf. Technologischer Wandel ist dargestellt durch einen Wechsel der Vermeidungstechnologien. Hierbei werden jedoch die Transaktionskosten eines Technologiewechsels, Trägheiten und Marktversagen auf der Nachfrageseite nicht immer berücksichtigt. Bottom-up Modelle neigen im Fall solcher Nichtberücksichtigung dazu, Kostenreduktionen zu überschätzen. Sie bilden die Kostenberechnung häufig als gesamt- bzw. volkswirtschaftliche Maßgröße ab.

### *Top-down Modelle*

Im Gegensatz dazu bilden Top-down Modelle, in der Regel makroökonomische „Computable General Equilibrium“-Modelle (CGE-Modelle), eine in sich konsistente Beschreibung einer gesamten Ökonomie. Auf einem aggregierten Niveau beschreiben diese Modelle die Energiewirtschaft aus einer gesamtwirtschaftlichen Perspektive („von oben“). Energiewirtschaftsmodelle berücksichtigen nicht nur die Struktur und die Verflechtungen im Energiesektor, sondern darüber hinaus auch die übrigen Märkte der Volkswirtschaft und die individuellen

Präferenzen der Agenten. Innerhalb des Modells wird der Energiesektor meist stark vereinfachend dargestellt. Top-down Modelle sind entsprechend durch eine (grobe) Erfassung auch nichtenergetischer Produktions- und Konsumaktivitäten charakterisiert.

Die Art der Parameterbestimmung ist ein weiteres entscheidendes Modellmerkmal. Grundsätzlich unterscheidet man bei der Bestimmung von Parametern die Methode der so genannten Kalibrierung von der ökonometrischen Schätzung aufgrund von Zeitreihen. Bei der Kalibrierung werden die Modellparameter im Modell selbst so justiert, dass das Modell einen bestehenden Ausgangsdatensatz ökonomischer Größen reproduziert. Alternativ können einige Parameter ökonometrisch geschätzt werden. Insbesondere die Substitutionselastizitäten werden allerdings häufig aus externen Quellen übernommen (diese beruhen jedoch meist selbst auf ökonometrischen Schätzungen). Beide Methoden der Parameterbestimmung werden bei neoklassisch geprägten Ansätzen durchgeführt. So wird z.B. technologischer Wandel (Maßnahmen induzierte Veränderungen der Produktions- und Technologiestruktur) über veränderte Substitutionselastizitäten in neoklassischen Produktionsfunktionen abgebildet.

Die volkswirtschaftlichen Kosten des Klimaschutzes werden in Top-down Modellen zumeist über eine gesamtwirtschaftliche Wohlfahrtsfunktion berechnet. Die Wohlfahrtsfunktion gibt dabei den Nutzen eines repräsentativen Wirtschaftssubjektes durch den Konsum von Gütern in Form eines numerischen Maßes an. Nach Böhringer (1999, S. 378) ermöglicht die Wohlfahrtsfunktion *„die Abbildung der Ergebnisse von Klimaschutzmaßnahmen als quantitativen Nutzen für den Entscheidungsträger und damit einen Vorteilsvergleich alternativer Strategien.“*

Top-down Modelle können keine prozessorientierte Beschreibung von Einzeltechnologien leisten. Die Elastizitäten beruhen auf empirischen Schätzungen aus Vergangenheitswerten. Gut anwendbar sind diese Modellierungen hingegen für Langzeit-Analysen von Innovationen, Abschätzungen der Humankapitalakkumulation sowie externe Wirkungen von Technologien. Die Kosten von Reduktionsmaßnahmen werden in dieser Modellkategorie eher überschätzt.

### ***Integrated Assessment-Modelle***

Einen integrierten Ansatz verfolgen sog. Integrated Assessment-Modelle, bei dem Teilmodelle verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen integriert werden, beispielsweise durch die Kombination ökonomischer Modelle mit ökologischen Teilmodellen. Integrated Assessment-Modelle (oder IAMs) beschreiben eine qualitative Ursache-Wirkungs-Beziehungen von Politikmaßnahmen sowie die Interaktionen zwischen verschiedenen wissenschaftlichen Bereichen. Bedingt durch die Komplexität und Variabilität einzelner Teilsysteme wie Wirtschaft, Umwelt, Klima und Klimawandel, Politik, etc., versuchen diese Modelle eine interdisziplinäre Verknüpfung reduzierter Einzelmodelle, welche kompakt genug aber verständlich, flexibel und einfach miteinander zu verknüpfen sind. Ein synoptischer Blick ist daher bestimmend für diese Modellklasse.

Die Herausforderung dieser Modelle besteht in der Balance zwischen Einfachheit und Komplexität, Aggregation und realistischen Ergebnissen, stochastischen und deterministischen E-

lementen, qualitativen und quantitativen Verbindungen sowie Transparenz und Unsicherheit. Entscheidend ist weiterhin, die Grenzen der Integrated Assessment-Modelle wahrzunehmen, um die offenen Themen und Fragen analysieren und interpretieren zu können, die außerhalb dieser Modellrahmen liegen.

Angesichts der akkumulierten Unsicherheiten, die diesem Modelltyp inhärent sind, sind Integrated Assessment-Modelle weniger ein Vorhersage- als ein Interpretations-Werkzeug mit instruktivem Wert. Die rasche Prototypisierung macht die Modelle des Weiteren für die Entscheidungsfindung attraktiv. Darüber hinaus bieten Integrated Assessment-Modelle den Vorteil der Interdisziplinarität, indem sie zur Kommunikation zwischen Wissenschaftlern und Entscheidungsträgern unterschiedlicher Fachrichtung beitragen (vgl. Janssen 1998, S. 25 ff.).

## 3 Innovationswirkungen des Emissionshandels

### 3.1 Einleitung

In einem Zertifikatehandel zur Reduzierung von Schadstoffemissionen wird eine politisch festgelegte Anzahl von Emissionsrechten zwischen Unternehmen, Branchen oder auch Staaten verteilt und gehandelt. Im Idealfall, unter Annahme eines vollkommenen Marktes und vollständiger Information, entsteht dann ein Zertifikatepreis, der den marginalen Vermeidungskosten einer Einheit an Emissionsverminderung entspricht. Die einzelnen Teilnehmer werden demnach weitere Schadstoffemissionen vermeiden, wenn ihre individuellen Vermeidungskosten unter dem Zertifikatepreis liegen; ansonsten ist es für sie billiger, Zertifikate zu kaufen bzw. zu halten. Auf diese Weise werden Vermeidungsmaßnahmen genau dort durchgeführt, wo sie am kostengünstigsten sind. Dieses Kriterium der Kosteneffizienz ist ein wichtiger Vorteil eines Emissionshandelsystems gegenüber einer Auflagenpolitik. Die Regulierung von Emissionen über einen Zertifikatehandel ist jedoch auch wegen der zielgenauen Implementierung der gewünschten Vermeidung ein effizientes Instrument. Durch die exogen vorgegebene Menge an maximaler Emissionsbelastung wird das gesetzte Vermeidungsziel in jedem Fall erreicht. Man bezeichnet diese Eigenschaft auch als ökologische Zielgenauigkeit des Instruments (Michaelis 1996).

Fraglich ist, ob eine Regulierung der Emissionsmenge über den Emissionshandel auch Anreize für Unternehmen schaffen kann, in fortschrittlichere Produktionstechniken zu investieren. Man spricht hierbei von der Anreizwirkung des Instruments auf die Regulierten, Innovationen zu begünstigen. Die genauere Betrachtung dieses dynamischen Aspekts ist Ziel der vorliegenden Studie.<sup>1</sup> Es soll untersucht werden, inwiefern ein Emissionshandelssystem auf das Innovationsverhalten eines Marktteilnehmers Einfluss nehmen kann. Dabei sollen in Kapitel 3.2 die grundlegenden Wirkungszusammenhänge zwischen Handel und Innovationswirkung erläutert werden. Kapitel 3.3 soll einen Einblick in die relevanten quantitativen Abschätzungen von Emissionshandelssystemen in Bezug auf deren Innovationswirkungen geben. Der letzte Abschnitt fasst die Ergebnisse zusammen und gibt einen Ausblick.

---

<sup>1</sup> Weitere dynamische Aspekte eines Emissionshandels sind die Verteilungs- und Beschäftigungseffekte, auf deren Darstellung hier aber verzichtet wird.

## 3.2 Grundsätzlicher Wirkungszusammenhang

### 3.2.1 Innovationswirkung von Emissionshandelssystemen

#### 3.2.1.1 Definition von Innovationen

Innovationen, bzw. die Entwicklung neuer Technologien, sind von zentraler Bedeutung für ökonomisches Wachstum und Produktivitätssteigerung innerhalb einer Volkswirtschaft. Es erscheint daher interessant, sich mit der Frage auseinander zu setzen, wodurch technischer Fortschritt entsteht und weshalb Firmen innovativ tätig werden. Den Motor des Strebens nach Innovationen sieht Joseph Schumpeter in der Gewinnung von Renten (Löschel 2002). Eine technologische Entwicklung ist für die innovierende Firma ein Wettbewerbsvorteil, der zu Erlössteigerungen führen kann. Dieser Vorteil resultiert zumeist aus einer günstigeren Kostenstruktur durch die Anwendung der technologischen Neuerung.

Schumpeter unterscheidet im Prozess des technologischen Wandels drei Phasen (Gagelmann 2003):

- Erfindung eines neuen Produkts oder Prozesses (Invention)
- Transformation und Weiterentwicklung der Erfindung in ein kommerzielles Produkt (Innovation)
- Prozess der Branchen/Ökonomie übergreifenden Verbreitung der innovativen Technologie (Diffusion)

In der graphischen Darstellung der Technologieadaption über die Zeit folgt die Kurve einem s-förmigen Verlauf. Zunächst ist die Zahl der Imitatoren gering, steigt aber progressiv an. Ab einer gewissen Marktdurchdringung steigt die Anzahl der Adaptoren immer weniger stark an, bis letztlich keine neuen Verwender mehr hinzukommen und der Markt gesättigt ist.

Eine Innovation kann sich sowohl auf ein Produkt beziehen, als auch auf den Produktionsprozess. Die anschließende Verbreitung einer Technologie innerhalb und außerhalb der Branche gilt dann nicht mehr als innovative Leistung der Technologie adaptierenden Firmen. Allerdings kann die Diffusion in weiteren Bereichen zu den gleichen Effekten wie die Innovation selbst führen, nämlich zur Kostenreduktion und den daraus abgeleiteten Wettbewerbsvorteilen. Downing und White (1986) definieren Innovation im Kontext von Emissionsvermeidung. Sie verstehen darunter jede Technologieverbesserung, die die Kosten der Emissionskontrolle reduziert. Im Folgenden soll für die Betrachtung der Innovation diese Definition gelten.

### 3.2.1.2 Innovationen und Emissionshandel

Emissionshandel als Regulierungsinstrument der Umweltpolitik verändert die Kostenstruktur der teilnehmenden Firmen. Die Verknappung der Menge an erlaubten Emissionen von staatlicher Seite bewirkt die Aufnahme der externen Kosten der Umweltschädigung ins Planungskalkül der Unternehmungen. Durch diesen Knappheitsaspekt bekommt die Produktion von schädlichen Emissionen einen Preis zugeordnet, vergleichbar mit dem Einsatz anderer Produktionsfaktoren. Ein gleiches Produktionsprogramm ist nunmehr mit höheren Kosten verbunden. Somit kann auch die strategische Wettbewerbsposition negativ beeinträchtigt werden. Diese Umstände veranlassen den Produzenten dazu, nach Kostensenkungspotentialen zu suchen. Kostensenkungspotentiale, die sich unabhängig zu den Emissionskosten verhalten, sind hier vernachlässigbar, da anzunehmen ist, dass sie schon vorher berücksichtigt worden sind. Die emittierende Firma unternimmt daher Anstrengungen, um den Bedarf an verteuerten Emissionen zu reduzieren, wenn sich hierfür Potentiale aufzeigen. Meist sind diese Potentiale nicht offensichtlich, sondern es bedarf der Entwicklung von effizienteren Technologien.<sup>2</sup> Der Emittent unternimmt dafür zusätzliche Investitionen in Forschung und Entwicklung, um geringere Kosten der Emissionsvermeidung oder eine höhere Emissionsreduktion bei gleichen Kosten zu erreichen (Schwarze 2001). Dieser Mechanismus wird als die dynamische Anreizwirkung des Regulierungsinstruments bezeichnet.

Die Vorteilhaftigkeit einer Innovation ergibt sich stets aus der Gegenüberstellung von Kosten und entstandenen Gewinnen, da der Emittent profitmaximierend agiert. Solange die Innovationskosten nicht die erwarteten Gewinne übersteigen, führt der Innovator weitere Investitionen in neue Techniken durch (Downing und White 1986). Wie auch die entstehenden Kosten setzen sich die erwarteten Erlöse aus zwei unterschiedlichen Komponenten zusammen. Der Emittent stößt weniger Emissionen bei der Produktion seiner Güter aus und kann somit die nicht mehr benötigten Emissionsrechte auf dem Markt verkaufen. Auf einem Markt mit vollkommenem Wettbewerb ändert sich der Marktpreis für ein Emissionsrecht dadurch nicht, da sich der Innovator als Preisnehmer verhält. Die Innovation verringert zwar die Grenzvermeidungskosten der einzelnen Firma, hat aber zunächst keine Auswirkung auf die industrieweite, aggregierte Grenzvermeidungskostenkurve oder die Grenzvermeidungskostenkurve der Wettbewerber (Milliman und Prince 1989).<sup>3</sup>

Das innovativ tätige Unternehmen kann zudem zusätzlich aus dem Verkauf der Technologie an die Wettbewerber im Markt profitieren. Voraussetzung dafür wäre allerdings, dass der Innovator die Innovation schützen lassen kann, d. h. andere vom kostenlosen Gebrauch der Innovation durch ein Patent ausschließen kann. Ist dies jedoch nicht möglich, handelt es sich bei der Technologie um ein Öffentliches Gut. Die Konsequenz der Nichtausschließbarkeit und

---

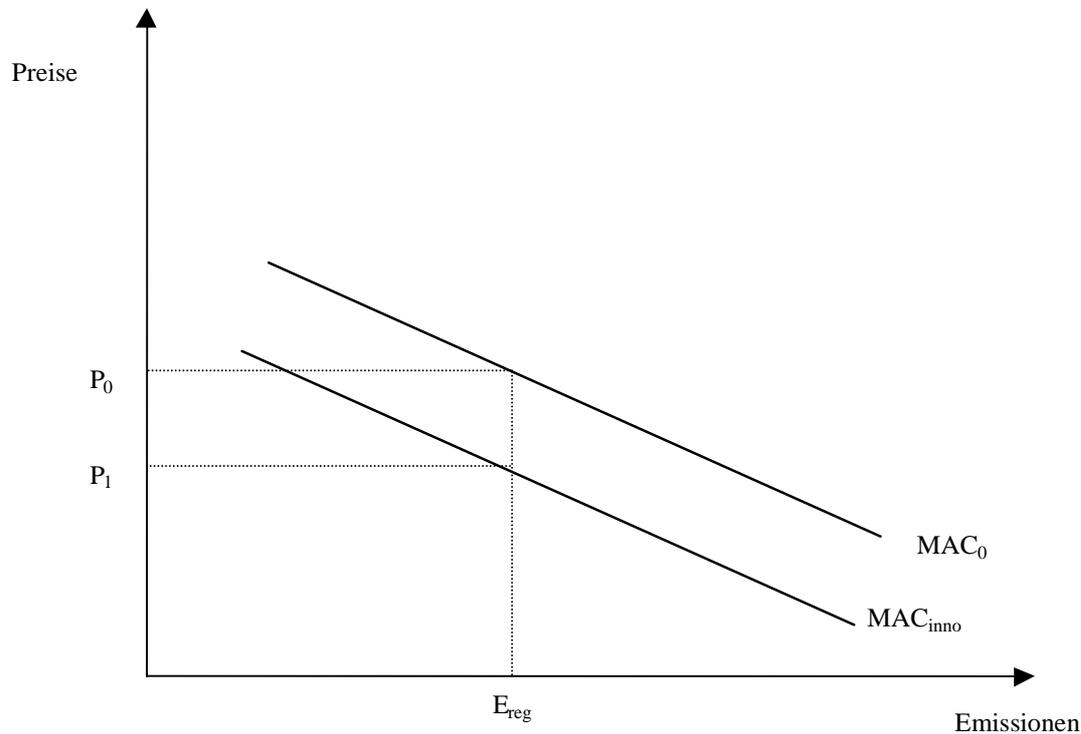
<sup>2</sup> Die Innovationen können qualitativ untergliedert werden in Technologien, die für den Produktionsprozess nur noch eine reduzierte Zahl an Emissionen benötigen und Technologien, die die eigentlich entstandene Emissionsmenge im Produktionsprozess auf gleichen Niveau halten, aber durch nachgelagerte Verfahren weniger Emissionen in die Atmosphäre abgeben, sogenannte End-of-pipe-Technologien, z.B. Filtersysteme.

<sup>3</sup> Begründet wird dies mit der marginalen Wirkung durch die Innovation eines einzelnen Marktteilnehmers in einem Handel mit vielen anderen Marktteilnehmern.

des nicht rivalisierenden Konsum ist ein schneller Diffusionsprozess. Diese Eigenschaft beeinflusst dann wiederum negativ die Innovationsbereitschaft von potentiellen Investoren in Forschung und Entwicklung (Laffont/Tirole 1996a).

Die Auswirkung der Innovation auf einen Emissionshandelsteilnehmer, der keine Anstrengungen unternommen hat, eigene Innovationen zu entwickeln, ist ebenfalls positiv. Milliman und Prince (1989) beschreiben den einsetzenden Diffusionsprozess der neuen Technologie. Innerhalb dieses Prozesses wird die Innovation von einer Reihe anderer Unternehmen adaptiert, die im Anschluss einen niedrigeren Emissionsbedarf besitzen. Diese Entwicklung hat zwei Konsequenzen für die Grenzvermeidungskosten der nicht-innovativ tätigen Emissionshandelsteilnehmer. Der Emittent kann nun seine Emissionskosten entweder durch die Adaption der Technologie senken, oder mit einem aus dem größeren Angebot resultierenden, geringeren Emissionsrechtepreis kalkulieren. Der fortgeschrittene Diffusionsprozess verschiebt also die aggregierte Grenzvermeidungskostenkurve  $MAC_0$  aller Marktteilnehmer nach unten, auf  $MAC_{\text{inno}}$  (siehe Abbildung 1). Durch die Innovation können der Innovator sowie alle adaptierenden Firmen ihre nicht mehr benötigten Zertifikate verkaufen. Diejenigen Firmen, die weder innovativ tätig waren, noch Technologieadaption durchgeführt haben, fragen zunächst die gleiche Menge an Zertifikaten nach. Folge hieraus ist eine Senkung des Marktpreises von  $P_0$  auf  $P_1$ . Mit dem Preis des Zertifikats fällt zugleich auch eine mögliche Lizenzgebühr für die Nutzung der neuen Vermeidungstechnologie (Jung et al. 1996). Die Erträge des Innovators aus der Innovation sinken durch den Preisverfall und somit fallen auch die Kosten der Emissionsvermeidung der passiven Marktteilnehmer. Mit zunehmender Innovationsleistung nimmt das Kostensenkungspotential einer neuen Vermeidungstechnologie allerdings ab. Grund hierfür ist der eben beschriebene Preisverfall. Eine ständige Erhöhung des Angebots an Emissionsrechten durch neue effiziente Technologien lässt den Zertifikatspreis bei einer gleichbleibenden Emissionsrechtemenge immer stärker sinken. Ab einem gewissen Preis kommt die Innovationsbereitschaft der Unternehmen völlig zum Stillstand.

Abbildung 1: Verschiebung von Grenzvermeidungskostenkurven



Die Gesamtwirkung der Innovation unter der Umweltregulierung ist die Besserstellung aller Marktteilnehmer durch ihre gesunkenen Emissionsvermeidungskosten. Die Innovatoren haben zusätzlich einen langfristig wirksamen, strategischen Vorteil aufgrund ihrer effizienteren Produktionsweise. Diesen könnten sie im Wettbewerb für ihre Endprodukte nutzen. Die durch die Innovation ausgelöste Umverteilung effizient genutzter Zertifikate hat jedoch keinen Effekt auf das angestrebte Umweltziel, dessen Einhaltung durch die exogen festgelegte Gesamtemissionsmenge  $E_{reg}$  gesichert ist. Die Wiederholung des Innovations- und Diffusionsprozesses umweltfreundlicher Technologien läuft, ausgelöst durch den weiterwirkenden, jedoch sich abschwächenden Innovationsanreiz des Regulierungsinstrumentes, analog ab.<sup>4</sup> Um den Innovationsanreiz zu erhalten, könnte der Regulator allerdings die Emissionsrechtemenge regelmäßig nach unten anpassen.

### 3.2.1.3 Innovationswirkung unter unvollkommenem Wettbewerb

Neben der dynamischen Anreizwirkung des Emissionshandels unter den idealisierten Bedingungen des vollkommenen Wettbewerbs soll nun auch die Innovationswirkung unter unvollkommenen Marktbedingungen untersucht werden.

<sup>4</sup> Für die genauere Betrachtung des abschwächenden Innovationsanreizes von Regulierungsinstrumenten im Vergleich siehe Abschnitt 3.3.

Die wettbewerbstheoretische Literatur beschreibt typischerweise einen positiven Zusammenhang zwischen unvollkommenen Wettbewerb und hohen Innovationsanreizen, da der Innovator in diesem Fall einen größeren Nutzen aus der Innovation ziehen kann (Bucci 1998). Im Kontext eines Emissionshandels besteht die Gefahr, dass bei unvollkommenen Marktbedingungen Unternehmen Absprachen treffen, neue Technologien nicht zu übernehmen, um die Diffusion zu verlangsamen und somit den Zertifikatepreis auf einem hohen Niveau zu halten. Dieser würde dann immer noch einen hohen Anreiz zu weiteren Innovationen bieten, die dann allerdings nicht oder zu langsam weiterverbreitet würden (Parry 1996).

Ein anderer Aspekt des unvollkommenen Wettbewerbs ist die Existenz von Transaktionskosten beim Emissionshandel, wie z.B. Such- und Verhandlungskosten, die sich negativ auf Innovationsanreize auswirken können, da sie die privaten Erlöse des innovativen Unternehmens aus den Investitionen in F&E reduzieren (Parry 1996).

Montero (2002) betrachtet die Wechselwirkungen zwischen Emissions- und Gütermarkt (für Endprodukte) unter Marktmacht. Er unterscheidet dabei zwei Determinanten des Innovationsanreizes, den Effekt der Kostenminimierung durch produktivere Technologien und einen strategischen Effekt auf die Wettbewerbsposition der teilnehmenden Firmen auf Emissions- und Gütermarkt, der definitionsgemäß nur im Falle eines unvollkommenen Marktes auftritt. Der strategische Effekt auf dem Gütermarkt ist negativ für den potentiellen Innovator, da die Innovationsleistung der einen Firma über den fallenden Zertifikatepreis auch die Kostenstruktur der anderen Firma positiv beeinflusst. Die Verbesserung der Kostensituation des Wettbewerbers führt dann zu einem härteren Wettbewerb auf dem Markt für Endprodukte der beiden Firmen und mindert somit den Profit der in Forschung investierenden Firma.<sup>5</sup> Der potentielle Innovator wird somit aufgrund des negativen strategischen Effektes einen geringeren Innovationsanreiz haben. Der strategische Effekt auf dem Emissionsmarkt kann also, je nach Verkäufer- oder Käuferrolle, negativ oder positiv sein.

### 3.2.2 Innovationswirkung bei unterschiedlicher Ausgestaltung

Nach der allgemeinen Betrachtung der Innovationswirkung von Emissionshandelssystemen stellt sich die Frage, in wiefern verschiedene Ausgestaltungsmechanismen bezüglich der Ausstattung der Teilnehmer mit Emissionsrechten eine unterschiedliche Innovationswirkung entwickeln. Grundsätzlich wird in der Literatur zwischen zwei verschiedenen Arten der Zuteilung unterschieden. Auf der einen Seite stehen die frei zugeteilten Emissionsrechte. Sie werden kostenlos an die Teilnehmer vergeben, allerdings unter verschiedenen Kriterien. Als Basis dienen etwa vergangene Emissionen der Teilnehmer oder auch deren Produktionsniveaus. Auf der anderen Seite steht ein Zuteilungsmechanismus, der für die Ausgabe eine monetäre Gegenleistung des Teilnehmers bedarf. Dies sind Zertifikate, die in einer Auktion vergeben werden.

<sup>5</sup> Dies gilt der Annahme, dass die Verbesserung der Kostenstruktur zur Verschärfung des Wettbewerbs führt und nicht durch Kooperation zusätzliche Gewinne abgeschöpft werden.

Aufgrund ihrer größeren Innovationswirkung wird grundsätzlich die Auktionierung der Zertifikate der freien Zuteilung vorgezogen. Cramton und Kerr (2002) beschreiben einen dynamischen Vorteil der auktionierten Zertifikate gegenüber frei zugeteilten Rechten. Ursächlich hierfür ist der unterschiedliche Nutzen für den Emittenten durch einen fallenden Zertifikatepreis. In einem Emissionshandelssystem, in dem die Zertifikate auktioniert werden, gehen Cramton und Kerr (2002) davon aus, dass alle Unternehmen als Käufer auftreten. Auf diese Weise profitieren die Unternehmen beim Kauf von Emissionsrechten von dem niedrigeren Preis für die Emissionen, ausgelöst durch den (antizipierten) Diffusionsprozess einer innovativen Technologie<sup>6</sup>. Werden die Emissionsrechte dagegen frei vergeben, gibt es sowohl Anbieter als auch Nachfrager unter den teilnehmenden Firmen. Die Käufer der Zertifikate profitieren zwar auch vom fallenden Preis; die Situation der Verkäufer hat sich allerdings verschlechtert, da die von ihnen gehaltenen Emissionsrechte gleichermaßen an Wert verlieren und damit der Gewinn aus dem Verkauf dieser Zertifikate (sog. scarcity rents) sinkt. Folglich wird der Auktionierung ein stärkerer Innovationsanreiz zugeschrieben.

Ein weiteres Argument für die Vorteilhaftigkeit der auktionierten gegenüber den frei zugeteilten Emissionsrechten findet sich bei Milliman und Prince (1989) bzw. Jung et al. (1996). Unter der Annahme, dass alle Unternehmen am Markt Käufer sind (Jung et al. 1996) und sich die innovative Firma aufgrund von unvollkommenem Wettbewerb den zusätzlichen Nutzen aus der Innovation sichern kann, erzeugen die auktionierten Zertifikate durch den fallenden Preis einen größeren Innovationsanreiz im Vergleich zu den frei vergebenen Zertifikaten. Schwarze (2001) bringt dagegen vor, dass dieser Vorteil der Auktionierung für einen wettbewerblich strukturierten Markt nicht besteht, da dann der Emittent durch die Adaption der Technik keinen Einfluss auf den Zertifikatepreis am Markt hat. Die Annahme eines wettbewerblich strukturierten Marktes für Emissionen sehen Fischer et al. (2003), aufgrund der großen Anzahl an potentiellen Teilnehmern als realistisch an. Sobald die Annahme über Marktmacht fallen gelassen wird ist also die Überlegenheit der Auktion gegenüber der freien Zuteilung nicht mehr gegeben.

### 3.3 Innovationswirkung anderer umweltpolitischer Instrumente

Aufgrund der zentralen Bedeutung der Emissionsregulierung für die Weiterentwicklung technisch effizienter Vermeidungstechnologien existiert eine große Zahl von Untersuchungen, die sich zum Ziel gesetzt haben, unter unterschiedlichen Annahmen über Wettbewerb oder Informationsverteilung Rankings der Regulierungsinstrumente zu erstellen (Downing und White 1986, Milliman und Prince 1989, Jung et al. 1996, Fischer 2000, Schwarze 2001, Montero 2002 usw.).<sup>7</sup> In der ökonomischen Literatur werden unter den verschiedenen umweltpolitischen Instrumenten vor allem zwei Gruppen betrachtet. Zur Gruppe der so genannten markt-basierten Instrumente gehören die Umweltabgaben bzw. -steuern und (freie bzw. auktionierte) Emissionszertifikate. Diesen gegenübergestellt werden die Command-and-Control-

<sup>6</sup> Siehe 3.2.1.2.

<sup>7</sup> Montero (2002) kritisiert zusätzlich den „single-firm“-Ansatz und losgelöste Betrachtung vom Outputmarkt der Studien bei der Erstellung der Instrumentenrankings.

Maßnahmen, wie z. B. Umweltauflagen. Neben diesen beiden Gruppen sind Informationsinstrumente (z.B. Beratung, Analysen, Kennzeichen, Datenbanken), Anreizinstrumente wie Zuschüsse und zinsgünstige Kredite sowie Forschungs- und Entwicklungsförderung weitere Instrumentengruppen mit hoher Innovationswirkung. Diese werden in der hier ausgewerteten Literatur jedoch weniger behandelt.

Die stärkste Wirkung auf den umwelttechnischen Fortschritt wird in der ökonomischen Literatur den marktbasierenden Instrumenten, d. h. den Emissionsabgaben und -zertifikaten, zugeschrieben. Diese haben den Vorteil, im Vergleich zu Emissionsauflagen einen ständigen Anreiz zur Kostensenkung der Emissionsvermeidung zu generieren (Michaelis 1996). Der Vergleich zwischen diesen Instrumenten zeigt, dass Abgaben gegenüber Emissionshandelssystemen allgemein als vorteilhafter gelten. Zwar üben beide einen kontinuierlichen Anreiz zur Senkung der Kosten aus, jedoch schwächt sich dieser Anreiz bei Emissionszertifikaten mit wiederholtem Innovations- und Diffusionsprozess ab.<sup>8</sup> Kennzeichnend für die Emissionssteuer ist ein starrer Preisrahmen, d. h. ein konstanter Steuersatz. Dadurch wird die Anreizwirkung auch nach wiederholtem Diffusionsprozess aufrechterhalten und die Emissionswerte werden kontinuierlich verbessert (Michaelis 1996). Aber auch eine zu starke Innovationswirkung der Umweltsteuern kann zu einer ineffizienten Menge an Innovationen führen, wenn ein vorgegebenes Emissionsziel unterschritten wird. Eine erneute Anpassung des Steuersatzes, unabhängig vom einer möglichen Unter- oder Überschreitung des festgelegten Umweltziels, wäre für die Regulierungsbehörde mit sehr hohem Informationsbedarf verbunden. Allerdings kann durch die Festlegung eines fixen, nicht an inflationäre Entwicklungen gekoppelten Steuersatzes, die Steuerbelastung inflationsbedingt über die Zeit geringer werden. Damit sinkt der Innovationsanreiz auch bei dieser Art der Regulierung. Dieser Einfluss erschwert die Implementierung eines gewünschten Umweltziels zusätzlich.

Im Vergleich der Innovationswirkung von marktbasierenden Instrumenten und Umweltauflagen belegen zahlreiche Studien (vgl. Downing and White 1986, Magat 1978) eine Überlegenheit der marktbasierenden Instrumente. Die Anreizwirkung eines Umweltstandards sinkt mit der Erreichung des Standards auf null. Weitere Innovationen im Produkt- oder Prozessbereich sind unwirtschaftlich. Wenn Unternehmen antizipieren, dass eine Innovation als Maßstab zur Festlegung neuer, weitergehender Auflagennormen herangezogen wird, können Umweltstandards zusätzliche negative Innovationsanreize generieren. Die frühe Durchführung sinnvoller Vermeidungen würde damit aus Produzentensicht keinerlei Vorteile bieten (Michaelis 1996).

Dieser Abschnitt soll keine vollständige Besprechung umweltpolitischer Instrumente leisten, vielmehr wurde hier ein Einblick in grundlegende Wirkungszusammenhänge mit der Innovationstätigkeit gegeben. Eine vollständige Analyse sollte etwa gezielte Förderinstrumente wie Stromeinspeiseregulungen, Zuschüsse oder Kredite sowie freiwillige Selbstverpflichtungen einschließen.

---

<sup>8</sup> Siehe dazu Abschnitt 3.2.1.2.

## 3.4 Quantitative Untersuchungen

### 3.4.1 Technischer Fortschritt in umweltökonomischen Modellen

Zur systematischen Einordnung der quantitativen Abschätzungen bzw. numerischen Simulationen sollen im Folgenden zunächst die unterschiedlichen Möglichkeiten dargestellt werden, technischen Fortschritt in umweltökonomische Modelle zu integrieren. Die Ausführung orientiert sich an Löscher (2002). Dabei werden zunächst Modellierungstypen und anschließend Methoden zur Implementierung des technischen Fortschritts vorgestellt.

#### 3.4.1.1 Modelltypen und technischer Fortschritt

Bottom-up Modelle liefern eine detaillierte Abbildung eines einzelnen Sektors, z.B. des Energiesektors mit unterschiedlichen Vermeidungstechnologien. Technologischer Wandel wird dargestellt durch eine (plötzliche) Veränderung der Vermeidungstechnologien (sogenannte *snapshot technologies*), wobei die Transaktionskosten der Veränderung, Trägheiten und Marktversagen auf der Nachfrageseite unberücksichtigt bleiben. Dies führt typischerweise zu einer Überschätzung der Kostenreduktion in Bottom-up Modellen.

Dagegen bieten Top-down Modelle, in der Regel makroökonomische Modelle wie etwa berechenbare allgemeine Gleichgewichtsmodelle (CGE-Modelle), eine konsistente Beschreibung der gesamten Ökonomie. Technologischer Wandel wird über Substitutionselastizitäten in neoklassischen Produktionsfunktionen abgebildet, wobei diese Modelle keine Beschreibung einzelner Technologien liefern. Diese Modellierung ist geeignet für die Langzeit-Analyse von Innovationen, für die Abschätzung von Humankapitalakkumulation und externen Wirkungen von Technologien.

Schließlich modellieren Integrated Assessment Modelle den Klimawandel unter Einbeziehung verschiedener Wissenschaftsbereiche, beispielsweise durch die Kombination ökonomischer Modelle mit ökologischen Teilmodellen. Auch mit dieser Modellart können Aspekte des technischen Fortschritts behandelt werden.

#### 3.4.1.2 Exogener technologischer Wandel

Exogener technologischer Fortschritt bedeutet, dass die Rate des technischen Fortschritts fix ist. Diese Art technologischen Wandels kann etwa durch so genannte „autonome Energieeffizienzparameter“ definiert werden (vgl. klassische Wachstumstheorie nach Solow). Dabei handelt es sich nicht um preisinduzierte Innovationen. Die autonomen Energieeffizienzparameter bilden die Veränderung des Energiebedarfs sowohl in der gesamten Industrie, als auch in einzelnen Branchen ab und werden als separater Koeffizient in die Produktionsfunktion integriert. Technischer Fortschritt wird hier also über effizientere Energienutzung abgebildet. Das Problem bei der Identifizierung von autonomen Energieeffizienzparametern besteht

allerdings in der Abgrenzung von tatsächlichem technologischen Fortschritt und Langzeit-Preisänderungen.

Ein anderer Ansatz zur Bestimmung von exogenem technologischem Wandel besteht in der Annahme über Kosten der zukünftigen Energietechnologien (backstop technologies). In ökonomischen Modellen müssen hierzu Annahmen über zukünftige, exogen vorgegebene Technologien getroffen werden. Der Preismechanismus determiniert hier die Wahl der Technologie, d. h. die neue Technologie wird aufgenommen, wenn ihr Preis im Vergleich zur bisher genutzten Technologie geringer ist.

Die Schwierigkeit der Einbeziehung des exogenen technologischen Wandels besteht in der Abschätzung der Effekte auf den Ersatz des Kapitalstocks. Es ist zudem keine konsistente Darstellung des Innovations- oder Diffusionsprozesses mit dieser Implementierung möglich.

### 3.4.1.3 Endogener technologischer Wandel

Endogener technologischer Wandel bedeutet, dass die Rate des technologischen Fortschritts variieren kann, beispielsweise aus den F&E-Aktivitäten („neutraler technologischer Wandel“). In Anlehnung an die Neue Wachstumstheorie ist Innovation als ökonomische Aktivität eines profitmaximierenden Akteurs in Reaktion auf die Gewinnanreize in einem Schumpeterianischen System aufzufassen. Innovation generiert Spillovers, durch die die Wirtschaft weiter wächst. Diese ebenfalls endogenen Effekte werden im Modell zusätzlich zur F&E-Aktivität berücksichtigt.

Im Gegenüber zu „neutralem“ technologischen Wandel ist ein induzierter technischer Fortschritt zielgerichtet, d. h. dass beispielsweise Umweltpolitiken, wie etwa Emissionshandel, direkt Anreize zu Investitionen in F&E bewirken.

Des Weiteren kann technischer Fortschritt endogenisiert werden, indem er als Funktion der zurückliegenden Erfahrung (Stichworte „learning-by-doing“, „learning-by-using“) während des Diffusionsprozesses aufgefasst wird. Die zugrunde liegende Annahme ist hier, dass über zunehmende Erfahrung in der Produktion die kumulierten Stückkosten fallen. Die Lerneffekte nehmen typischerweise im Laufe des Diffusionsprozesses ab.

Der Vorteil des endogenisierten technischen Fortschritts in umweltökonomischen Modellen liegt demnach darin, dass die Innovationswirkungen von einzelnen Maßnahmen betrachtet werden können (siehe auch Simulationsmodelle in Abschnitt 3.4.2).<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Alle Modelle des endogenisierten technischen Fortschritts beinhalten ergänzend auch eine exogene Komponente des Wachstums, die alle nicht preisinduzierten Innovationen abbilden soll.

### 3.4.2 Numerische Simulationen

Vor diesem theoretischen Hintergrund sollen nun Studien vorgestellt werden, die mittels numerischer Simulationen von technischem Fortschritt Aussagen über den Zusammenhang zwischen umweltökonomischen Instrumenten und Innovationen treffen. Alle Studien beziehen sich dabei auf endogenen technischen Wandel. Dabei wird jeweils nach der Beschreibung des Untersuchungskontextes zunächst der Modelltyp, und danach die Annahmen der Simulation beschrieben. Abschließend wird ein Überblick über die Untersuchungsergebnisse gegeben.

Parry (1998) untersucht die aus einer Regulierung mit Emissionssteuern, Umweltstandards und handelbaren Zertifikaten resultierenden Effizienzgewinne von Umweltinnovationen.<sup>10</sup> Er vergleicht dabei unter welchen Bedingungen die oftmals festgestellte Anreiz- und Effizienzüberlegenheit von Steuern gegenüber anderen Instrumenten gegeben ist. In der Analyse ist der Effekt der Innovation auf die Vermeidungskosten entscheidend, da dieser wiederum für die Wirkung auf den Preis am Emissionsmarkt verantwortlich ist. Weiterhin wird diskutiert, inwiefern externe Effekte die Innovation und Diffusion von F&E negativ beeinflussen.

Das zugrunde liegende Modell von Parry beinhaltet einen endogenisierten technischen Fortschritt in einem Bottom-up Ansatz. Annahmegemäß befindet sich eine große Zahl von identischen Firmen auf dem wettbewerblich strukturierten Emissionsmarkt. Die innovative Firma kann nicht vollständig den Nutzen aus ihrer technologischen Verbesserung abschöpfen, da die neue Technologie teilweise durch andere Emittenten kopierbar ist. Dies wird in der Analyse durch einen Imitationseffekt berücksichtigt. Betrachtet werden nun drei Szenarios für eine Reduktion der Vermeidungskosten, assoziiert mit den Reduktionszielen von 1%, 10% oder 40%. Mit dieser Spanne sollen Innovationswirkungen von kleinen bis zu sehr großen Technologieverbesserungen abgebildet werden.

Parry kommt aufgrund der numerischen Simulation zu dem Ergebnis, dass eine empirische Relevanz bezüglich der Überlegenheit von Emissionssteuern gegenüber anderen Regulierungsinstrumenten, insbesondere Emissionszertifikaten, anzweifelbar ist, wenn die Innovation eine kleine bis mittlere Wirkung auf die Vermeidungskosten hat. Begründet wird dies über den Wirkungszusammenhang einer großen Innovation auf (die Vermeidungskosten bzw.) den Zertifikatspreis, der wiederum durch seinen Fall den weiteren Innovationsanreiz sinken lässt. Dieser sinkende Innovationsanreiz ist bei der Steuerlösung nicht vorhanden<sup>11</sup>. Ist die Wirkung einer Innovation auf die Vermeidungskosten jedoch hinreichend klein, zeigt sich im Vergleich der Anreizwirkungen beider Instrumente lediglich eine schwache Dominanz zugunsten der Steuerlösung.

Ein quantitativer Vergleich verschiedener Regulierungsinstrumente bezüglich ihrer Wirkung auf Wohlfahrts- und Innovationseffekte findet sich auch bei Fischer et al. (2003). Betrachtet

<sup>10</sup> Bei Standards und Zertifikaten wird jeweils noch in flexible und fixe Gestaltung unterschieden, je nach dem ob eine Anpassung durch den Regulator aufgrund einer entscheidenden Technologieverbesserung stattfindet oder nicht.

<sup>11</sup> Siehe dazu Abschnitt 3.2

werden Emissionssteuern, auktionierte und frei zugeteilte Zertifikate. Im Unterschied zu früheren Studien mit fixem Imitationspotential wird die Nichtausschließbarkeit der Innovation variiert und damit das Imitationspotential für andere Emittenten in die Analyse mit aufgenommen. Zudem wird die Auswirkung der Innovation nicht nur auf der Nachfrageseite analysiert, es erfolgt auch eine Betrachtung der Angebotsseite der Innovation. Dies ermöglicht die Analyse der Wohlfahrtswirkung eines gegebenen Innovationsniveaus.<sup>12</sup> Modelliert wird hier der technische Fortschritt bei der Emissionsvermeidung endogen in einem Bottom-up Ansatz, wobei die F&E-Ausgaben eine strategische Variable für den Emittenten sind. Dargestellt wird ein mehrstufiger Prozess der Innovation und Diffusion neuer Technologien mit einer fixen Anzahl von kompetitiven Firmen, von denen eine Firma der Innovator ist. Die numerische Modellsimulation generiert zunächst einen Bewertungsmaßstab, der einen quantitativen Vergleich der Wohlfahrts- und Innovationswirkung unter verschiedenen Instrumenten liefert. Im Anschluss daran folgt eine Sensitivitätsanalyse kritischer Parameter, deren Variation das Instrumentenranking bezüglich der Wohlfahrtswirkung des Instrumenteneinsatzes ändert. Dazu gehören die Innovationskosten, die Anzahl der teilnehmenden Firmen sowie Steigerung und Niveau des Umweltnutzens, jeweils betrachtet unter der Variation des Imitationsgrads neuer Technologien, mit der Merkmalsausprägung hoher und niedriger Imitationsgrad.

Als Ergebnis der Simulation lehnen Fischer et al. die klassischen Rankings (auktionierte Zertifikate, freie Verteilung, Steuern) zum induzierten technologischen Wandel und zur Wohlfahrtsverbesserung ab und kommen dabei zur Ansicht, dass unter den unterschiedlichen Rahmenbedingungen jeweils ein Instrument den anderen beiden überlegen ist. Bei einem niedrigen Imitationspotential, bei dem der Innovator die Gewinne der Innovation hauptsächlich für sich nutzen kann und einem geringen Niveau des Umweltnutzens der Innovation, d. h. eine geringere Auswirkung auf die Emissionsreduktion, leiten Fischer et al. eine Vorteilhaftigkeit der Steuerlösung ab. Begründet wird dies dadurch, dass bei einer Steuerlösung der Innovationsanreiz zur Reduzierung der Vermeidungskosten anhält.<sup>13</sup> Dagegen schwächt sich dieser „abatement cost effect“ bei Zertifikatelösungen mit Erreichen des Emissionsziels ab. Wenn der Umweltnutzen der Innovation allerdings größer wird, sind beide Zertifikatelösungen dominant gegenüber der Steuer, da bei einem hohen Umweltnutzen höhere Einnahmen aus dem Zertifikateverkauf realisiert werden können („emissions payment effect“). Bei einem hohen Umweltnutzen kann demnach dieser positive Effekt von Zertifikatelösungen den höheren Anreizeffekt von Steuern zur Senkung der Vermeidungskosten dominieren.

Bei einem hohen Imitationspotential generieren Zertifikatelösungen für jedes Umweltnutzen-niveau zunächst eine gleiche und anschließend eine höhere Wohlfahrtswirkung als eine Steuerlösung. Bei diesem Szenario schwächt sich der große Innovationsanreiz der Steuern ab, da der Innovator den „abatement cost effect“ nicht voll ausschöpfen kann. Dem entsprechend überwiegt der positive „emissions payment effect“ für Zertifikatelösungen in jedem Fall.

---

<sup>12</sup> Beachtet werden sollte ebenfalls, ob ein bestimmtes Innovationsniveau für die Wohlfahrt optimal ist, d. h. ob der Gesamteffekt einer Innovation positiv ist. Denkbar sind Situationen, in denen zuviel oder zuwenig in fortschrittlichere Technologien investiert wird.

<sup>13</sup> Siehe Abschnitt 3.3

Ebenso wie unterschiedliche Umweltnutzenniveaus verändert auch die Variation der Innovationskosten die Vorteilhaftigkeit der umweltpolitischen Instrumente. Für geringe Innovationskosten und ein niedriges Imitationspotential zeigt sich eine deutliche Steuerüberlegenheit. Die anderen beiden Instrumente nähern sich mit dem Anstieg der Kosten an das hohe Niveau der Steuerlösung an. Bei einem hohen Imitationspotential ist unabhängig von den Kosten der Innovation jede Zertifikatelösung vorteilhaft, was sich erneut auf eine Abschwächung des „abatement cost effect“ zurückführen lässt.

Montero (2002) gibt die Annahme des vollkommenen Wettbewerbs auf Güter- und Zertifikatmärkten auf und vergleicht unter diesen Bedingungen den Anreizeffekt von Standards und Zertifikaten in einem numerischen Beispiel. Der technische Fortschritt wird hier in Form von F&E-Ausgaben in einem Bottom-up Ansatz dargestellt. Das Modell identifiziert grundsätzlich zwei Effekte, die den Innovationsanreiz beschreiben. Der sogenannte direkte Effekt, der Effekt der Kostenminimierung durch produktivere Technologien, und der strategische Effekt auf die Wettbewerbsposition der teilnehmenden Firmen auf dem Emissions- und Gütermarkt. In einer numerischen Simulation untersucht Montero die Innovationseffekte von unterschiedlichen F&E-Investitionsniveaus für zwei unterschiedliche Nachfragekurven auf den jeweiligen Gütermärkten. Der Fall der regulären Nachfrage charakterisiert einen Markt mit mehr Marktmacht, der Fall der elastischen Nachfrage impliziert geringere Marktmacht auf dem Gütermarkt.

Als Ergebnis werden die Anreizeffekte von auktionierten Zertifikaten für den Fall mit signifikanter Marktmacht überraschenderweise als geringer angesehen, als von Umweltstandards. Montero begründet dies über den strategischen Effekt der Innovation, der in diesem Fall negativ ist. Gemeint ist damit, dass eine innovative Leistung eines Marktteilnehmers neben dem direkten positiven Effekt der Kostensenkung in der eigenen Reduktion auch mit einer kostensenkenden Wirkung auf die Produktion des Konkurrenten verbunden ist, da der Zertifikatpreis sinkt. Als Reaktion darauf wird dieser seine Produktion erhöhen, welches wiederum negative Konsequenzen auf das Gewinnpotential des Innovators hat. Wenn die Nachfrage elastischer wird und damit die Marktmacht geringer, so besteht dieser Unterschied zwischen Standards und Zertifikaten kaum mehr, da der direkte Kosteneffekt bedeutender wird als der strategische Effekt. Das von Montero abgeleitete Ranking nähert sich für diesen Fall den klassischen Rankings generiert unter vollkommenem Wettbewerb an. Im Fall der elastischeren Nachfragekurve besteht aufgrund des positiven direkten Effekts eine eindeutige Überlegenheit von auktionierten Zertifikaten.

Im Gegensatz zu den Studien über die dynamischen Anreizwirkungen unterschiedlicher umweltpolitischer Instrumente beschäftigen sich Buonanno et al. (2000) in einer numerischen Simulation mit den Auswirkungen von quantitativen Beschränkungen auf die Effizienz eines Emissionshandels zwischen Staaten. Dabei verwenden sie das RICE Model von Nordhaus und Yang (1996) und ergänzen dieses durch eine modifizierte Form des endogenisierten technischen Fortschritts nach Goulder und Mathai (2000). In diesem Integrated Assessment Modell wird der Adaptions- und Diffusionsprozess des technologischen Wandels in Zusammenhang mit der Einführung von Handelsbeschränkungen untersucht. Die strategische Variable der Handelsteilnehmer ist die Wahl des optimalen F&E Levels. Die Endogenisierung des

technischen Fortschritts findet über die Modellierung eines wachsenden technischen Know-hows statt. Der technische Fortschritt wächst mit den F&E Ausgaben und beeinflusst über die aggregierte Produktionsfunktion den Output einer Ökonomie. Mithilfe des Modells werden die Effekte auf Kosten- und Allokationseffizienz durch unterschiedliche Beschränkung des Emissionshandels in acht verschiedenen Szenarios untersucht. Die Beschränkungen beziehen sich dabei auf die Frage, in welchem Ausmaß die Entwicklungsländer in einen internationalen Staatenhandel aufgenommen werden.<sup>14</sup> Ziel ist die Abschätzung von Vor- und Nachteilen der eingeführten Handelsbeschränkungen.

Buonanno et al. (2000) ermitteln wie erwartet einen starken, negativen Zusammenhang zwischen den Ausgaben für Forschung und Entwicklung und dem (Netto-)Bedarf an Emissionszertifikaten. Weiterhin stellen sie fest, dass in allen Industriestaaten die eigenen Ausgaben für technologische Weiterentwicklung mit dem Ausbau von Handelsrestriktionen steigen. Ihre Innovationsbereitschaft wird durch die Regulierung stark forciert. In den weniger entwickelten Regionen des Modells hängt die Innovationsbereitschaft hingegen entscheidend von der Zulassung und der Mengenbeschränkung im internationalen Handel ab. Je schwächer die Restriktionen sind, d. h. je weniger die Teilnehmer aus industrialisierten Regionen eigene Vermeidungsleistungen erbringen müssen, umso größer ist der potentielle Markt. Von der höheren Nachfrage nach Emissionszertifikaten profitieren die Entwicklungsländer, da sie typischerweise die Rolle des Verkäufers einnehmen. Als Reaktion erhöhen sie ihr Engagement, zusätzliche Vermeidungspotentiale zu realisieren. Der Aufbau von Handelshemmnissen verursacht also eine gegensätzliche Wirkung bei den beiden Gruppen von Teilnehmerstaaten. Während die Industriestaaten, gezwungen durch ihren großen Bedarf an Innovationen, ihre Innovationsleistung bei Handelsrestriktionen ausbauen, ist die Bereitschaft der Entwicklungsländer, Innovationen durchzuführen, sehr gering. Begründet wird dies durch die unterschiedlichen Rollen in einem internationalen Emissionsmarkt.

Buonanno et al. (2000) betrachten schließlich die Auswirkung der durch die Handelsbeschränkungen ausgelösten Innovationen. Der Wert zusätzlicher Forschungsanstrengung wird den dadurch entstandenen Anpassungskosten gegenübergestellt und über das gesamtwirtschaftliche Wachstum abgebildet. Auch hier zeigt sich, wie in den Untersuchungen von Fischer et al (2003), dass ein zu starker Innovationsanreiz in Ländern mit hohem Emissionsbedarf letztlich mit nicht wünschenswerten Auswirkungen auf das Wachstum verbunden ist. Für diese Regionen ergibt sich durch die Restriktionen zwar eine hohe Innovationsbereitschaft, die allerdings unter der Annahme, dass keine Vermeidungspotentiale mit negativen Kosten existieren, mit den höchsten Kosten im Vergleich mit anderen Szenarios verbunden ist, und damit einen negativen Wachstumseffekt generiert. Für die Entwicklungsländer stellt sich ein positiver Wachstumseffekt ein, wenn sie die Handelsgewinne realisieren können, d. h. wenn der Markt ohne Handelshemmnisse gestaltet ist. Die Gefahr einer zu hohen Innovationsbereitschaft, verbunden mit hohen Anpassungskosten, besteht bei ihnen nicht. Grund hierfür ist ihre Motivation zur Innovation, die in der Möglichkeit des gewinnbringenden Verkaufs ih-

---

<sup>14</sup> Die Beschränkung des Handels wird begründet durch den Schutz der Entwicklungsländer vor Ausbeutung ihrer Emissionsressourcen durch die industrialisierten Teilnehmerstaaten.

rer überschüssigen Rechte begründet liegt. Innovation findet nur solange statt, wie ein potentieller Gewinn die Kosten der Innovation übersteigt.

Als Ergebnis der Simulation lässt sich feststellen, dass die Einführung von quantitativen Beschränkungen zu einem Anstieg der F&E-Ausgaben der industrialisierten Länder führt, während sich die F&E-Ausgaben der anderen Regionen in Abhängigkeit ihrer Rolle im Zertifikatemarkt ändern. Die Vermeidungskosten steigen allerdings unter den genannten Annahmen durch die Handelsbeschränkungen und können selbst nicht durch höheres Wirtschaftswachstum aufgrund von F&E-Investitionen kompensiert werden. Die Einführung von Restriktionen ist somit weder auf kurze, noch lange Frist vorteilhaft.

Tabelle 1 stellt zusammenfassend die Ergebnisse der Studien zum endogenisierten technischen Fortschritt von Emissionshandelssystemen dar, einschließlich der Wirkungen von Umweltsteuern, Emissionshandel, Standards und Handelspolitik auf den Innovationsanreiz.

Studie	Untersuchungsgegenstand	Szenarios	Ergebnisse
Parry (1998)	Vergleich von Regulierungsinstrumenten bzgl. Effizienzgewinne unter unterschiedlich starken Innovationen	Simulation der Effizienzgewinne unter verschiedenen Vermeidungskostenreduktionspotentialen (1%, 10% und 40%)	Dominanz von Steuern für große Innovationsleistung
Fischer et al. (2003)	Vergleich von Regulierungsinstrumenten bzgl. Innovations- und Wohlfahrtswirkungen	Simulation der Innovations- und Wohlfahrtseffekte unter verschiedenen Imitationspotentialen, Wirkungen auf Vermeidungskosten, Innovationskosten und Anzahl der Firmen im Markt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ablehnung eines generellen Instrumentenrankings</li> <li>- Steuer ist vorteilhaft bei begrenztem Imitationspotential</li> <li>- Auktionierte Zertifikate sind vorteilhaft bei hohem Imitationspotential</li> </ul>
Montero (2002)	Vergleich von Standards und Zertifikaten bzgl. kostenminimierenden und strategischen Anreizeffekten für Innovationen unter unvollständigem Wettbewerb auf dem Faktor- und Produktmarkt	Simulation der Anreize unter drei unterschiedlichen F&E-Niveaus für zwei Nachfragekurven: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reguläre Nachfrage (Marktmacht)</li> <li>- Elastische Nachfrage (geringe Marktmacht)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bei regulärer Nachfrage: Standards generieren für beliebige F&amp;E-Niveaus mehr Innovationen als handelbare Zertifikate</li> <li>- Bei elastischer Nachfrage: Vorteilhaftigkeit für auktionierte Zertifikate für beliebige F&amp;E-Niveaus</li> </ul>
Buonanno et al. (2000)	Auswirkung von quantitativen Handelsbeschränkungen auf die Innovationseffizienz von Emissionshandel zwischen Staaten	Simulation von Anpassungskosten und Wirtschaftsleistung unter acht Szenarien bzw. Kombinationen aus Marktteilnehmern und Art der Handelsbeschränkung	<p>Folge von quantitativen Handelsbeschränkungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anstieg der F&amp;E-Ausgaben in industrialisierten Länder</li> <li>- F&amp;E-Ausgaben anderer Länder sind abhängig von Rolle am Zertifikatemarkt</li> <li>- Positiver Effekt durch Restriktionen wird kompensiert durch negative Effekte auf Vermeidungskosten und Wachstum</li> </ul>

Tabelle 1: Ergebnisse von Studien zu endogenem technologischen Fortschritt

### 3.4.3 Erfahrungen mit existierenden Emissionshandelssystemen

Durch die Betrachtung der numerischen Simulationen in den vorher beschriebenen Studien war es möglich, die Wirkungszusammenhänge zwischen Emissionshandel und Innovation theoretisch darzustellen. Rein empirische Studien sind jedoch aufgrund der wenigen real existierenden Emissionshandelssysteme nur sehr beschränkt vorhanden. Sowohl qualitative als auch quantitative Analysen beziehen sich meist auf Erfahrungen mit dem US-amerikanischen Acid-Rain Program. Weitere Studien beschäftigen sich mit einem regionalen Antismog Programm, dem „NO<sub>x</sub> budget program“ oder mit dem „lead phasedown Program“. Gagelmann (2003) gibt einen Überblick bezüglich der Erfahrungen mit diesen Programmen. Er kommt dabei zu dem Ergebnis, dass die durch den Emissionshandel induzierten Innovationen unter den Erwartungen zurückblieben. Begründet wird dies mit einer schwachen Anreizwirkung der realen Ausgestaltung des Instruments, die auf unterschiedliche Faktoren zurückführbar ist. Einerseits wurden bei der Vergabe der Emissionsrechte oftmals zu viele Zertifikate ausgegeben, um eine hohe Akzeptanz des Instruments bei den Teilnehmern zu erreichen. Dadurch wurde jedoch eine Beschränkung des Emissionsausstoßes nicht im vollen Umfang wirksam bzw. die fehlende Knappheit an Rechten ermutigte die Marktteilnehmer nicht, kostenintensive und risikoreiche Investitionen in neue Vermeidungstechnologien zu tätigen. Andererseits wurde den Teilnehmern oftmals gestattet, nicht benötigte Zertifikate für den späteren Gebrauch zu sammeln (sogenanntes Banking). Wenn nun mehr Zertifikate als üblich aufgrund externer Änderungen benötigt werden, so konnte der Emittent zunächst diese Bestände abbauen, bevor eigene Vermeidungspotentiale ermittelt wurden. Folglich verhinderte die reale Ausgestaltung der Emissionshandelssysteme eine stärkere Innovationsreaktion. In der Realität beobachtete Innovationen waren somit auch überwiegend der Wechsel von stark belastenden zu umweltfreundlicheren Verfahren und „End-of-Pipe“-Technologien. Letztere gelten jedoch als umstritten, da sie nicht die entstehenden Emissionen senken, sondern lediglich verhindern, dass die Schadstoffe in die Atmosphäre treten.

## 3.5 Fazit

Die Innovationswirkungen des Regulierungsinstruments Emissionshandel erscheinen nach den bisherigen Betrachtungen recht komplex. Sicherlich begünstigt der Emissionshandel die Innovationsanreize seiner Marktteilnehmer. In welchem Ausmaß dies allerdings geschieht, bedarf einer detaillierteren Analyse. In einer Situation der Regulierung mit Emissionshandel entstehen Innovationsanreize in Firmen, deren Grenzvermeidungskosten geringer als der Zertifikatspreis sind. Diese Anreize können jedoch auch durch andere Instrumente generiert werden, wie z. B. durch Emissionssteuern, die zum Teil ähnliche Anreize schaffen. Man kann allerdings etwas über die Menge an Innovationen sagen, die in beiden Situationen unterschiedlich ist. Während bei einer Steuerregulierung von einigen Ökonomen die Innovationswirkung als zu hoch – gemessen am Wohlfahrtsoptimum ohne Berücksichtigung von Umweltschäden („externen Kosten“) – angesehen wird, generieren die Zertifikate eine effiziente oder zu geringe Anzahl an Innovationen. Grund hierfür ist, dass die individuelle Innovationsausgaben-

Entscheidung potentielle positive externe Effekte auf die Wettbewerber außer Acht lässt. Von zentraler Bedeutung ist stets der Marktpreis bzw. Auktionspreis für weitere Vermeidungsleistungen. Die resultierenden Innovationen sind nicht nur ein Gewinn für den Innovator, auch die anderen Marktteilnehmer gewinnen durch die Verbesserung in der Vermeidungstechnologie, sei es durch Adaption der Technik oder durch einen fallenden Preis der Rechte. Deshalb kommen die positiven Wirkungen einer Innovation nicht nur dem Innovator zu gute, sondern auch anderen Teilnehmern, die den Innovator nicht dafür kompensieren müssen. Mit dem fallenden Zertifikatspreis sinkt jedoch der Anreiz für jede weitere Innovation. Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass, Emissionshandelssysteme Innovationen generieren, solange diese ökonomisch sinnvoll sind. Damit grenzen sie sich von den Command-and-Control-Regulierungsinstrumenten ab.

Eine empirische Analyse der induzierten Innovationswirkung ist aufgrund der fehlenden Daten eines existierenden Emissionshandelssystems schwierig. Jedoch kann aus den betrachteten Modellsimulationen eine Aussage zur Stärke und weiteren Entwicklung eines Innovationsanreizes getroffen werden. Hierzu müssen für konkrete Aussagen über die Innovationswirkung stets eine Reihe von situativen Faktoren berücksichtigt werden. Zu diesen Faktoren zählen verschiedene Umweltszenarien, die auf die Innovationsbereitschaft der Teilnehmer rückwirken, wie etwa die Existenz von Marktmacht und damit Einflussnahme auf den Preis, oder auch Beschränkungen des Handels durch die Auflage eigener Vermeidungsanstrengungen. Auch Ausgestaltungsvarianten bezüglich der einmaligen bzw. wiederholten Zuteilung der Emissionsrechte, z. B. über Auktionen oder kostenfreie Zuteilung, bewirken eine Veränderung des Innovationsanreizes. Letztlich wird die Innovationsbereitschaft sogar über die Innovation selbst beeinflusst, nämlich durch das damit verbundene Imitationspotential einer neuen Technologie. Ein hohes Imitationspotential kann Innovationen verhindern, wenn sich die Kosten für den Innovator nicht mehr amortisieren und damit sinnvolle technologische Weiterentwicklungen nicht generiert werden (Trittbrettfahrer-Problem).

Für eine realitätsnahe Betrachtung der Innovationswirkung ist eine Weiterentwicklung der umweltökonomischen Modelle mit endogenisiertem technischen Fortschritts notwendig. Denn oftmals basieren die Modelle stark auf Ad hoc-Annahmen, wodurch eine dynamische Analyse verzerrt werden kann. Die Einführung weiterer endogener Variablen sollte zudem die Abschätzung der Innovationswirkungen weiter verbessern. Gleichzeitig wäre es sinnvoll, neue und alte Annahmen auf ihre Realitätsrelevanz zu überprüfen. Wichtige Aspekte sind hierbei die Einbeziehung von Pfadabhängigkeit und Trägheit, Unsicherheiten bezüglich entscheidender Innovationen, die Unstetigkeit des Technologiewandels sowie die Uneinheitlichkeit im Verhalten der Firmen, welche ihrerseits auch auf Unsicherheit hinsichtlich des Zertifikatspreises zurückzuführen sind.

## 4 Verteilungswirkungen des Emissionshandels

### 4.1 Einleitung

Im Zentrum dieses Teils stehen die positiven bzw. negativen makroökonomischen Verteilungswirkungen des Europäischen Emissionshandels. Ziel der Untersuchung ist es, eine Übersicht über die aktuelle wissenschaftliche Diskussion zu liefern. Die folgenden Untersuchungsmerkmale sollen die vorliegende Analyse strukturieren:

- die unterschiedlichen Dimensionen und Ebenen ökonomischer Verteilungswirkungen des Emissionshandels
- die Unterschiede zwischen den verschiedenen Modellansätzen, die die Verteilungseffekte des Emissionshandels bewerten
- die zu Grunde liegenden Annahmen jener Ansätze und wie sich die entsprechenden Szenarien gestalten
- sowie schließlich die wesentlichen Modellergebnisse und die zu erwartenden Effekte

Kapitel 4.2 erläutert den Begriff der Verteilungswirkung und greift die Frage auf, welche Relevanz Gerechtigkeitsaspekte im Emissionshandel besitzen und wie Emissionsrechte „gerecht“ verteilt werden können. Im Kapitel 4.3 erfolgt die quantitative Untersuchung von Studien, die die Diskussion um die Einführung des Emissionshandels wesentlich geprägt haben: kalkulierte Verteilungswirkungen werden unter dem Blickwinkel der Preisentwicklung verschiedener geografischer und sektoraler Szenarien präsentiert. Das Kapitel 4.4 fasst die Ergebnisse abschließend zusammen. Der Anhang (Kapitel 4.5) bietet einen Überblick über die diskutierten Modelle sowie deren Charakteristika.

### 4.2 Grundsätzlicher Wirkungszusammenhang

#### 4.2.1 Zum Begriff der Verteilungswirkung

Gegenstand der internationalen Klimaverhandlungen ist die Beteiligung der Länder an der Bereitstellung des globalen öffentlichen Gutes Klimaschutz. Verteilungseffekte, sogenannte distributive Effekte, ergeben sich aus der Reaktionsverbundenheit der beteiligten Länder in einer ökonomisch stark verflochtenen Weltwirtschaft. Hier wird laut Schmidt (1997, S. 6) die

eminente Bedeutung der Verteilungswirkung eines Klimaschutz-Abkommens deutlich: Klimaschutz erfordert Änderungen der Produktions- und Konsummuster. Dies führt in einer ökonomischen Perspektive zwischen den beteiligten Ländern zu Wettbewerbs-, Handels-, Wachstums- und Beschäftigungseffekten und damit zu Wohlfahrtsänderungen. Diese ökonomischen Effekte können sich zwischen Regionen und Sektoren unterschiedlich verteilen.

Mit Hilfe vereinfachter, modellhafter Abbildungen des realen energie- oder gesamtwirtschaftlichen Systems können die Kosten von Klimaschutzmaßnahmen auf Landes- und Sektorenebene abgeschätzt werden. So können auch die makroökonomischen Verteilungseffekte des Europäischen Emissionshandelsystems (EU-ETS) kalkuliert werden. Die vorliegende Untersuchung unterscheidet entsprechend folgende Arten dieser Effekte:

- Internationale Verteilungswirkungen und Gerechtigkeit  
Folgende Ländergruppen werden hier in der Regel gegenübergestellt: Industrieländer (z.B. USA und Europa), Transformationsländer sowie Schwellen- und Entwicklungsländer
- Sektorale Verteilungswirkungen – national und international

In der Literatur lassen sich hierzu zwei Diskussionslinien unterscheiden, einerseits die Diskussionslinie um internationale Gerechtigkeit im Klimaschutz (4.2.2), andererseits die Diskussionslinie um die Verteilungswirkung von Ausgestaltungselementen in Emissionshandelsystemen (4.2.3).

#### 4.2.2 Equity – Gerechtigkeit im Klimaschutz

Die Verteilungswirkungen eines Emissionshandelsystems sind nicht nur von den sektor- und energiespezifischen Emissionen der Mitgliedsländer bzw. Unternehmen abhängig. Ähnlich wie die Ausgestaltung des Kyoto-Protokolls im Rahmen der Klimarahmenkonvention (UNFCCC), wird auch der Emissionshandel stark von der Debatte um den Begriff „Gerechtigkeit“ („Equity“) begleitet. Die UNFCCC führt das Prinzip der Gerechtigkeit als ein zentrales Element an (Artikel 3):

*„The Parties should protect the climate system for the benefit of present and future generations of humankind, on the basis of equity and in accordance with their common but differentiated responsibilities and respective capabilities. Accordingly the developed country Parties should take the lead in combating climate change and the adverse effects thereof.“*

In der ökonomischen Theorie ist der Emissionshandel ein Instrument, um Kosteneffizienz der Emissionsvermeidung zu erreichen, d. h. Vermeidungskosten („abatement costs“) zu minimieren. Die Energie- und Emissionsstrukturen der EU-Mitgliedsstaaten sind jedoch höchst unterschiedlich – sei es hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Produktionsaktivitäten, bei denen die Treibhausgase emittiert werden, ihrer Ressourceneffizienz, ihrer Reduktionskosten oder

ihrer Abhängigkeit bzw. ihrem Zugang zu Energieressourcen (Kohle, Öl, etc.). Die daraus resultierenden unterschiedlichen Verteilungswirkungen von Emissionshandelssystemen stehen daher eng in Verbindung mit globalen Prinzipien der Gerechtigkeit (vgl. Ott/Sachs 2002).

Diese Diskussion fokussiert die Frage, in welcher Weise „faire“ und „gerechte“ Allokationen von Emissionsrechten weltweit erreicht werden können – und obwohl das Kyoto-Protokoll eine Implementierung von Emissionshandelssystemen in den Industrieländern vorschlägt, haben verschiedene Autoren die ökonomischen Konsequenzen und Effizienzpotentiale eines weltweiten Emissionshandelssystems herausgearbeitet. In diesem Zusammenhang hat es sich (fast) zu einem Konsens herausgebildet, dass insbesondere sog. Entwicklungsländer von einem derartigen weltweiten System profitieren könnten, abhängig von bestimmten Designs und Rahmenbedingungen der Ausgestaltung des Systems. Auf der anderen Seite könnten auch die Industrienationen kosteneffizient Reduktionsmaßnahmen in einem globalisierten Emissionshandelssystem realisieren (vgl. z.B. Leimbach 2004; Kemfert 2001).

Weitere Fragen stellen sich in diesem Zusammenhang, denn: Die Architektur eines Emissionshandelssystems basiert bisher auf gegenseitig vereinbarten Reduktionszielen. Die gemeinsame Reduktionsverpflichtung der Europäischen Union von 8% im Rahmen des Kyoto-Protokolls in der ersten Verpflichtungsperiode (2008-2012) definiert somit die Gesamtmenge zulässiger Emissionen, die für den Handel verfügbar sind. Ist diese Zuweisung auch in einer globalen Perspektive gerecht? Und wie kann die Lastenverteilung in der EU („burden sharing“) und weltweit gerecht unter den Nationen ausgestaltet werden? Wie kann eine gerechte Verteilung von Emissionszertifikaten, von Rechten am Gemeingut Klimaschutz, erfolgen? Neben der nationalstaatlichen Ebene stellt sich in der „Klimagerechtigkeit“ darüber hinaus die Frage der Gerechtigkeit zwischen den Generationen (intergenerationelle Gerechtigkeit) sowie zwischen den heute lebenden Menschen und zukünftigen Generationen (intragenerationelle Gerechtigkeit) und der jedes einzelnen Bürgers (vgl. Brouns 2004). Aber auch die wirtschaftliche Vertretbarkeit und Gleichbehandlung aller Anlagenbetreiber einerseits und die Praktikabilität und EU-weite Kompatibilität andererseits sind für ein geeignetes Zuteilungsverfahren relevant (vgl. Lucht 2005, S. 21).

#### 4.2.3 Wie werden Emissionsrechte gerecht verteilt?

Eine andere Ebene der Verteilungswirkungen eines geografisch begrenzten Systems, wie das EU-Emissionshandelssystem, liegt in verschiedenen Designalternativen begründet. Unabhängig vom Modus der Erstallokation stellen sich z.B. folgende Fragen der Verteilungsgerechtigkeit:

- Wie werden Vorleistungen in Emissionsreduktionen anerkannt?
- Wie wird bei Modernisierungen bestehender Anlagen mit den Zertifikatebeständen der alten Anlage verfahren („Übertragungsregelung“)?

- Wie hoch sollen die Reserven der nationalen Zertifikatmenge für potentielle *newcomer* sein?
- Wie wird mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) verfahren, etc.?

Und auf nationaler Ebene:

- Wie werden im Rahmen einer nationalen Implementierung zwischenstaatliche Verteilungsgerechtigkeiten ausgeräumt (Beispiel: in Deutschland kann ein 400MW Kohlekraftwerk über eine andere Anzahl von Emissionszertifikaten verfügen als etwa in Frankreich)?

Eine zentrale Fragestellung für das Design eines Emissionshandelssystems ist die Frage der sogenannten Erstallokation: In welchem Verfahren werden die Emissionsberechtigungen vergeben? Die Literatur hebt unter grundsätzlich verschiedenen Wegen der Zuteilung von Emissionsrechten (kostenpflichtig oder kostenfrei) insbesondere drei Zuteilungsverfahren hervor: *Grandfathering*, *Benchmarking* und *Auktionierung*.

Die Zuteilung der Emissionen mittels „Grandfathering“-Verfahren wird von historischen Emissionsniveaus abgeleitet, d. h. es werden so viele Rechte zugewiesen, wie in einem vergangenen Basisjahr oder Basiszeitraum ausgestoßen wurden. Spezifische Emissionsintensitäten einer Anlage bleiben bei diesem Verfahren außer Acht. Die Erstallokation für die erste Handelsperiode des EU-ETS basiert zunächst auf dem Grandfathering-Ansatz. Beispiel: die europäische Emissionshandelsrichtlinie sieht vor, dass den betroffenen Anlagen im Zeitraum der ersten Zuteilungsperiode 2005–2008 mindestens 95% und ab 2008 mindestens 90% der Berechtigungen kostenlos zugeteilt werden. Hierdurch soll zunächst der Bestandschutz und eine leichtere administrative Umsetzung gewährleistet werden.

Ein weiterer Modus der Erstallokation, das „Benchmarking“, orientiert sich an Produkt- bzw. Produktgruppen bezogenen Richtwerten. Bei diesem Verfahren wird eine Anlage an einem Richtwert in Tonnen CO<sub>2</sub> pro Produkt(gruppen)einheit gemessen. Auf diese Weise erhalten zwei Anlagen, in denen vergleichbare Produkte in gleicher Menge hergestellt werden, zwar die gleiche Menge an Zertifikaten. Allerdings entsteht dem Betreiber der Anlage ein wirtschaftlicher Vorteil, der eine geringere Menge an CO<sub>2</sub> bei der Herstellung der gleichen Produktmenge emittiert.

Eine Alternative zur kostenlosen Vergabe, die Auktion, d. h. die Versteigerung der Zertifikate an die Marktteilnehmer, fand auf EU-Ebene keine politische Mehrheit. Die verabschiedete Richtlinie sieht allerdings vor, dass in der Testphase 5 Prozent und ab 2008 10 Prozent der Berechtigungen versteigert werden können.

Auch in globaler Perspektive sind die Modi der Erstallokation von zentraler Bedeutung, denn: Unter dem Gesichtspunkt der Gerechtigkeit bergen die vorgestellten Prinzipien der Erstallokation mögliche Konfliktpotentiale nicht nur für die Erstallokation der beteiligten Staaten und Sektoren. So erfolgt z.B. „Grandfathering“ nach dem Muster „*right of first-in-time*“ und kon-

stituiert gleichzeitig eine Art Gewohnheitsrecht derzeitiger Emissionsniveaus auch für die Zukunft. Aus Perspektive von China, Indien oder eines anderen Entwicklungslandes wird dieses System im Falle einer globalen Ausweitung allerdings kaum als gerecht bewertet, da dieses System den Status quo der einzelnen Länder fixiert und die Relationen im Emissionsaufkommen zwischen den Ländern bewahren würde. Darüber hinaus liefe dieses Prinzip zum einen konträr zu der ausdrücklich anerkannten Emissionssteigerung der Entwicklungsländer zu Gunsten einer sozialen und wirtschaftlichen Entwicklung. Zum anderen würden die Industrieländer der ausgewiesenen Vorreiterrolle laut Klimarahmenkonvention auf diesem Wege kaum gerecht werden. Um die Prinzipien „Gleichheit“ und „Fairness“ als moralischen Handlungsleitfaden in das zukünftige Klimaregime – und ein mögliches weltweites Emissionshandelsystem – zu implementieren, schlussfolgern Ott und Sachs (2002, S. 168), daher: „long-term emissions allowances based on the principle of equal rights per capita will have to be allocated to each country.“ Quantitative Untersuchungen

Wie können die Kosten von Klimaschutzmaßnahmen, speziell des Emissionshandels, abgeschätzt werden, um die Ziele des Kyoto Protokolls zu erreichen? Wie kann die Größe eines durch den Europäischen Emissionshandel entstehenden Zertifikatemarktes ermessen werden, wie die Zertifikatpreise?

Mit der Diskussion und konkreten Verabschiedung der EU-Emissionshandelsrichtlinie im Oktober 2003 wurde eine Vielzahl ökonomischer Modellierungen durchgeführt, um die Effekte des Emissionshandels auf Europäischer Ebene zu bewerten.

### 4.3 Numerische Simulationen

Jedes Klimaabkommen, das den Ausstoß von CO<sub>2</sub>-Emissionen mittels politisch festgelegter Emissionsrechte reguliert, belastet die Länder, Sektoren und Unternehmen unterschiedlich stark. Welche Verteilungswirkungen, insbesondere bezüglich der Vermeidungskosten, ruft der Europäische Emissionshandel also hervor? Wer wird von diesem Instrument des Klimaschutzes profitieren, wer wird benachteiligt sein?

Vor diesem theoretischen Hintergrund werden Studien vorgestellt, die die makroökonomischen Auswirkungen des Emissionshandels behandeln. Die differenzierte Auswahl unterschiedlicher Modelle soll eine aussagekräftige Gegenüberstellung der Ergebnisse gewährleisten. Er wird darauf verzichtet, die Modelle im Einzelnen detailliert vorzustellen. (vgl. Übersicht in Kapitel 4.5). Vielmehr werden die Ergebnisse nach bestimmten Kategorien zusammengefasst: Nach einer geografisch differenzierten Betrachtung für Industrie- und Transformationsländer sowie einer Ausweitung des Zertifikatehandels auf globale Ebene folgen Ausführungen zu Sektoren sowie zur Preisentwicklung. Abschließend wird ein Überblick über die Untersuchungsergebnisse gegeben.

Studie	Untersuchungsgegenstand	Szenario	Ergebnisse
<b>POLES (IPTS 2000)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantifizierung möglicher Auswirkungen des EU-weiten Handels mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten</li> <li>Mittels einfacher, aggregierter Untersuchungen</li> </ul>	EU-weiter Emissionshandel wird mit der Situation verglichen, in der Mitgliedsstaaten an keinem internationalen Handelssystem teilnehmen	Alle beteiligten Länder gewinnen durch das EU-Emissionshandelssystem
<b>PRIMES (Capros und Mantzos 2000)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse alternativer Emissionshandelssysteme innerhalb der EU</li> <li>Intra- und intersektorale Handelssysteme unter den Mitgliedsstaaten</li> </ul>	Studie baut auf dem EU-burden sharing auf und illustriert, wie das EU-EHS dieses beeinflusst	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studie zeigt beträchtliche ökonomische Gewinne durch den EU-Emissionshandel</li> <li>Die Ausweitung des Handelssystems für jeden neuen Teilnehmer führt zu geringeren Kosten, dies wiederum bringt einen Anstieg der Wohlfahrt mit sich</li> </ul>
<b>SIMET (Matthes et al. 2003)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analyse verschiedener Varianten der Erstallokation hinsichtlich ihrer sektoralen Auswirkungen in Deutschland</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modell sieht 25 verschiedene Varianten der Primärallokation vor</li> <li>Baseline-Entwicklung bildet Projektionen der zukünftigen Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2010</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emissionshandel errechnet Kostenvorteile von mehreren hundert Mio. Euro (Bandbreite von 230 bis 545 Mio. Euro)</li> <li>Deutschland erweist sich nur unter bestimmten Bedingungen als Nettoverkäufer</li> <li>Gewinne unter den Sektoren: abhängig von der Erstallokation Kostenvorteile für die meisten Branchen</li> </ul>
<b>WIAGEM (Kempf 2004)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bestimmung langfristiger ökonomischer Auswirkungen des Klimawandels und der Klimapolitik auf globaler Ebene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simulation regionaler Kosten eines globalen Emissionshandels im Kyoto-Zeitraum 2008-2012</li> </ul> Simulationen mit zwei Schwerpunkten: <ul style="list-style-type: none"> <li>Varianten mit und ohne Beteiligung der USA und Russlands, ebenso mit und ohne Zertifikatehandel für die wichtigsten Weltregionen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emissionsvermeidung führt zu globalen Kosten von ca. 730 Mrd. Euro im Verpflichtungszeitraum 2008 bis 2012 (bei ausschließlicher CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung)</li> </ul>
<b>WAGEM (Kempf 2001)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ökonomische Effekte, hervorgerufen durch Kyoto-Mechanismen</li> <li>Fokussiert speziell die Auswirkungen eines weltweiten Zertifikatehandel, basierend auf Equity-Prinzipien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 Baseline-Szenarien: Kyoto-Reduktionsziele und 25%-Reduktionsziel für alle Annex I-Länder bis 2010</li> <li>Equity-Szenarien integrieren Entwicklungsländer in das Handelssystem durch Zertifikatzuteilungen oder Festlegung von Reduktionszielen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Globaler Emissionshandel steigert die ökonomische Wohlfahrt global, mit Schwerpunkt in den Entwicklungsländern (Ökonomische Implikationen durch die Implementierung der Kyoto-Reduktionsziele variieren erheblich mit den angewendeten Equity-Kriterien)</li> <li>Globaler Zertifikatehandel verringert die Vermeidungskosten der Annex I-Länder enorm</li> </ul>
<b>DART (Klepper und Peterson 2004)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Auswirkungen alternativer Allokationspläne des EU-ETS auf die Zertifikatpreise, den Zertifikatehandel und Wettbewerbseffekte unter den Mitgliedsstaaten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simulation des EU-ETS unter drei verschiedenen ausgestalteten Allokationsplänen</li> <li>Auswirkungen auf den Zertifikatehandel unter den Mitgliedsstaaten; Zertifikatpreise</li> <li>Kosteneinsparungen und Wettbewerbseffekte</li> <li>Rolle der Beitrittsländer im EU-ETS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>EU-Beitrittsstaaten sind die einzigen Staaten, die Emissionsrechte verkaufen werden</li> <li>Alle Sektoren profitieren vom EH – nicht nur begrenzt auf die Sektoren im EHS</li> </ul>

Tabelle 2: Modellergebnisse von Studien zu Verteilungswirkungen des Emissionshandels

### 4.3.1 Geografische Betrachtung des EU-Emissionshandels

#### 4.3.1.1 Industrieländer

Das Energiesystemmodell POLES (IPTS 2000) untersucht sechs Regionen/Länder in der EU: Deutschland, Frankreich, Italien und Großbritannien sowie den Rest der Süd- und der Nord-EU. Das Bottom-up Modell vergleicht den EU-weiten Handel mit einem Referenzszenario (2010-Baseline), in dem die Länder keinerlei Anstrengungen an Emissions-Reduzierungsmaßnahmen unternehmen. Deutschland erweist sich im Szenario der Einführung des Emissionshandels als größter Netto-Verkäufer von Emissionszertifikaten, und somit als Nutznießer. Die anhaltende Abhängigkeit von fossilen Energieträgern und die relativ geringen Energiepreise begünstigen beachtliche Preisnachlässe, die zu starken Reduzierungen mäßiger Kohlenstoffpreise führen und ein Export-Plus erlauben. Auch Großbritannien erweist sich als ein Netto-Verkäufer, allerdings in einem geringeren Maß. In Folge des EU-weiten Zertifikatehandels ergeben sich für Großbritannien allerdings nur geringe Verbesserungen der allgemeinen Vermeidungskosten. Frankreich bleibt weitgehend unberührt.

Der Rest der „EU Süd“, mit Spanien, Portugal und Griechenland, profitiert ebenso vom EU-ETS als Netto-Verkäufer von Emissionszertifikaten. Bei errechneten 8 Prozent geringeren Emissionen als das Soll des EU-burden sharing setzen diese Länder bis zu 36 Mio. t CO<sub>2</sub> zum Emissionshandel frei. Die allgemeinen Vermeidungskosten dieser Region sind mit 0,02 Prozent des BIP zudem um ein Drittel geringer, im Vergleich zu einer Situation ohne Handel.

Die Region der „EU Nord“ (Österreich, Belgien, Dänemark, Finnland, Irland, Luxemburg, Niederlande und Schweden) gilt als Hauptkäufer. Die Menge entspricht nahezu allen Verkäufen aus Deutschland und Großbritannien. Nach wie vor führt diese Region die höchsten Einhaltungskosten mit fast 0,5 Prozent des BIP auf, verglichen mit dem EU-Durchschnitt von 0,15 Prozent. Diese Ländergruppe erweist sich laut Modellrechnung darüber hinaus für mehr als 55% des totalen Kostenzugewinns in der EU für die Einführung des Zertifikatehandels verantwortlich.

Laut der Ergebnisse des POLES-Modell gewinnen hochgerechnet alle beteiligten Länder durch die Einführung des Europäischen Zertifikatehandels, allen voran Deutschland und Großbritannien. In einigen Fällen fallen diese Gewinne in geringerem Maße aus, da das Handelsvolumen sehr gering ist. Die Vermeidungskosten der EU insgesamt belaufen sich auf 0,05 Prozent des geschätzten EU BIP des Jahres 2010, äquivalent zu einer Kostenreduktion von 25 Prozent der EU-Gemeinkosten gegenüber einer Emissionshandels-freien EU.

Im PRIMES-Modell untersuchen Capros und Mantzos (2000) im Auftrag der Europäischen Kommission die ökonomische Bedeutung und die verschiedenen Möglichkeiten der Ausgestaltung eines EU-weiten Emissionshandels. In dem Bottom-up Modell werden intra- und intersektorale Handelssysteme unter den Mitgliedsstaaten analysiert und die Belastungen bzw.

Gewinne des Energiesystems abgebildet. Die Simulation eines partiellen Marktgleichgewichts für den Energiesektor kann jedoch keine Gesamtwohlfahrtseffekte darstellen. Die Berechnungen führen bis ins Jahr 2010 und werden mittels dem Baseline-Szenario (keine Emissionsreduktionsziele sowie Umsetzung weiterer energiepolitischer Maßnahmen) und dem Referenzszenario (Implementierung der Kyoto-Ziele durch individuelle Maßnahmen in den einzelnen EU-Staaten) mit vier weiteren Szenarien verglichen:

1. EU-weites System nur zwischen Energieversorgern.
2. EU-weites System unter Einbeziehung von Energieversorgern sowie energieintensiven Branchen.
3. EU-weites System unter Einbeziehung aller Sektoren und Branchen.
4. Internationales System innerhalb aller Annex I-Staaten unter Einbindung aller Sektoren.

Wenngleich alle Varianten auf die Einbindung weiterer flexibler Instrumente des Kyoto-Protokolls (JI und CDM) verzichten, so entspricht die Alternative 2 der aktuellen EU-Richtlinie am ehesten. Unter diesem Szenario erreicht Deutschland einen Nettogewinn von 14 Mio. Euro im Vergleich zum Referenzfall. Auf dem europäischen Markt tritt Deutschland demnach als Nettoverkäufer von Emissionsrechten auf.

Nach den PRIMES-Modellierungen ergeben sich für ein EU-weites und Annex B-Handelssystem folgende Länder-Gruppierungen als Nettokäufer und -Verkäufer: Unter den EU-Staaten treten Belgien, Finnland und Niederlande die höchsten Vermeidungskosten als Netto-Käufer auf. Im Gegensatz dazu erweisen sich Frankreich und Deutschland mit den geringsten Vermeidungskosten als Netto-Verkäufer von Emissionszertifikaten. Deutschland profitiert in einem EU-weiten Zertifikatehandel unter Einbindung der Energieversorger und energieintensiven Branchen mit einem Nettogewinn von 14 Mio Euro. Deutschland dominiert somit den europäischen Markt, tritt jedoch in einem Handelssystem zwischen Annex I-Staaten nicht als Nettoverkäufer auf, da ein geringer Marktpreis vorherrschen würde.

Eine Ausweitung des EU-Handelsystems auf alle Annex B Länder (vgl. Szenario 3) würde sich nach den Modellierungsergebnissen weitaus kosteneffizienter darstellen als ein auf die EU begrenztes System. Die Zunahmen beliefen sich für 2010 auf 1320 Mio. Euro, im Vergleich zu einem Handelssystem innerhalb der bloßen EU-Staaten. Die totalen Einhaltungskosten beliefen sich 2010 in einem ausgeweiteten Annex B Handelssystem auf 4390 Mio. Euro oder 48.6% geringer als im Referenzszenario, in welchem jeder Mitgliedsstaat die Kyoto-Ziele durch individuelle Maßnahmen implementiert.

Im Allgemeinen wird resümiert, dass die Ausweitung des Handelssystems für jeden neuen Teilnehmer zu geringeren Kosten führt, welches wiederum einen Anstieg der Wohlfahrt mit sich bringt. Die Studie zeigt deutlich beträchtliche ökonomische Gewinne durch den EU-Zertifikatehandel, mit Deutschland als dominierenden Marktteilnehmer in Europa. Eine schrittweise Implementierung des EU-ETS erscheint ökonomisch attraktiv – vorausgesetzt,

der Emissionshandel startet mit jenen Mitgliedsstaaten und Sektoren, die am meisten von der Teilnahme profitieren.

Ähnlich wie die vorhergehenden Berechnungen leisteten auch die Modellanalysen von Mattes et al. (2003) einen zentralen Diskussionsbeitrag zum Entwurf der EU-Emissionshandelsrichtlinie. Im Auftrag des WWF Deutschland untersuchte die Arbeitsgemeinschaft Öko-Institut, das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin) und ECOFYS GmbH relevante Bestimmungsgrößen für die Verteilungswirkungen der Allokation von Emissionsrechten für verschiedene Sektoren in Deutschland. Das eigens entwickelte Modell SIMET (Simulation von ET-Systemen) leistet insbesondere: Abschätzungen der sektoralen Kostenbelastungen in Abhängigkeit von der Anfangsverteilung der Emissionsrechte in Deutschland und dem Zertifikatspreis, sowie CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale und Emissionsprojektionen. Der technologieorientierte Bottom-up Ansatz des SIMET-Modells integriert alle Sektoren, die auch der Richtlinienentwurf der EU umfasst. Variabel fließen die Vermeidungskosten der verschiedenen Branchen in das Modell ein. Der Zertifikatspreis im SIMET-Modell ist eine exogen vorgegebene Größe, die zu Simulationsbeginn eingegeben wird. Alle Modellkalkulationen beziehen sich auf das Jahr 2010, welches repräsentativ für die erste Verpflichtungsperiode 2008 bis 2012 steht.

Die Ergebnisse der SIMET-Modellierungen sind als grobe Anhaltswerte zu verstehen, da eine Vielfalt von Ausgestaltungsmöglichkeiten weiterer Instrumente existiert. Dennoch zeigt sich eine signifikante Tendenz hinsichtlich der Kostenvorteile des Instruments Emissionshandel in einer Größenordnung von 230 bis 545 Mio. Euro. Für Deutschland errechnet die Studie keinen automatischen Netto-Gewinn auf dem Europäischen Zertifikatsmarkt. Diese Situation würde sich nur unter folgenden Alternativen einstellen: vergleichsweise hohe Zertifikatspreise, geringe Kosten der Vermeidungspotenziale in Deutschland oder die Entwicklung der Emissionen läge im *business-as-usual*-Szenario (BAU) am unteren Maß der erwarteten Bandbreite.

Wie sich alternative Allokationspläne des EU-ETS auf die Zertifikatspreise, den Zertifikatshandel und die Wettbewerbseffekte unter den Mitgliedsstaaten auswirken untersucht das DART-Modell in einem Top-down Ansatz (Klepper und Peterson 2004). Neben den möglichen Wohlfahrtseffekten alternativer Allokationspläne steht die Rolle der neuen Beitrittsländer in das Europäische Handelssystem im Vordergrund. Entsprechend ist das dynamische multi-Regionen und multi-Sektoren-Modell der Weltwirtschaft auf die vergrößerte EU ausgerichtet, in einem Zusammenschluss von 16 Regionen: 9 EU-Ländergruppen, inkl. der Beitrittsländer<sup>15</sup>, und 7 weiteren globalen Staatengruppen. Die Simulationsergebnisse des DART-Modells beziehen sich auf das Jahr 2012, in dem der Europäische Emissionshandel voll in Kraft getreten ist und die Kyoto-Ziele nach dem EU-burden sharing-Übereinkommen erfüllt werden müssen.

---

<sup>15</sup> Seit Mai 2004 zählen die Länder Polen, Malta, Slowenien, Slowakei, Tschechien, Zypern, Ungarn sowie die drei Baltischen Staaten Estland, Lettland und Litauen zu den offiziell neuen Mitgliedern der Europäischen Union. Für Bulgarien und Rumänien ist der Beitritt im Jahre 2007 vorgesehen, dem Beginn der zweiten Handelsperiode des EU-EHS.

Die Handelsstrukturen ohne diese beitretenden Staaten zeigen nach den DART-Simulationen das folgende Bild. Ohne die preiswerten Optionen dieser Länder würde die EU-15 als Exporteur auftreten, mit Deutschland und den südlichen Ländern (außer Italien) als Hauptexporteur. Die Benelux-Länder hingegen wären die größte Importgruppe. Dieses limitierte Handelsregime der EU-15 würde die Grenzvermeidungskosten von durchschnittlich 23 Euro/ t CO<sub>2</sub> auf 21 Euro/ t CO<sub>2</sub> verringern. Im Gegensatz dazu läge der Zertifikatspreis im vollständigen Handelsregime (inkl. der neuen Beitrittsländer) bei lediglich 11 Euro/ t CO<sub>2</sub>. Dies belegt die erheblichen Kostensenkungspotenziale durch die Einbindung der neuen Beitrittsländer in den Emissionshandel.

Mit Ausnahme von Frankreich und den südlichen EU-Staaten (außer Italien) profitieren alle Länder durch den Import von Zertifikaten, im Vergleich zu einem Nicht-Handels-Szenario. Die größten Gewinne des Emissionshandels erfahren die Benelux-Länder sowie Österreich und Irland. Im Gegensatz dazu erfährt Frankreich keine Gewinne durch den Zertifikatehandel, da Frankreich aufgrund der geringen Emissionsintensität des Stromsektors nur geringe Emissionsmengen handelt. Deutschland hingegen kann z. B. eine Minderung der Wohlfahrtskosten von 1,2 auf 1,0% verzeichnen. Eine Sonderstellung nehmen hier die neuen Beitrittsländer ein: Obgleich diese Länder keine Emissionen reduzieren müssen und Zertifikate verkaufen können, erleiden sie einen Verlust an Wohlfahrt. Der Ertrag durch den Export der CO<sub>2</sub>-Zertifikate wird durch entstehende Kosten aufgrund des Beitritts in das EHS geschmälert. Dies wiederum mindert ihre Wettbewerbsfähigkeit und zeigt sich in den Simulationen in geringeren Produktions- und Exportraten hauptsächlich im energieintensiven Eisen-, Metall- und Stahlsektor; Bereiche, die ursprünglich einen Wettbewerbsvorteil auf dem Markt vorweisen konnten.

Anders als die Szenarien der bisher vorgestellten Modelle simuliert das WIAGEM-Modell (Kemfert 2004) volkswirtschaftliche Ereignisse über einen Zeithorizont von 100 Jahren (bis 2100) in einem globalen Rahmen. Hier werden Simulationen ausgeführt, die einer möglichen Ausweitung des Emissionshandels weltweit Rechnung tragen. WIAGEM basiert auf 25 Weltregionen, die mit jeweils 14 Sektoren zu 11 Handelsregionen zusammengefasst sind. Mittels eines Integrated Assessment Modells werden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen verschiedener Regionen quantifiziert. Afrika, Asien, Europa, Japan, Lateinamerika, Mittlerer Osten und USA werden in diesem Ökonomiemodell, das mit einem Klima- und Ökosystemmodell gekoppelt ist, untersucht.

Die Untersuchungsergebnisse konzentrieren sich stark auf die Frage der Beteiligung bzw. Nichtbeteiligung Russlands und der USA an einem globalen Emissionshandelssystem über das bestehende Europäische Handelssystem hinaus. Für ausgewählte Industrieländer ergeben sich folgende Ergebnisse: Im Zuge eines EU-weiten Emissionshandels würde Deutschland mit Kosten von 24 Mrd. US\$ belastet. Eine Beteiligung Russlands bei Nichtbeteiligung der USA würde diese Kosten um 15 Mrd. US\$ senken. Europa müsste insgesamt eine Summe von 91,84 Mrd. US\$ aufwenden, Japan hingegen lediglich 16,88 Mrd. US\$. In beiden Fällen fielen die Kosten bei einer Nichtbeteiligung der USA geringer aus. Die USA würden in einem globalen Zertifikatehandel von CO<sub>2</sub>-Emissionen mit einer Aufwendung von 92,68 Mrd. US\$ belastet.

#### 4.3.1.2 Transformationsländer

Grundsätzlich beeinflusst der Beitritt der neuen Länder in das EU-ETS die Kosten, das Europäische Kyoto-Ziel zu erreichen, auf zweierlei Weise: Zum einen ist Osteuropa durch wesentlich günstigere Vermeidungskosten gekennzeichnet als sie in der derzeitigen EU vorherrschen. Zum anderen liegen die Emissionen osteuropäischer Länder aktuell aufgrund der ökonomischen Rezession und des starken Emissionsrückgangs in den 90er Jahren unterhalb des Kyoto-Ziels. Ein Verkauf dieser überschüssigen Emissionszertifikate, so genannte „hot air“, in das Europäische Handelssystem senkt die Zertifikatpreise weiterhin sowie auch die ökonomischen Kosten im westlichen Europa (vgl. Klepper/Peterson 2004, S. 6).

Das global ausgerichtete WIAGEM-Modell widmet sich explizit der Frage, wie sich eine Beteiligung Russlands am Emissionshandel ökonomisch niederschlagen würde. Laut Kemfert (2004) könnte Russland durch die Teilnahme am Zertifikatehandel Emissionsrechte durch seine hohen „hot air“-Anteile verkaufen. Dies würde zu erheblichen Einnahmen von bis zu 20 Milliarden US\$ in der ersten Kyoto-Verpflichtungsperiode (2008-2012) führen. Eine Beteiligung der USA am Emissionsrechtehandel würde Russland sogar noch höhere Erlöse garantieren, da diese Großteile der Emissionsrechte nachfragen würden.

Im Vergleich eines Handel- versus Nicht-Handel-Szenarios demonstriert das WAGEM-Modell, dass alle Länder von einem Annex B-Handelsregime profitieren können, insbesondere die Transformationsländer aufgrund des „hot air“-Effekts. Russland und andere osteuropäische Staaten würden zudem aufgrund ihrer nicht bindenden Reduktionsvereinbarungen als Hauptverkäufer von Emissionszertifikaten auftreten.

Das DART-Modell zeichnet für das Szenario, die Beitrittsländer in das EU Handelssystem zu integrieren, ein ähnlich einseitiges Ergebnis: Die Beitrittsländer werden allen anderen Mitgliedsstaaten Zertifikate verkaufen. Allein die neuen Beitrittsländer werden also als Exporteure auftreten, sogar ohne den Einbezug der „hot air“ in den Simulationen. Dies ist gleichzeitig das auffälligste Ergebnis der DART-Modellierungen und spiegelt sich auch in den unterschiedlichen Preisen für die Zertifikate wider (vgl. 4.4).

#### 4.3.1.3 Ein globaler Emissionshandel

Stellvertretend für Studien, die Auswirkungen eines globalen Emissionshandels zu untersuchen und Gleichheitsprinzipien in die Klimaschutz-Debatte zu integrieren, steht das WAGEM-Modell (Kemfert 2001). Das Gleichgewichtsmodell umfasst 11 globale und multi-regionale Wirtschaftsregionen und untersucht ökonomische Effekte, hervorgerufen durch Kyoto-Mechanismen. Die Auswirkungen eines möglichen weltweiten Zertifikatehandels auf Weltwirtschaftsbeziehungen, basierend auf Equity-Prinzipien, werden mittels verschiedener Optionen der globalen Allokation sowie der Verteilungen von Einnahmen verglichen. Hierzu dienen zwei Baseline-Szenarien (Kyoto-Reduktionsziele sowie 25 Prozent-Reduktionsziel für alle Annex I-Länder bis 2010) sowie ein BAU-Szenario, in dem die globale Entwicklung ohne zusätzliche Reduktionsoptionen untersucht wird. Die Equity-Szenarien des Modells sehen

eine Einbindung der Entwicklungsländer in das Handelssystem durch Zertifikatzuteilungen einerseits oder die Festlegung von Reduktionszielen andererseits vor. Allgemein lassen die Kalkulationen des WAGEM-Modells die Schlussfolgerung zu, dass ein globaler Emissionshandel die ökonomische Wohlfahrt weltweit steigert, speziell in den Entwicklungsländern. Zudem variieren die ökonomischen Implikationen durch die Implementierung der Kyoto-Reduktionsziele erheblich mit den angewandten Equity-Kriterien.

Ein globaler Zertifikatehandel verringert nach den Ergebnissen des WAGEM-Modells die Vermeidungskosten der Annex I-Länder enorm. Durch einen Handel der Annex B-Länder würden die Länder mit hohen Emissionsreduktionszielen und hohen nationalen Vermeidungskosten, wie Japan oder die USA, klar profitieren. Insbesondere die USA und EU 15 würden Zertifikate aufgrund ihrer hohen Beiträge der totalen CO<sub>2</sub>-Emissionen in einem vollständigen Handelsszenario handeln.

Ein weltweiter Handel mit Emissionsrechten könnte nach den Kalkulationen der WIAGEM-Szenarien zu globalen Kosten der Emissionsvermeidung von 730 Mrd. Euro in der ersten Verpflichtungsperiode 2008 bis 2012 führen, bei ausschließlicher CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung.

Eine gesonderte, wenn auch kurze Betrachtung, soll der Situation in den Entwicklungs- und Schwellenländern zukommen, die durch eine geografische Ausweitung des EU-ETS auf einen globalen Markt ebenfalls betroffen wären. Das WIAGEM-Modell erlaubt in seinen Simulationen Prognosen über die Kosten der Entwicklungs- und Schwellenländer hinsichtlich einer Beteiligung am Emissionsrechtehandel. Nach den Berechnungen hätte Lateinamerika in dem Zertifikatehandel grob 1 Mrd. US\$ aufzuwenden, im Vergleich zu Asien mit über 15 Mrd. US\$, China mit 3.7 Mrd. US\$ und Afrika mit 0.20 Mrd. US\$. Der Mittlere Osten würde mit mehr als 150 Mrd. US\$ die höchsten Beteiligungskosten verzeichnen.

Im Falle eines globalen Emissionshandels würden die Entwicklungsländer laut WAGEM-Modell signifikant profitieren – sofern die Erсталlokation der Zertifikate auf „per capita Kriterien“ basieren würde. Unter reinen Equity-Gesichtspunkten ist die Allokation per „pro Kopf Kriterien“ laut Kemfert (2001, S. 17) daher zu favorisieren.

#### 4.3.2 Sektorale Betrachtung des Emissionshandels

Neben den geografisch differenzierten Simulationsergebnissen lassen die Modelle auch Aussagen zu der Kostenverteilung zwischen den verschiedenen Sektoren innerhalb der Mitgliedsstaaten zu.

Das PRIMES-Modell nimmt eine detaillierte sektorale Untersuchung des EU-Emissionshandelsystems vor. Im Falle einer Integration lediglich der Energieanbieter in das Handelssystem beliefen sich die Einhaltungskosten auf geringere 7,2 Milliarden Euro mit einer Ersparnis von 1,8 Milliarden Euro jährlich für die EU-Mitgliedsstaaten (dies entspräche 28 M t CO<sub>2</sub>-Handel innerhalb der EU) – im Vergleich zu den Einzelkosten der Staaten unter

dem EU burden-sharing bis 2010. Die Strom- und Gasanbieter in Österreich, Deutschland, Frankreich, Spanien und Großbritannien würden Nettoverkäufer von Emissionszertifikaten werden, während die Betreiber in den restlichen Mitgliedsstaaten Nettokäufer wären. Ein weiteres interessantes Ergebnis dieser Kalkulation zeigt sich in folgendem Vergleich: Die Zertifikatpreise, die für das partielle Handelssystem geschätzt werden und die Sektoren der Energieanbieter unter den EU-Mitgliedsstaaten abdecken (32.3 Euro pro t CO<sub>2</sub>), sind nahezu gleich zu den Zertifikatpreisen, die sich in einem vollständigen EU-internen Handelssystem durchsetzen (32.6 Euro pro t CO<sub>2</sub>).

Einen positiven, wenn auch eher geringen Einfluss, hätte die Integration energieintensiver Industrien, wie z.B. der Eisen-, Stahl-, Chemie- oder Papierindustrien, auf die Reduzierung der Vermeidungskosten, welche sich um ca. weitere 295 Mio. Euro reduzierten. Eine Teilnahme von Energieanbietern und energieintensiven Industrien im EU-weiten EHS würde entsprechend eine Einsparung von 2163 Mio. Euro erzielen.

Das PRIMES-Modell verzeichnet für die Teilnahme aller Sektoren unter dem EHS der EU einen jährlichen Zuwachs an Wohlfahrt von 3 Milliarden Euro (oder 34 Prozent Kostensenkung) durch den Emissionshandel im Jahre 2010. In diesem Fall würden 70 M t CO<sub>2</sub> unter den EU-Mitgliedstaaten gehandelt werden und entsprechen der Zirkulation von ca. 2,5 Prozent aller Europäischen CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate für 2010.

Homogener fallen die Ergebnisse einer sektoralen Betrachtung im DART-Modell aus. Als eines der auffälligsten Ergebnisse ergeben die Simulationen, dass alle Sektoren vom Handelssystem profitieren – nicht nur diejenigen, die am direkt am Emissionshandel teilnehmen. Darüber hinaus widerlegt das Modell, dass die Wettbewerbsfähigkeit der Sektoren innerhalb des EU-EHS stärker beeinträchtigt sei als die der Sektoren außerhalb. Im Gegenteil profitieren die Sektoren im Emissionshandelssystem beträchtlich von den günstigen Vermeidungskosten in den Beitrittsländern.

Der Elektrizitätssektor zeigt sich im Zertifikatehandel als dominant, mit Ausnahme von Frankreich, aufgrund dessen großen Anteils von Atomenergie im Stromverbrauch. Mehr als 75 Prozent der Ex- und Importe werden vom Stromsektor getätigt. Der verbleibende Anteil wird von Importen des Eisen-, Metal- und Stahlsektors bestritten, mit nahezu unbedeutenden Anteilen für die Papier- und Zellstoffindustrie sowie veredelten Ölprodukten.

Die umfangreichen Modellrechnungen des SIMET-Modells mit unterschiedlichen Allokationsvarianten wurden für verschiedene Sektoren in Deutschland ausgeführt. Mittels 25 verschiedener Varianten der Primärallokation werden die sektoralen Durchschnitts- und Gesamtkosten ermittelt. Eine differenzierte Wiedergabe dieser Varianten kann die vorliegende Zusammenfassung nicht leisten, sondern orientiert sich an den SIMET-Ergebnissen, die den realen Einschätzungen am nächsten kommen.

Trotz gravierender Unterschiede für die einzelnen Sektoren kann herausgestellt werden, dass im Vergleich zu alternativen Instrumenten bei gleicher Zielerreichung Kostenvorteile für die Mehrzahl der Branchen erreicht werden können. In der Summe ergeben sich bei einem unter-

stellten Zertifikatspreis von 10 Euro/ t CO<sub>2</sub> Entlastungen zwischen 230 und 545 Mio. Euro für das Kalkulationsjahr 2010. Entscheidend für die Analyse der gesamten wie auch sektoralen Effekte des Emissionshandelssystems sind nach Matthes et al. (2003, S. 144) insbesondere die bisher erbrachten Leistungen der Emissionsminderung in den verschiedenen Sektoren. Verglichen mit dem Ist-Verlauf der Emissionen der letzten Dekade kommt einigen Sektoren im EU-EHS eine gesonderte Rolle zu:

Der Sektor Bergbau profitiert für das Jahr 2010 fast durchweg aufgrund des Verkaufs nicht benötigter Emissionszertifikate. Abhängig von den Allokationsvarianten bewegt sich die Kostenentlastung in einem Rahmen von 150 Mio. Euro bis hin zu einer Zusatzbelastung von 9 Mio. Euro. Ein ähnliches Bild ergibt sich für die chemische Industrie, die vornehmlich Entlastungen der Kosten in Höhe von 135 Mio. Euro verzeichnen kann, bei möglichen Belastungen von 9 Mio. Euro. Der Bereich Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden muss laut den Modellrechnungen jedoch mit Zusatzbelastungen von bis zu 39 Mio. Euro im Jahr 2010 rechnen. In gleicher Tendenz hat der Sektor Metallerzeugung und -bearbeitung durchgängig zusätzliche Aufwendungen von 190 Mio. Euro zu bilanzieren. Mit verändertem Allokationsverfahren können diese auf unter 40 Mio. Euro gesenkt werden und je nach Baseline-Szenario sogar zu Kostenentlastungen führen. Ein besonderer Stellenwert kommt schließlich dem Sektor der öffentlichen Strom- und Fernwärmeerzeugung zu, da dieser den größten Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen ausmacht. Aufgrund der in Vergangenheit relativ geringen Emissionsminderungen in diesem Sektor errechnen alle Allokationsvarianten Zusatzkosten aufgrund des zusätzlichen Erwerbs von Zertifikaten in Höhe von bis zu 500 Mio. Euro im Jahr. Eine Kostenreduzierung auf ca. 80 Mio. Euro für 2010 könnte aufgrund veränderter Allokations- und Minderungsvorgaben erfolgen. Die Ergebnisse der umfassenden Studie für den WWF von Matthes et al. (2003) spiegeln besonders anschaulich das System der „kommunizierenden Röhren“ wieder: die Allokationsveränderung eines Sektors hat unmittelbare Auswirkungen für andere Branchen.

### 4.3.3 Preisentwicklung

#### 4.3.3.1 Zertifikatepreis

Eine wesentliche Folge des EU-weiten EHS ist ein uniformer Zertifikatepreis, d. h. ein einheitlicher Preis für CO<sub>2</sub> innerhalb der gesamten EU. Der Zertifikatehandel spielt eine entscheidende Rolle für die Höhe der Vermeidungskosten und damit für das Ausmaß der Verteilungswirkungen. Aktuelle Schätzungen variieren hier zwischen 5 und 30 Euro/ t CO<sub>2</sub> (vgl. Klepper/Peterson 2004, S. 13). Wie allerdings verhält sich die Preisspanne der Allokationen in den vorgestellten Modellen?

Das POLES Modell kalkuliert in einem freien Zertifikatehandel mit 49 Euro pro Tonne Kohlendioxid. Das PRIMES-Modell hingegen errechnet ca. 33 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> in den untersuchten Emissionshandelsszenarien eines EU-weiten Systems mit allen Sektoren. Während

der Preis für Emissionsrechte für die am Handelssystem teilnehmenden Sektoren relativ moderat ausfallen würde, scheint eine schrittweise Implementierung des EHS attraktiv für neu einsteigende Industrien. „This means that the pioneers have nothing to lose while the non-participants have incentives to join the trading regime.“ (Capros/Mantzos 2000, S. 18).

In den Simulationen des DART-Modells variiert der Zertifikatpreis zwischen 6,8 und 21,9 Euro/ t CO<sub>2</sub>. Der Preis zeigt sich in deutlicher Abhängigkeit von dem gewählten Referenzjahr für die Festlegung von Reduktionszielen einerseits sowie von der Einbindung der Beitrittsländer in das Handelssystem andererseits. So würde laut den Simulationen des DART-Modells der Handel ausschließlich unter den alten EU-Mitgliedsstaaten (EU 15) einen Zertifikatpreis von 21 Euro ergeben, während die preiswerten Vermeidungsoptionen in den Beitrittsländern den Preis auf 11 Euro senken würde. Sollten diese Länder zudem ihre „hot air“ verkaufen, beliefen sich die Zertifikatpreise auf knapp 7 Euro.

Auch die Studie von Matthes et al. (2003) sieht die zu erwartenden Preisniveaus für die Emissionszertifikate im Vorfeld der Verabschiedung der EU-Richtlinie mit erheblichen Variationen und Unsicherheiten behaftet. Daher geht die Studie nicht von einem Preisniveau aus sondern veranschlagt eine Spanne verschiedener Preisniveaus. Die prognostizierten Preisniveaus in den SIMET-Modellierungen basieren zum einen auf Modellanalysen, zum anderen auf ersten Praxiserfahrungen des Emissionshandels in Großbritannien und schließlich auf den Erwartungen zukünftiger Marktteilnehmer (Projektentwickler, Trader, Broker, etc.). Die daraus resultierende große Vielfalt von Preisprognosen und Preiserwartungen lassen sich laut WWF-Studie kaum zu einem verlässlichen Wert verdichten (Spanne von 1,50 Euro bis 45 Euro pro t CO<sub>2</sub>-Äquivalent). In Anlehnung an die ersten Erfahrungen zum Handel mit Emissionsrechten arbeitet das SIMET-Modell mit einer Preisspanne von 5 bis 30 Euro pro t CO<sub>2</sub>-Äquivalent für das Jahr 2010. Dem Wert von 10 Euro/ t CO<sub>2</sub>-Äquivalent räumen die Autoren einen hohen Wahrscheinlichkeitswert ein und wählen diesen daher als Standardwert für die Berechnungen.

#### 4.3.3.2 Vermeidungskosten

Das EU-Emissionshandelsystem wurde mit dem Hauptziel eingeführt, die Wohlfahrtskosten zum Erreichen des Europäischen Kyoto-Reduktionsziels von 8% zu reduzieren. Strebte jeder EU-Mitgliedsstaat sein Kyoto-Ziel unter dem burden sharing-Übereinkommen individuell an, beliefen sich die Kosten der EU laut PRIMES-Modell auf 9 Milliarden Euro. Die Kosten zur Erreichung der Kyoto-Ziele fallen in einem System mit Emissionshandel allerdings wesentlich geringer aus.

Nach Aussage der DART-Simulationen führt ein optimal gestaltetes Emissionshandelssystem zu Kosteneinsparungen. Allerdings unterstreichen die Ergebnisse auch deutlich, dass verzerrende Allokationspläne die Gewinne aus dem Emissionshandel zu Nichte machen können. Derartige Verzerrungen entstehen durch die differierenden Vermeidungskosten zwischen den Sektoren innerhalb und außerhalb des EU-ETS.

Matthes et al. (2003) leisten insbesondere detaillierte Ergebnisse über den erheblichen Einfluss der Allokationsmethode auf die Größenordnung der Verteilungseffekte für Deutschland. Die Studie des WWF spricht insbesondere von Optionen zur CO<sub>2</sub>-Minderung. Diese Vermeidungsoptionen sollen hier kurz zusammengefasst werden. Hierzu sind technische Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur CO<sub>2</sub>-Minderung für die Sektoren Stromwirtschaft, Industrie, Haushalte und Verkehr zusammengestellt, ebenso wie Minderungspotentiale und zugehörige Kosten der Maßnahmen. Für das untersuchte Jahr 2010 zeigen sich laut SIMET-Modellrechnungen voraussichtlich CO<sub>2</sub>-Minderungsoptionen in einer Höhe von 90 Mio. t verfügbar. Mit 60 Mio. t Kohlendioxid können weit über die Hälfte dieser Menge den Minderungspotenzialen der Stromwirtschaft zugerechnet werden. Der Preis von unter 10 Euro/ t CO<sub>2</sub> beläuft sich auf Maßnahmen für 50 Mio. t CO<sub>2</sub>. Als entscheidender Einflussfaktor für eine Verteuerung der Minderungsoptionen erweist sich die Variation des Zinssatzes, wohingegen eine Veränderung der Brennstoffpreise geringere Auswirkungen auf die Vermeidungsoptionen hat.

Anhand vier verschiedener Ansätze wird die Umsetzungstiefe der CO<sub>2</sub>-Minderungsmaßnahmen im SIMET-Modell unterschieden, um Unsicherheiten hinsichtlich Größe, Kosten und Umsetzbarkeit der Potentiale zu berücksichtigen:

1. „Perfect policy“ (das Potenzial der Vermeidungsoptionen wird vollständig berücksichtigt; die Vermeidungskosten bleiben unverändert)
2. „No regret uncertainty“ (das Gesamtpotenzial aller Vermeidungsoptionen bleibt unverändert; für Maßnahmen mit negativen Vermeidungskosten werden die Kosten auf 0 Euro/ t CO<sub>2</sub> gesetzt, Maßnahmen mit Vermeidungskosten größer Null bleiben unverändert)
3. „Baseline uncertainty“ (es werden nur die Maßnahmen mit Vermeidungskosten größer Null berücksichtigt; Maßnahmen mit negativen Kosten bleiben unberücksichtigt, da diese in der Baseline berücksichtigt sein könnten)
4. „Pragmatic approach“ (von Maßnahmen mit negativen Vermeidungskosten werden lediglich 20% der Gesamtpotentiale berücksichtigt und die Kosten auf 0 Euro/ t CO<sub>2</sub> gesetzt, Maßnahmen mit Vermeidungskosten größer Null werden vollständig und mit unveränderten Kosten berücksichtigt)

#### 4.4 Fazit

Mit dem Europäischen Emissionshandelssystem ist im Januar 2005 ein kontrovers diskutiertes Instrument der Klimapolitik gestartet. Das System wurde mit dem Ziel entwickelt, eine ökonomisch effiziente Reduktion von Kohlendioxid in energieverbrauchenden Installationen zu erzielen. Derzeit erfasst das EU-ETS insgesamt über 12.000 Installationen in der EU-25, die für grob 45 Prozent aller CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Europäischen Union verantwortlich sind. Mit einer Vielzahl differenzierter Studien zu den ökonomischen Auswirkungen des Europäi-

schen Zertifikatehandels existieren ebenso differenzierte Aussagen über die Kosteneffektivität des EU-ETS zum Start des Handelssystems. So bemerken auch Klepper und Peterson (2004, S. 2), viele Aussagen über die möglichen Ergebnisse des EU-ETS basierten derzeit eher „on the desire to further ones commercial interest than on a balanced analysis of the evidence available so far.“

„Ausgewogene Analysen“ allerdings sind allein durch die unterschiedlichen Determinanten in den Modellen kaum gegeben. Referenz- und *business-as-usual*-Szenarien, die Auswahl der Länder und des Simulationszeitraumes sowie die Wahl des Modellansatzes variieren erheblich. Diese Differenzen gilt es zu berücksichtigen. Die ökonomische Literatur geht von der Annahme eines theoretisch idealen Systems durch die Mitgliedsländer aus: Benötigte Emissionsreduktionen werden mittels eines umfassenden Emissionshandelssystems erreicht, welches so viele Sektoren und Gase wie möglich umfasst, und keinerlei Restriktionen für den Handel mit weiteren Annex B-Ländern oder der Anwendung von „credits“ durch projektbasierte Mechanismen besitzt (vgl. Kallbekken 2004, S. 1). Mit der aktuellen Europäischen Emissionshandelsrichtlinie ist dieses „Idealsystem“ noch nicht gegeben. Dennoch – die hier vorgestellten Modellergebnisse können in ihrer Gesamtheit als Tendenzen über „Gewinner und Verlierer“ des Handelssystems sowie die Kostenverteilung unter die verschiedenen Sektoren verstanden werden. Eine Auswahl (vgl. Anhang „Modellübersicht“):

Bei der Frage nach „Gewinnern und Verlierern“ unter den Mitgliedsstaaten im EU-ETS lässt sich schlussfolgern, dass aggregiert alle beteiligten Länder aus dem EHS gewinnen. Eine Ausweitung des Handelssystems führt für jeden neuen Teilnehmer zu geringeren Kosten, diese wiederum führen zu einem Wohlfahrtsanstieg. Deutschland und Großbritannien erweisen hierbei als größte Netto-Verkäufer von Emissionszertifikaten – und gehen demnach als „Gewinner“ hervor. Auch die Modellrechnungen im Auftrag der Europäischen Kommission (PRIMES) sowie des WWF Deutschland (SIMET) bestätigen, dass im Falle einer EU-weiten Einführung des EHS Deutschland klar profitieren würde. Bei Einbindung der neuen EU-Beitrittsstaaten exportieren einzig diese Staaten Emissionsrechte.

Für die sektoralen Belastungen innerhalb der Mitgliedsstaaten des Zertifikatehandels ergibt sich folgendes Bild: grob vereinfacht profitieren alle Sektoren vom EU-ETS – nicht nur begrenzt auf jene innerhalb des Systems. Insbesondere profitieren diese von den günstigen Preisnachlässen in den neuen Beitrittsstaaten. Ein stabiles Muster ergibt sich laut Matthes et al. (2003) aus der Vielzahl untersuchter Allokationsvarianten insbesondere für zwei Sektoren: Kostenbelastungen für die öffentliche Stromversorgung, hingegen Gewinne für den Bergbau.

Eine nicht geringe Rolle bei der Frage um „Gewinner und Verlierer“ kommt dem Faktor Regionalität des derzeitigen Zertifikatehandels zu: ein regionales, auf die EU beschränktes Handelssystem, könnte bei gleichzeitig erhöhten Energiepreisen langfristig negative Auswirkungen auf bestimmte Branchen und Unternehmen haben (z.B. Alu-Industrie). Insbesondere international agierende Branchen und Unternehmen würden hier Verluste erleiden. Fragen des Linking des derzeitigen regionalen Handelssystems spiegeln die Dringlichkeit weiterer Studien zu Möglichkeiten des zukünftigen Linking des EU-ETS wieder.

Die Preisspanne der Allokationen variiert zwischen 5 und 30 Euro/ t CO<sub>2</sub> . Ein Handel unter lediglich den alten EU-Mitgliedsstaaten (EU 15) ergäbe einen Zertifikatepreis von 21 Euro. Im Allgemeinen senken die preiswerten Vermeidungsoptionen in den Beitrittsländern den Preis auf 11 Euro. Verkaufen jene Länder zudem ihre „hot air“, reduziert sich der Zertifikatepreis auf knapp 7 Euro pro Tonne Kohlendioxid.

Unter Equity-Gesichtspunkten ist das Ergebnis der vorgestellten Studien eindeutig. So deckt sich das Fazit des globalen WAGEM-Modells mit der in der Literatur geforderten idealen Ausgestaltung eines EU-ETS: „Under pure equity concerns, the initial allocation of permits due to per capita shares brings benefits to developing regions and is revealed as one of the most favourable equity criteria by this analysis.“ (Kempf 2004, S. 17).

Die Untersuchung hat gezeigt, dass die distributiven Effekte des klimapolitischen Instruments Emissionshandel von einer Vielzahl komplexer Faktoren abhängen. Hinzu kommen Veränderungen der ökonomischen Variablen während des Zeitraums der Implementierung, die eine stetige Weiterentwicklung des Instruments erforderlich machen. Jegliche vorab vorgenommene Ziel-Allokation wird daher meist weit entfernt vom kosteneffektiven Minimum während der ersten Handelsperiode von 2008-2012 liegen. Allerdings ist der Emissionshandel ein Instrument, das derartige Veränderungen einbeziehen kann, „and as such remedy ex-ante unknown „mistakes“, while guaranteeing simultaneously that the overall environmental reduction target of 8% is achieved“ (Capros/Mantzoros 2000, S. 28). Entsprechend ist auch eine stetige Anpassung des Designs ökonomischer Modelle an die wirtschaftliche und klimapolitische Dynamik nötig, um die Aussagekraft ihrer Simulationen zu präzisieren.

Die Frage nach „Gewinnern und Verlierern“ des Emissionshandels erlangt schließlich aus globaler, makroökonomischer Perspektive eine erweiterte Dimension, betrachtet man den Klimawandel nicht nur aus der Kosten- sondern auch aus der Schadensperspektive. So steht der Emissionshandel ebenso im Kontext des anthropogenen Klimawandels – welcher nicht zuletzt erhebliche volkswirtschaftliche Schäden verursacht. Laut Kempf (2004, S. 621) können diese bis zum Jahre 2050 global bis zu US\$ 2 Bill. erreichen, mit einem Anteil von US\$137 Mrd. für Deutschland. Entscheidend für die Entwicklung der Schäden sei der rasche Einsatz umfangreicher klimapolitischer Maßnahmen und flexibler klimapolitischer Instrumente – wie dem Emissionshandel – da sie diese negative Entwicklung verlangsamen könnten.

## 4.5 Anhang: Modellierungen zu den Verteilungswirkungen des EU-Emissionshandelssystems

Modell	Modell-Typ	Modell-Beschreibung	Wesentliche Annahmen	Ergebnisse
<b>POLES</b>	Bottom-up  (Energie-systemmodell)	Ziel: <ul style="list-style-type: none"> <li>Mögliche Auswirkungen der Implementierung des EU-weiten Handels mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten zu quantifizieren</li> <li>Relative einfache und aggregierte Untersuchungen</li> </ul>	6 Länder/ Regionen der EU identifiziert: <ul style="list-style-type: none"> <li>Deutschland, Frankreich, Italien, UK und der Rest der Süd-EU (Spanien, Portugal und Griechenland) sowie der „Rest der Nord-EU“ (Österreich, Belgien, Dänemark, Finland, Irland, Luxemburg, Niederlande und Schweden)</li> <li>Wesentliche Prämisse: Äquivalent eines vollständig flexiblen Systems bereits in jedem Mitgliedsstaat existent</li> <li>Ergebnisse sind daher verzerrt</li> <li>Tendenz, den Gewinn (im Sinne von Kostenreduzierung), der aus der Einführung des ET herzuleiten ist, zu unterschätzen</li> <li>Arbeitet mit dem Konzept einer „representative firm“</li> <li>Unterstellt keinerlei Transaktionskosten</li> <li>EU-weiter Handel wird präsentiert und verglichen mit einem Nicht-Handels-Szenario</li> <li>Referenzszenario: 2010-Baseline, ohne jegliche Anstrengungen der Länder an Emissions-Reduzierungsmaßnahmen</li> <li>49 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> (in einem unbegrenzten Zertifikatehandel unter den gegebenen Szenario-Bedingungen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deutschland: größter Netto-Verkäufer von Emissionszertifikaten (anhaltende Abhängigkeit fossiler Energieträger und relativ geringe Energiepreise)</li> <li>UK: ebenso ein Netto-Verkäufer, in geringerem Maße als Deutschland (ebenso nur bescheidene Verbesserung der allgemeinen Verminderungskosten als Folge des EU-Zertifikatehandels)</li> <li>Frankreich: bleibt zusehends unberührt, ein Netto-Importeur in bescheidenem Maß</li> <li>„Rest der EU Nord“: Hauptkäufer, nahezu die Verkäufe aus Deutschland und UK absorbierend, nach wie vor die höchsten „compliance costs“ (Einhaltungskosten)</li> <li>„Rest der EU Süd“: profitiert ebenso vom EHS als Netto-Verkäufer von Emissionszertifikaten (allumfassenden Vermeidungskosten würden ebenfalls um ein Drittel sinken)</li> <li>Alle beteiligten Länder gewinnen hochgerechnet aus dem EHS</li> </ul>
<b>PRIMES</b>	Bottom-up  (Energie-Systemmodell)	Ziel: <ul style="list-style-type: none"> <li>Detaillierte Analyse verschiedener Ausgestaltungsmöglichkeiten alternativer Emissionshandelssysteme</li> <li>Analyse der ökonomischen Bedeutung des EU-EHS</li> </ul>	Zeithorizont: <ul style="list-style-type: none"> <li>Bis 2010 (Mitte der ersten Kyoto-Vereinspflichtungsperiode 2008-2010)</li> <li>Simulation des Energiesektors, daher keine Abbildung von Gesamtwohlfahrtseffekten, sondern nur des Energiesystems</li> </ul> Annahmen:	Schlussfolgerung: <ul style="list-style-type: none"> <li>Emissionshandel unter den Sektoren und Mitgliedsstaaten verringert die Gesamtkosten</li> <li>EHS erwirtschaftet einen Nettogewinn von 14 Mio. Euro im Vgl. zum Referenzfall</li> <li>Deutschland würde von einem EU-weiten EHS deutlich profitieren; Nettogewinn für Deutschland</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jeder Mitgliedsstaat erreicht dessen individuelles Kyoto-Ziel (EU-Reduktionsziel von 8%)</li> <li>• Energiekonsumenten und -produzenten antizipieren die Emissionsreduktionsvereinbarung vor 2010 (alternatives Handelssystem vor 2005 implementiert)</li> </ul> <p>Baseline-Szenario (<i>business-as-usual</i>):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Projiziert keine speziellen Reduktionsziele</li> <li>• Setzt aber voraus, dass keine neuen umwelt- oder energiebezogenen Gesetze implementiert werden</li> </ul> <p>Referenz-Szenario („Least Cost, No EU-Wide Trading“):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermeidungskosten im Falle, dass jeder einzelne EU-Mitgliedsstaat seine Verpflichtung implementiert (burden sharing-Übereinkunft)</li> </ul> <p>Alternative Reference Case („Cheese Slicer“):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeigt die Bedeutung des burden sharing Übereinkommen innerhalb jeden Mitgliedstaates</li> <li>• Illustriert die Sensitivität der geschätzten Gewinne des EU-EHS auf das angenommenen Verhalten der Mitgliedsländer in Abwesenheit eines EU-weiten Handelssystems</li> </ul>	<p>bei Einbeziehung energieintensiver Branchen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausweitung des Handelssystems führt für jeden neuen Teilnehmer zu geringeren Kosten. Geringere Kosten wiederum führen zu einem Anstieg der Wohlfahrt</li> <li>• Eine Schrittweise Implementierung der EHS erscheint ökonomisch attraktiv – vorausgesetzt, der Emissionshandel startet mit jenen Staaten und Sektoren, die am meisten von der Teilnahme profitieren</li> </ul> <p>Reduktionskosten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sinken von 24.3 Euro/ t CO<sub>2</sub> auf 18.4 Euro/ t CO<sub>2</sub></li> </ul> <p>Netto-Käufer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• unter EU-Staaten: Belgien, Finnland, Niederlande haben die höchsten Grenzvermeidungskosten</li> </ul> <p>Netto-Verkäufer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frankreich und Deutschland haben die geringsten Vermeidungskosten</li> </ul> <p>Marktpreis</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bei EU-weitem Handel aller Sektoren bei 33 Euro/ t CO<sub>2</sub> bei Handelsvolumen von 77 Mio. t</li> </ul>
<b>SIMET</b>	<b>Bottom-up</b> (Energie-Systemmodell)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse verschiedener Varianten der Erstallokation hinsichtlich ihrer sektoralen Auswirkungen in Deutschland in Abhängigkeit vom Zertifikatspreis</li> <li>• Kalkulation der Kosteneffekte aus Baseline-Entwicklung, Zertifikatspreisen, Allokationsvarianten, Vermeidungskosten</li> <li>• Modell integriert alle Sektoren, die im Entwurf der Richtlinie enthalten sind</li> <li>• Differenzierte Betrachtung einzelner Primärenergieträger (Braun-, Steinkohle, Öl, Gas, Kernenergie, Sonstiges)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modell sieht 25 verschiedene Varianten der Primärallokation vor</li> <li>• Baseline-Entwicklung bildet Projektionen der zukünftigen Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2010 (Referenzjahr für Verpflichtungsperiode 2008-2012)</li> <li>• Kalkulationen mit Zertifikatspreis von 10 Euro/ t CO<sub>2</sub></li> <li>• Gewählte Standard-Variante „Pragmatic approach“ für sektoral differenzierte Vermeidungskosten gewählt</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emissionshandel errechnet Kostenvorteile in einer Bandbreite von 230 bis 545 Mio. Euro</li> <li>• Größenordnung der Verteilungseffekte abhängig von der Allokationsmethode (v.a. Basisjahr, Early Actions)</li> <li>• Minderungsoptionen von ca. 90 Mio. t CO<sub>2</sub> verfügbar</li> <li>• Deutschland erweist sich nur unter bestimmten Bedingungen als Nettoverkäufer</li> <li>• Zusatzkosten vornehmlich für die folgende Branchen: Öffentliche Stromversorgung, Metallherzeugung- und Bearbeitung, Glasgewerbe, Keramik, Steine und Erden</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostententlastung für Bergbau und Chemische Industrie</li> <li>• Kostenvorteile für die meisten Branchen</li> <li>• Zertifikatspreis zeigt hohe Spanne (1,50-4,50 Euro/ t CO<sub>2</sub>) mit erwartetem Wert von 10 Euro/ t CO<sub>2</sub></li> <li>• Bereits geleistete Emissionsreduktionen der Sektoren haben erheblichen Einfluss auf Kalkulationsergebnisse</li> </ul>	
<b>DART</b>	<b>Top-down</b> (Energie-wirtschaftsmodell)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeines Gleichgewichtsmodell, ausgerichtet für die vergrößerte EU</li> <li>• Multi-Regionen und Multi-Sektoren Modell der Weltwirtschaft</li> </ul> <p>Modell leistet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Details zum Zertifikatehandel zwischen den Mitgliedsstaaten</li> <li>• Zertifikatspreise</li> <li>• Rolle von Beitrittsländern in das EU-ETS</li> </ul> <p>Schwächen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ignoriert einige institutionelle Details, z.B. flexible Mechanismen wie JI oder CDM</li> <li>• Ignoriert intertemporale Aspekte wie banking oder borrowing</li> <li>• Ignoriert mögliche Verbindungen zu anderen nationalen EHS (DK, UK)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusammenschluss von 16 Regionen: 9 Länder der EU, inkl. Beitrittsländern, und 7 weiteren globalen Staaten</li> <li>• Wirtschaft der Länder in 12 Sektoren unterteilt, 4 von diesen nehmen am EHS teil</li> <li>• Summiert insg. 45% der CO<sub>2</sub>-Emissionen</li> <li>• Wirtschaft als wettbewerbsfähig modelliert (flexible Preise, klarer Markt)</li> <li>• 3 Teilnehmer: Konsumenten, Produzenten jeden Sektors und Regierungen</li> <li>• Bilaterale Handelsbeziehungen zwischen allen Regionen</li> <li>• Exogene Driver; Wachstum der Produktionsrate, Einsparungsrate, Rate des Bevölkerungswandel und Wandel des Humankapitals</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EU-Beitrittsstaaten sind die einzigen Staaten, die Emissionsrechte verkaufen werden</li> <li>• Alle Sektoren profitieren vom EH – nicht nur begrenzt auf die Sektoren im EHS</li> <li>• Emissionen verringern sich in der EU um 0,5%, im Nicht-Energie-Sektor um 2%, Energie- und fossiler Brennstoff-Sektor profitieren am stärksten (gegenüber BAU-Szenario)</li> <li>• EHS-Sektoren profitieren beachtlich von den günstigen Preisnachlässen in den Beitrittsstaaten</li> </ul>
<b>WAGEM</b>	<b>Top-down</b> (Energie-wirtschaftsmodell)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeines Gleichgewichtsmodell</li> <li>• Globales und Multi-regionales Wirtschaftsmodell</li> <li>• Untersucht ökonomische Effekte, hervorgerufen durch Kyoto-Mechanismen</li> <li>• Fokussiert speziell die Auswirkungen eines weltweiten Zertifikatehandels auf Equity-Prinzipien basierend</li> <li>• Verschiedene Optionen der Allokation weltweit sowie Einnahmenverteilung aufgrund von Equity-Prinzipien und deren Auswirkungen auf Weltwirtschaftsbeziehungen werden verglichen und be-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berücksichtigt 11 Regionen</li> <li>• Diese sind durch bilaterale Handelsbeziehungen verbunden</li> <li>• Ökonomische Struktur jeder Region besteht aus 4 Produktionssektoren: 1 Nicht-Energie- und 3 fossile-Energie-Sektoren</li> </ul> <p>2 Baseline-Szenarien:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kyoto-Reduktionsziele als erste Vergleichsoption</li> <li>• 25%-Emissionsreduktionsziele für alle Annex I-Länder bis 2010</li> </ul> <p><i>business-as-usual</i>-Szenario:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Globaler Emissionshandel steigert die ökonomische Wohlfahrt global, mit Schwerpunkt in den Entwicklungsländern</li> <li>• Ökonomische Implikationen durch die Implementierung der Kyoto-Reduktionsziele variieren erheblich von den angewendeten Equity-Kriterien</li> <li>• Entwicklungsländer könnten signifikant durch einen weltweiten Emissionshandel profitieren, sofern die Erstallokation von Zertifikaten nach pro-Kopf-Kriterien geleitet ist (favorisiertes Kriterium)</li> <li>• Globaler Zertifikatehandel verringert die Vermeidungskosten der Annex I-Länder enorm</li> </ul>

	wertet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Globale Entwicklung ohne zusätzliche Reduktionsoptionen</li> </ul> <p>Equity-Szenarien</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einbindung von Entwicklungsländern in das Handelssystem durch a) Zertifikatzuteilungen oder b) Festlegung von Reduktionszielen</li> </ul>		
<b>WIAGEM</b>	Integrated Assessment	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ökonomisches Modell mit Klima- und Ökosystem-Modell gekoppelt</li> <li>• Simuliert volkswirtschaftliche Ereignisse über Zeithorizont von 100 Jahren (bis 2100)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• WIAGEM basiert auf 25 Weltregionen, aggregiert in 11 Handelsregionen, jeder mit 14 Sektoren</li> <li>• Afrika, Asien, Europa, Japan, Lateinamerika, Mittlerer Osten, USA</li> <li>• Gleichgewichtsmodell integriert die internationalen Öl- Kohle- und Gasmärkte</li> <li>• Modell integriert alle THGs, die potentielle Klimaschädigungen aufweisen</li> <li>• Rückwirkungen von Temperatur- und Meeresspiegelschwankungen können volkswirtschaftlich quantifiziert werden</li> <li>• Integriert veränderte Ausgaben für Klimaschäden vor und nach dem Auftreten extremer Klimaereignisse</li> <li>• Integriert Netto-Änderungen der GHG durch Landnutzungsänderungen und Forstaktivitäten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimaänderungen in den nächsten 50 Jahren sind einschneidend</li> <li>• Entwicklungsländer sind hohen ökonomischen Verlusten ausgesetzt</li> <li>• Volkswirtschaftliche Schäden: bis 2050 bis zu 2Bil US\$, auf Deutschland kämen 137Mrd US\$</li> <li>• Bei Temperaturänderung um global 1 Grad C</li> <li>• Emissionsvermeidung: Globale Kosten von ca. 730 Mrd. Euro im Verpflichtungszeitraum</li> <li>• Durch globalen ERH könnten 272 Mrd. US\$ im Verpflichtungszeitraum eingespart werden</li> <li>• EHS ohne USA: Kosten für EU und Japan geringer (USA frage nach ER)</li> <li>• Deutschland müsste 24 Mrd US\$ aufwenden</li> <li>• EHS mit Russland – ohne USA:</li> <li>• Deutschland müsste 15 Mrd. US\$ aufwenden</li> <li>• Kosten für Japan und Deutschland wären geringer, aber: nicht konform dem Ziel der globalen Emissionsminderung (1,2%-Reduktions-Anteil beider Länder der globalen Emissionen)</li> </ul>

Tabelle 3: Modellierungen zu den Verteilungswirkungen des EU-Emissionshandelssystems

## 5 Beschäftigungswirkungen des Emissionshandels

### 5.1 Einleitung

Ohne die Simulationsrechnungen mit ökonometrischen Modellen oder ökonomischen Gleichgewichtsmodellen zu den Beschäftigungswirkungen einer Ökologischen Steuerreform wäre dieses Instrument in Deutschland nie so intensiv diskutiert worden, hätte es nicht so eine breite Koalition an Befürwortern hinter sich scharen können und wäre es womöglich nicht so zügig eingeführt worden. So brachte Greenpeace im Mai 1994, ein halbes Jahr vor der Bundestagswahl, eine beim DIW in Auftrag gegebene Studie in die Diskussion, die einer Ökologischen Steuerreform nicht nur positive umweltpolitische Effekte, sondern auch positive Beschäftigungseffekte bescheinigte. In der Folge erarbeiteten alle Bundestagsparteien sowie die wesentlichsten zivilgesellschaftlichen Organisationen eigene Positionen zur Ökologischen Steuerreform. Zudem wurden bis zur Einführung der Ökologischen Steuerreform 1999 weitere Modellrechnungen vorgelegt, so dass wissenschaftliche Studien über die Arbeitsmarkteffekte der Reform durchweg die politische Debatte bestimmten.

Im Gegensatz dazu spielten Beschäftigungswirkungen des Emissionshandels in der Diskussion um seine Einführung – auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene – nur eine sehr geringe Rolle. Nur wenige Studien liegen zu Beschäftigungswirkungen des Emissionshandels allgemeinen vor, gar nur zwei (deutsche) Studien wurden zu den konkreten Beschäftigungswirkungen der EU-Emissionshandels-Richtlinie erarbeitet. Wenn überhaupt wissenschaftliche Studien die Diskussion um den Emissionshandel maßgeblich beeinflussten – im Vordergrund standen eher politische Diskussionen über die Ausgestaltung und die Allokationsmethoden des Emissionshandels – dann solche über die ökonomische Wettbewerbsfähigkeit der betroffenen Wirtschaftssektoren (siehe hierzu Kapitel Verteilungswirkungen).

Dies ist nicht zuletzt deswegen erstaunlich, weil aus ökonomischer Sicht die Einführung einer Ökosteuer oder eines (auktionierten) Emissionshandels prinzipiell mit identischen Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt einhergehen: die Verteuerung des Einsatzes fossiler Energieträger bzw. mit ihrem Einsatz erzeugter Produkte und Dienstleistungen führt zu einer Verschiebung von Güter- und Faktorangebot sowie -nachfrage, was Beschäftigungswirkungen nach sich zieht. Welche Gründe lassen sich also nennen, warum Beschäftigungseffekte in der Diskussion um den Emissionshandel kaum eine Rolle gespielt haben? Erstens, so lässt sich vermuten, hängt dies mit der Form des Diskussionsprozesses zusammen: Die Diskussion um eine Ökosteuer wurde „bottom-up“, aus der Mitte von Parteien und Gesellschaft, angestoßen; die Einführung eines Emissionshandels indessen wurde „top-down“ von der EU-Kommission auf die Agenda gesetzt. In der Folge ging es nicht mehr wie bei der Ökologischen Steuerreform um das Für oder Wider des Instrumentes, sondern gleich um seine konkrete politische Ausgestaltung.

Zweitens hängt dies mit der Argumentationsstruktur der Debatte zusammen: In der Diskussion um die Ökologische Steuerreform wurde von Beginn an mit der „double dividend“ argumentiert. Das heißt, der Vorteil der Steuer wurde nicht nur mit seinen klimapolitischen Effekten verbunden, sondern allen voran mit der Schaffung von Arbeitsplätzen, die unter Rückführung der Steuereinnahmen für eine Senkung der Lohnnebenkosten erzielt werden sollten (vgl. Goulder 1995; Bovenberg/Goulder 1993; Carraro/Siniscalco 1996). Diese den Arbeitsmarkt betreffende „double dividend“ gilt als theoretisch ausgereift, vor allem der Realitätsgehalt der empirischen Studien wird jedoch in Frage gestellt (vgl. Bosello/Carraro/Galeotti 1998). Wohl auch aus diesem Grund spielte in der Debatte um den Emissionshandel die „double dividend“-Hypothese keine Rolle (es liegt lediglich eine Untersuchung aus dem Jahre 2000 zum Recycling von Einnahmen aus dem Zertifikatsverkauf zur Reduktion von Steuern auf Arbeit in Dänemark von Jensen und Rasmussen 2000 vor, s.u.). Selbst als über die Allokationsmethode der Zertifikate (kostenlose versus auktionierte Vergabe) diskutiert wurde, hat keine Interessensgruppe eine Rückführung der Einnahmen aus dem Zertifikatsverkauf zur Senkung anderer Steuersätze gefordert – vielleicht eine Lehre aus den Vermittlungsproblemen der Ökosteuern?

Und drittens, so lässt sich vermuten, hängt die Vernachlässigung des Aspekts der Beschäftigungswirkung in der Debatte um den Emissionshandel mit der spezifischen Wahrnehmung des Instruments zusammen: anders als die Ökosteuer, deren gesamtgesellschaftliche Wirkungen stets antizipiert wurden und die jeder Bürger an der Zapfsäule zu spüren bekommt, wird der Emissionshandel eher als ein technisches Instrument zur Regulierung der Industrie wahrgenommen. Dabei ging es um spezielle Anlagen, deren Betreiber sowie um einen fiktiven, erst zu schaffenden Markt von Zertifikaten. Weniger wahrgenommen aber wurde die Verteuerung der Energiepreise oder, wenn auch von einigen Kritikern betont, die etwaige Verlagerung von Produktionsstandorten.

Im Folgenden werden zunächst die grundsätzlichen Wirkungszusammenhänge von Emissionshandel und Arbeitsmarkt dargestellt, ehe dann auf die Ergebnisse empirischer Studien zu den Beschäftigungswirkungen des Instruments eingegangen wird.

## 5.2 Grundsätzlicher Wirkungszusammenhang

Die Beschäftigungseffekte eines Emissionshandels hängen in hohem Maße von seiner konkreten Ausgestaltung ab. Eine teure Auktionierung von Zertifikaten beispielsweise oder hohe Zertifikatspreise werden andere Effekte nach sich ziehen, als dies bei laxen Emissionszielen und niedrigen Preisen der Fall wäre; denn dann könnten betroffene Unternehmen weitgehend ihr *business-as-usual* fortsetzen.

Dennoch lassen sich vier allgemeine, theoretische Wirkungsketten identifizieren, die unabhängig von der Ausgestaltung grundsätzliche Zusammenhänge erläutern sollen. Sie können zunächst in direkte und indirekte Wirkungen unterschieden werden (siehe auch UBA 1997, S. 35f.).

### 5.2.1 Direkte Beschäftigungseffekte

Da die Einführung eines neuen Instruments mit Anpassungen und Beratungsbedarf in der öffentlichen Verwaltung, im Unternehmensmanagement und im Dienstleistungssektor verbunden ist, werden neue Arbeitsplätze entstehen. So wird beispielsweise die Einführung eines Emissionshandels innerhalb betroffener Unternehmen neue Arbeitsplätze in den Strategie- und Finanzabteilungen schaffen, die den Zertifikatsmarkt und CO<sub>2</sub>-Vermeidungsoptionen als neues Geschäftsfeld entdecken. In der öffentlichen Verwaltung entsteht Personalbedarf für die Administration des Instruments, in Deutschland beispielsweise mit der Gründung der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt. Schließlich werden um die Finanzmärkte herum neue Geschäftsfelder für Broker, Rating-Agenturen und Beratungsleistungen aller Art entstehen; dazu gesellen sich Projektentwickler und Beratungsagenturen zum Einsparen von Emissionen und dem Verkauf der Zertifikate. Und schließlich werden bei Monitoring und Zertifizierungs-Gesellschaften neue Arbeitsplätze entstehen.

Es liegen bislang keine empirischen Untersuchungen zu den direkten Arbeitsplatzeffekten des Emissionshandels vor. Ihre Zahl dürfte sich selbst in einem Land wie Deutschland allerdings eher im drei- bis vierstelligen Bereich bewegen und ist volkswirtschaftlich insofern vernachlässigbar.

### 5.2.2 Indirekte Beschäftigungseffekte

Zahlenmäßig wesentlich bedeutender als die direkten sind die indirekten Arbeitsmarkteffekte, welche über die Veränderung der Faktorpreisrelationen und eine Verschiebung von Angebot und Nachfrage nach Energie eintreten (siehe auch OECD 1998, S. 46ff.). Sie lassen sich grob in drei Wirkungsketten differenzieren:

Leakage: Die Einführung des Emissionshandels führt für die betroffenen Unternehmen zu Mehrkosten, sei es für den Zukauf von Zertifikaten oder für Investitionen in CO<sub>2</sub>-Vermeidungsmaßnahmen. Dies schafft Anreize, die energieintensive Produktion in Länder auszulagern (leakage), welche nicht Teil des Emissionshandelsregimes sind und wo die Produktionskosten entsprechend niedriger ausfallen. Im strengen Sinne handelt es sich im Falle eines leakage daher um Verteilungskonflikte, da eine Verschiebung der Beschäftigung von einem ins andere Land erfolgt. Handelt es sich nur um Neuinvestitionen, bleiben bestehende Arbeitsplätze in der Regel erhalten; werden Produktionsstandorte indes geschlossen, führt dies zu einem Verlust von Arbeitsplätzen im regulierten Land.

Die Einschätzungen über die Bedeutung von Leakage-Effekten gehen auseinander. Kritiker des Emissionshandels, insbesondere manche energieintensiven Unternehmen, betonen einen klaren Zusammenhang zwischen steigenden umweltpolitischen Auflagen, wie Standards, Ökosteuern oder des Emissionshandels, und dem Anreiz, Produktionsstandorte zu verlagern (siehe z.B. Röder 2002, S. 28). Dagegen steht das Argument, dass Energiekosten selbst in energieintensiven Branchen nur einen vergleichsweise geringen Kostenanteil ausmachen und andere Produktionsfaktoren gravierende Einflussgrößen auf die Entscheidung für oder wider eine Produktionsverlagerung lieferten, wie etwa Lohnkosten, das Angebot von Infrastrukturen

oder das Ausbildungsniveau der Arbeitnehmer (OECD 1998, S. 51). Produktionsbezogene Leakage-Effekte können durch ökonomische Simulationsmodelle üblicherweise nur sehr abstrakt über veränderte Kapitalströme oder aggregierte Produktionsveränderungen abgebildet werden, weswegen numerische Untersuchungen hier nur bedingt Aufschluss liefern.

Substitution: Wenn Unternehmen durch die Einführung eines Emissionshandels Mehrkosten auferlegt bekommen, werden die Unternehmen entweder versuchen, diese erhöhten Produktionskosten in Form erhöhter Preise der jeweiligen Produkte an die Konsumenten weiterzugeben,

oder es erfolgt eine Faktorsubstitution (statt Energie wird Kapital oder Arbeit eingesetzt). Da teurere Produkte in der Regel weniger nachgefragt werden, erfolgt auch eine Reduktion des Angebots bzw. der Produktionsmenge, wodurch Arbeitsplätze wegfallen. Nur wenn die Faktor- und Güternachfrage nach Energie in hohem Maße preis-unelastisch ist, wird dies keine Auswirkungen auf die Arbeitsplätze in den entsprechenden Branchen haben. Das Angebot kann aber auch dann reduziert werden, wenn a) inländische Produkte nach einer Preissteigerung durch andere, weniger emissionsintensive substituiert werden (etwa: ein Kohle- durch ein Gaskraftwerk), oder wenn b) Importe aus dem Ausland das inländische Angebot aus dem Markt verdrängen. Eine sinkende Nachfrage nach emissionsintensiven Produkten und Dienstleistungen kann dann zu einem Anstieg von Arbeitsplätzen führen, wenn die stärker nachgefragten klima-freundlicheren Alternativen (Fall a) gleichzeitig arbeitsintensiver sind.

Quantitative Modellrechnungen über die Arbeitsmarkteffekte des Emissionshandels hängen insofern von Annahmen über Preiselastizitäten der Nachfrage nach Energie, über die Substitutionsmöglichkeiten zwischen Importen und inländischen Alternativen, zwischen Faktoren und zwischen Endprodukten sowie über die Arbeitsintensität der Substitute ab.

Kapitalbindung: Selbst wenn die Mehrkosten durch Investitionen in Zertifikatsaufkäufe und Vermeidungsmaßnahmen nicht zu einer veränderten Preisstruktur oder zu einer veränderten Nachfrage auf dem Gütermarkt führen, können damit indirekt Arbeitsplatzeffekte einhergehen. Denn diese Investitionen binden Kapital, welches nun nicht mehr für andere Investitionen – welche selbst zu Arbeitsplatzeffekten führen könnten – zur Verfügung steht (Opportunitätskosten). Kapitalbindung erfolgt ebenso auf der Konsumentenseite: durch erhöhte Preise von Elektrizität und energieintensiven Produkten steht weniger Einkommen für andere Zwecke zur Verfügung, wodurch der Kaufkrafteffekt am Arbeitsmarkt geringer ausfällt. Um diese Effekte zu bilanzieren, müssen Beschäftigungswirkungen von Investitionen in Vermeidungsmaßnahmen mit Beschäftigungswirkungen von alternativen Investitionen verglichen werden.

## 5.3 Quantitative Untersuchung

### 5.3.1 Eine allgemeine Untersuchung

In einer frühen Untersuchung haben Jensen und Rasmussen (2000) drei unterschiedliche Allokationsmethoden und ihre wirtschaftlichen Auswirkungen für die gesamte dänische Indust-

rie analysiert. Sie vergleichen erstens eine vollständige Auktionierung der Zertifikate und die Rückführung der Auktionseinnahmen zur Reduktion von Steuern auf den Faktor Arbeit mit zweitens einer kostenlosen Vergabe nach dem Grandfathering-Prinzip (historische Emissionsmenge) und drittens einer output-orientierten Vergabe, die sich am Marktanteil orientiert. Für ihre Berechnungen verwenden sie ein allgemeines Gleichgewichtsmodell; es soll das (damalige) dänische Klimaschutzziel einer Emissionsreduktion in Höhe von 20 Prozent im Vergleich zum Basisjahr 1988 im Jahre 2005 erreicht werden.

Die erste Variante, bei der Auktionseinnahmen rückgeführt werden, führt im Ergebnis einerseits zu den geringsten Wohlfahrtsverlusten, andererseits aber zur größten Angebotsreduzierung energieintensiver Produkte und damit zu einem Beschäftigungsrückgang in den entsprechenden Sektoren. Dieser Rückgang wird aber überkompensiert durch die Steuererleichterungen auch von nicht-energieintensiven Sektoren, sodass es gegenüber dem Referenzszenario (*business-as-usual* bzw. Weiterführung bisheriger Maßnahmen ohne Emissionshandel) insgesamt zu einem bis 2040 stabilen Beschäftigungsanstieg von rund 1,5 Prozent kommt (Jesper/Rasmussen 2000, S. 112 und 126). Die zweite Variante kompensiert zwar energieintensive Industrien, führt jedoch zu höheren gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrtsverlusten und erhöhten gesamtwirtschaftlichen Vermeidungskosten. Die in der Folge gesunkenen Real-Einkommen führen in der Summe zu einem Rückgang der Beschäftigung um rund 1 Prozent, mit noch geringfügig fallender Tendenz bis 2040; es ist der Beschäftigungsrückgang, welcher die in dieser Variante am stärksten ausfallenden gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrtseffekte zu verantworten hat (ebd., S. 112, 126, 130). Variante drei schließlich generiert ebenso hohe Wohlfahrtsverluste, reduziert aber die gesamtwirtschaftlichen Vermeidungskosten gegenüber Variante zwei. So bleibt die Beschäftigungslage in der Summe stabil (ebd., S. 112 und 126).

### 5.3.2 Untersuchungen zum internationalen Emissionshandel

Es liegen eine Reihe von Untersuchungen vor, welche die ökonomischen Wirkungen des im Kyoto-Protokoll verankerten zwischenstaatlichen Emissionshandels auf die USA untersuchen. Einige der Studien modellieren dabei auch Arbeitsmarkteffekte. Die U.S. Energy Information Administration (1998) etwa gelangt mit Hilfe ihres Energiesystemmodells NEMS bei einem nationalen Reduktionsziel von -7 Prozent gegenüber 1990 zu dem Schluss, dass – je nach Höhe des Zertifikatspreises – die USA zwischen 2008 und 2010 Arbeitsplatzverluste zwischen -0,5 und -2 Prozent hinnehmen müssten, dieser Rückgang sich aber zwischen 2012 und 2016 abflachen oder sogar zu einer vorübergehenden Arbeitsplatzsteigerung bis +0,5 Prozent führen würde, und sich ab 2020 schließlich wieder auf dem Ausgangsniveau einpendeln würde. Die Schwankungen gehen auf verschiedene Modellannahmen zurück und fallen umso geringer aus, je mehr Zertifikate gehandelt werden können und umso höher, je restriktiver der Handel ausgestaltet wird, was damit letztendlich auf einen geringeren Zertifikatspreis zurückzuführen ist (U.S. EIA 1998). Eine Diskussion weiterer Studien mit ähnlichen Ergebnissen findet sich in Global Climate Coalition (2000). Dabei ist anzumerken, dass alle Studien analoge Ausgestaltungsvarianten des Emissionshandels berücksichtigen und nur die Effekte von durch den Emissionshandel unterschiedlich ansteigenden Energiepreisen auf die U.S.-Wirtschaft abbilden.

Eine weitere Untersuchung des Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis (CPB) (de Groot/Manders/Tang 2002) widmet sich hingegen einer Analyse des Einflusses des Kyoto-Protokolls auf die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie. Sie gehen dabei von der Annahme aus, dass die USA das Protokoll nicht ratifiziert haben und ein internationales Emissionshandelssystem existiert. Mit Hilfe des vom CPB entwickelten anwendungsbezogenen allgemeinen Gleichgewichtsmodells WorldScan quantifizieren die Autoren den Einfluss des Kyoto-Protokolls unter anderem auf sektorale Beschäftigungswirkungen. In dem Modell werden die sektoralen Beschäftigungswirkungen und Arbeitsplatzverlagerungseffekte in einzelnen Ländern/Regionen für das Jahr 2010 abgebildet.

Die Modellierung ergibt, dass diese Effekte bezogen auf ein Referenzszenario ohne Kyoto-Ziele relativ gering ausfallen. Am ehesten betreffen Veränderungen die energieintensiven Sektoren, für die das Modell in den westeuropäischen Ländern einen Beschäftigungsrückgang um 0,4 Prozent konstatiert. Je nach Land fallen diese Veränderungen sehr unterschiedlich aus: Spanien weist mit einem Wert von 1,4 Prozent den stärksten, Frankreich mit einem Wert von 0,1 Prozent den geringsten Beschäftigungsrückgang innerhalb der energieintensiven Branche auf – Deutschland liegt mit einem Rückgang um 0,4 Prozent genau im europäischen Durchschnitt. Bezüglich der weiteren modellierten Sektoren sind die Schwankungen zwischen den untersuchten europäischen Ländern weitaus geringer: Im Landwirtschaftssektor liegen die Beschäftigungswirkungen zwischen  $-0,8$  und  $+0,3$  Prozent, im Bereich der Konsumgüter sowie auf dem Dienstleistungssektor schwanken die Werte zwischen  $0,0$  und  $+0,2$  Prozent, im Bereich der Kapitalgüter liegen sie zwischen  $-0,2$  und  $+0,3$  Prozent und im Bereich Handel und Transportwesen bewegen sich die Werte zwischen  $-0,1$  und  $-1,0$  Prozent (de Groot/Manders/Tang 2002, S. 18).

Das Modell zeigt weiterhin auf, dass sich die energieintensive Produktion in Länder verlagert, die das Kyoto-Protokoll nicht ratifiziert haben, wenn auch in nur geringem Maße. So erhöht sich beispielsweise die Beschäftigungsrate in der energieintensiven Branche in den USA lediglich um 0,3 Prozent (edb.). Der vielfach konstatierte Arbeitsplatzverlagerungseffekt tritt demnach nur begrenzt ein, und die Beschäftigungswirkungen sind alles in allem sehr moderat.

Als Ursache für die geringen Beschäftigungsverluste in den europäischen Ländern durch das Kyoto-Protokoll nennen die Autoren die Einführung des internationalen Emissionshandels sowie die Tatsache, dass die USA das Protokoll nicht ratifiziert haben. Gesetzt des hypothetischen Falls einer Ratifizierung des Kyoto-Protokolls durch die USA würden sich die angegebenen Werte für die Länder der EU nach einer erneuten Modellierung ungefähr verdoppeln (edb., S. 20). Die Auswirkungen in den USA lägen im energieintensiven Sektor bei einem Beschäftigungsrückgang von 0,6 Prozent und im Bereich Handel und Transportwesen bei einem Abnahme von 1,5 Prozent; allerdings käme es nur zu einer Verschiebung, und die Gesamtbeschäftigungsrate würde sich nicht verändern (edb.).

### 5.3.3 Drei Untersuchungen zum europäischen Emissionshandel

Zu den Beschäftigungswirkungen eines europäischen Emissionshandel hat der britische Think-Tank Cambridge Economics im Jahre 2000 eine erste Studie erstellt (Cambridge Econometrics 2000). Die Studie untersucht die makroökonomischen Folgewirkungen (u.a. die Beschäftigungswirkungen) eines europäischen Emissionshandels im Vergleich zu einer euro-

paweiten CO<sub>2</sub>-Steuer auf der Basis des E3ME-Modells (Energy – Environment – Economy Model for Europe) für 19 europäische Länder. Das E3ME-Modell ist ein sektoren- und regionalspezifisches Modell, mit dem die ökonomischen und ökologischen Implikationen verschiedener klimapolitischer Instrumente simuliert werden können. Das Modell wurde entwickelt, um Kosten und Nutzen (beispielsweise mit Blick auf die Beschäftigungsentwicklung) unterschiedlicher politischer Politikinstrumente quantifizieren zu können. Das Baseline-Szenario bildet den *business-as-usual* ab, d. h. es findet kein Emissionshandel statt, wobei 1990 das Basisjahr ist. Die Modellierung der ökonomischen Folgewirkungen erfolgt projiziert auf das Jahr 2010 sowohl im Hinblick auf die Einführung einer EU-weiten CO<sub>2</sub>-Steuer als auch auf die Auswirkungen eines europäischen Emissionshandels. Bezüglich des Emissionshandels werden zwei Szenarien modelliert (vgl. ebd., S. 18f.):

- 1) Permits + Profits-Szenario: Einführung eines europäischen Emissionshandelssystems, bei dem alle Zertifikate auf Basis der Emissionen im Jahre 2000 nach dem Grandfathering-Prinzip verteilt werden und die handelnden Unternehmen Gewinne aus dem Verkauf der Zertifikate als Profit einbehalten. In diesem Falle wird angenommen, dass die CO<sub>2</sub>-Minderungsziele bezüglich der bis 2010 ausgestellten Zertifikate 2,3 Prozent unter den Werten von 1990 liegen, um das EU-Triebhausgasminderungsziel von 8 Prozent zu erreichen.
- 2) Permits + Prices-Szenario: Einführung eines europäischen Emissionshandelssystems, bei dem alle Zertifikate auf Basis der Emissionen im Jahre 2000 nach dem Grandfathering-Prinzip verteilt werden und die handelnden Unternehmen Gewinne aus dem Verkauf der Zertifikate in Form von Preissenkungen weitergeben. In diesem Falle wird angenommen, dass die CO<sub>2</sub>-Minderungsziele bezüglich der bis 2010 ausgestellten Zertifikate 2,4 Prozent unter den Werten von 1990 liegen, um das EU-Triebhausgasminderungsziel von 8 Prozent zu erreichen.

Nach einer Modellierung mit dem E3ME-Modell stellt sich die Beschäftigungsentwicklung in 2010 bezogen auf das Basisjahr 1990 auf Grund des Emissionshandels für die 19 in dem Modell abgebildeten europäischen Länder folgendermaßen dar (ebd., S. 30): Bei einem Permits + Profits-Emissionshandel nimmt die Beschäftigung um 0,1 Prozent ab, bei einem Permits + Prices-Emissionshandel hingegen um 0,3 Prozent. Im Vergleich dazu ergibt die Modellierung bei einer CO<sub>2</sub>-Steuer eine Zunahme der Beschäftigtenrate um 1,0 Prozent, was von den Autoren mit der „double dividend“-Hypothese erklärt wird. Darüber hinaus liefert das Modell eine Spezifizierung der Ergebnisse nach einzelnen Ländern/Regionen (ebd., S. 32). Die Werte für die Modellierung Deutschlands werden in Ost und West gegliedert aufgeführt. Im Vergleich zum Baseline-Szenario bildet das Modell für Westdeutschland einen Rückgang der Beschäftigung um 0,26 Prozent bei Permits + Profits (absolut: Verlust von 75.000 Arbeitsplätzen) bzw. einen Rückgang um -0,14 Prozent bei Permits + Prices (minus 40.300 Arbeitsplätze) ab. Für Ostdeutschland liegen die Werte bei einer Zunahme um 0,14 Prozent bei Permits + Profits (absolut: Zugewinn von 7.600 Arbeitsplätzen) bzw. einem Rückgang um 1,14 Prozent bei Permits + Prices (minus 60.700 Arbeitsplätze) (für eine branchenspezifische Modellierung der Beschäftigungsentwicklung siehe ebd., S. 33). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das E3ME-Modell im Vergleich zum Baseline-Szenario auf Grund der Einführung des europäischen Emissionshandels für die Bundesrepublik einen leichten Beschäftigungsrückgang zwischen 1990 und 2010 prognostiziert. Lediglich in Ostdeutschland würde bei einem Permits + Profits-Szenario die Beschäftigtenrate in diesem Zeitraum leicht ansteigen.

Darüber hinaus liegen zwei ökonomische Modelluntersuchungen zu den Beschäftigungswirkungen der EU-Emissionshandelsrichtlinie vor. Im Unterschied zu der Studie von Cambridge Economics haben diese gemeinsam, dass sie genau die von der Richtlinie erfassten Wirtschaftssektoren modellieren. Böhringer und Lange (2003) betrachten in ihrer Untersuchung bereits grundsätzliche Wirkungszusammenhänge der (damals noch geplanten) EU-Emissionshandelsrichtlinie und analysieren, welche Effekte verschiedene Ausgestaltungsoptionen generieren könnten. Ähnlich der Untersuchung von Jensen und Rasmussen (2000) vergleichen sie, wie sich zwei – politisch leichter durchsetzbare – kostenlose Verfahren der Zertifikatsvergabe an energieintensive Industrien, einerseits orientiert an der historischen Emissionsmenge (Grandfathering) und andererseits an der historischen und an einem Benchmark orientierten Emissionsintensität, gegenüber einer Allokation von Zertifikaten verhalten. Diese drei Varianten werden jeweils unter zwei verschiedenen Ausgangsbedingungen gerechnet, einerseits in einem national geschlossenen und andererseits in einem international offenen Handelssystem, und obendrein mit der Einführung einer Ökosteuer, also einer Energiepreissteigerung gänzlich ohne Handlungsoption, verglichen. Dabei wird betrachtet, wie sich die Produktion (der Output) der betroffenen Unternehmen, ihre Emissionen, das Handelsvolumen, die Anpassungskosten und schließlich die Beschäftigung jeweils entlang eines ansteigenden Zertifikatspreises verändert. Für ihre Untersuchungen kombinieren Böhringer und Lange ein berechenbares allgemeines Gleichgewichtsmodell mit einem Partialmarktmodell des Emissionsmarktes.

Die Hypothese ihrer Untersuchung ist, dass die kostenlose Vergabe gegenüber der Auktionierung Arbeitsplätze sichern würde, jedoch mit einem trade-off an ökonomischer Effizienz einherginge. Diese Hypothese wird durch die Modellrechnungen bestätigt. Ergebnis der Untersuchung ist, dass der trade-off umso größer ist, je höher der internationale Zertifikatspreis ist, und dementsprechend je höher die Kosten für die Auktionierung sind; nur bei geringen Zertifikatspreisen gibt es einen vernachlässigbaren trade-off bei der output- und der emissionsorientierten Allokationsmethode (Böhringer/Lange 2003, S. 19). Allerdings gilt nicht in allen Fällen, dass hohe Zertifikatspreise mit hohen Arbeitsplatzverlusten in der energieintensiven Industrie einhergehen. Dabei ist es interessant, dass die Allokationsmethode, die sich an der historischen Emissionsmenge orientiert (Grandfathering), zwischen 0% Veränderung bei einem Zertifikatspreis von 10 US-Dollar pro Tonne Kohlenstoff bis ca. -4,5% bei 300 US-Dollar schwankt; hier ist also nur eine leichte Beschäftigungsabnahme zu konstatieren. Hingegen steigt die Beschäftigung bei der Allokationsmethode, die sich an der Emissionsintensität des Outputs orientiert, leicht von 0% Beschäftigungseffekte bei 10 US-Dollar auf rund +2% bei 300 US-Dollar Zertifikatspreis an. Eine Auktionierung der Zertifikate würde demgegenüber zu einem Beschäftigungsdefizit zwischen 1 Prozent bei 10 US-Dollar bis zu ca. 26 Prozent bei 300 US-Dollar führen – allerdings lediglich in jenen Branchen, die am Emissionshandel teilnehmen (vgl. Kapitel 5.3.1). Im Vergleich zu diesen drei Varianten würde die Einführung einer Ökosteuer zu einem Rückgang von 8,2 Prozent Beschäftigung führen (ebd., S. 20).

In einer weiteren, additionalen Modellrechnung derselben Untersuchung haben die Autoren nicht nur ein Land (Deutschland) gegenüber dem Rest der Welt abgebildet, sondern die EU-15 als Gruppe in einem offenen Handelssystem dargestellt, wobei alle EU-Länder die gleichen Emissionsziele und Vergabeverfahren wählen. Die Beschäftigungswirkungen weichen in

der Tendenz nicht von den oben beschriebenen Rechnungen ab, lediglich die Zahlen variieren: eine Auktionierung führt bei 300 US-Dollar pro Tonne Kohlenstoff nur zu einem Beschäftigungsrückgang von 10 Prozent, die emissions-orientierte Vergabe bei selbem Preis zu einer Abnahme von unter 2 Prozent und die output-orientierte Vergabe zu einer Zunahme von 3 Prozent. Die Einführung einer Ökosteuer läuft auf einen Beschäftigungsverlust von ca. 3,5 Prozent hinaus (ebd., S. 23).

Ebenso auf die Einführung der Emissionshandelsrichtlinie in Deutschland bezieht sich eine Untersuchung von Ströbele et al. (Ströbele et al. 2001; AGEP/RWI 2002; die Untersuchung wird ausführlich besprochen in Matthes et al. 2003). Sie stellt kombinierte Berechnungen in verschiedenen Partial-Modellen an, um Wechselwirkungen zwischen der Energiewirtschaft, einzelnen Sektoren und der Gesamtwirtschaft abzubilden. Die Untersuchung vergleicht das Referenzszenario eines international flexiblen Emissionshandels (zwischen Annex-B-Staaten des Kyoto-Protokolls) mit einem PolitikszENARIO, indem ein rein EU-interner Handel nach Maßgabe der EU-Richtlinie stattfindet. Allerdings bilden die Modelle nicht den Handel selbst ab, sondern können nur die Auswirkungen unterschiedlicher Zertifikatspreise der beiden Varianten vergleichen, wobei die Preise exogen vorgegeben werden.

Im (unveröffentlichten) Zwischenbericht 2001 sprachen die Autoren von einem Arbeitsplatzverlust in Deutschland in den betroffenen Sektoren von insgesamt bis zu 56.000 Personen bis 2012 – ohne allerdings transparent zu machen, was die Berechnungsgrundlage war (Ströbele et al. 2001, S. 8). Auch die Berechnungen im abschließenden Dokument (AGEP/RWI 2002) liefern nur Schätzungen der Beschäftigungswirkungen für die Jahre 2010 und 2020. Dabei werden auch hier die Parameter der Untersuchungen nicht offen gelegt; der Aussagewert der Zahlen ist insofern als gering einzuschätzen. Die Zahlen selbst deuten auf geringe Beschäftigungseffekte verschiedener Ausgestaltungsoptionen hin und variieren zwischen –0,07 und –0,06 Prozent bis 2010 sowie –0,09 und –0,07 Prozent bis 2020 gegenüber dem Referenzszenario. Unter Einbezug von JI und CDM fallen diese Tendenzen noch geringer aus (ebd.).

#### 5.3.4 Zwei Untersuchungen zu projektbasierten Mechanismen

Neben diesen Untersuchungen liegen zwei Analysen zu den Beschäftigungswirkungen von CDM-Projekten vor. Markandya und Boyd (1999) haben eine Fallstudie in Mauritius über „The indirect costs and benefits of greenhouse gas limitations“ durchgeführt. Sie betrachten sechs verschiedene Projekte, darunter ein Windkraft-Projekt, die Einführung von PV-Straßenbeleuchtung, die Einführung von solarbetriebenen Wasserboilern, die verstärkte Nutzung von Bagasse als Energieträger sowie die Einführung von mit Flüssiggas betriebenen Bussen. Allerdings betrachten sie ausschließlich direkte Arbeitsplatzeffekte und keine indirekten Effekte, die mit einer veränderten Wirtschaftsstruktur bzw. einem veränderten Nachfrageverhalten einhergehen. Ihre Ergebnisse, die je Projekt Arbeitsplatzeffekte maximal im dreistelligen Bereich konstatieren, sind dementsprechend nur sehr eingeschränkt generalisierbar. Zudem gestehen die Autoren selbst ein, dass der methodische Ansatz – der rein auf groben Schätzungen bzw. Erfahrungswerten basiert – zur Berechnung von Netto-Beschäftigungseffekten zweifelhaft ist (ebd., S. 23).

Markandya und Boyd haben indes Beschäftigungseffekte nicht nur in Beschäftigungszahlen, sondern in Form von Wohlstandseffekten kalkuliert, die durch die Beschäftigungszu- oder -abnahme entstehen. Eine Zunahme der Beschäftigung führt beispielsweise dann zu volkswirtschaftlichen Wohlstandseffekten, wenn sie ein erhöhtes Steuereinkommen generiert, die Gesundheitskosten beeinflusst, zu Todesfällen führt, respektive die Lebenserwartung steigert usw. (ebd., S. 24ff.). Da es sich um konkrete Einzelprojekte handelt, sind auch die Wohlfahrtseffekte volkswirtschaftlich jedoch vernachlässigbar.

Böhringer, Conrad und Löschel (2003) vergleichen in einer Untersuchung, wie sich die Auswirkungen der Ökologischen Steuerreform in Deutschland verändern, wenn der Zukauf von Zertifikaten aus CDM-Projekten geringere Steuersätze trotz Beibehaltung der gleichen klimapolitischen Ziele ermöglicht. Sie beschränken die Berechnungen in ihrem allgemeinen Gleichgewichtsmodell darauf, dass Deutschland mit Indien Emissionshandel betreibt. Im Ergebnis können durch den Zukauf von Zertifikaten die negativen Arbeitsmarkteffekte abgemildert werden, die durch die Ökologische Steuerreform vor allem in energieintensiven Sektoren entstehen. Höhere Steuersätze führen – trotz vollständiger Rückführung der Steuereinnahmen zur Reduktion der Steuersätze auf den Faktor Arbeit – wider der „double dividend“ These aufgrund bestehender Arbeitsmarktverzerrungen und wegen Nachfragerückgängen aufgrund erhöhter Energiepreise nur eingeschränkt zu steigender Beschäftigung. Im Modell mit Zertifikats-Zukauf liegen die Beschäftigungseffekte daher in der Summe nur bei einem Zuwachs von 0,49 Prozent bis 2005 gegenüber 1995, während im Modell mit ausschließlich der Ökologischen Steuerreform durch die erhöhten Energiepreise und damit einhergehenden Nachfragerückgang und Substitutionseffekte im selben Zeitraum ein Beschäftigungsrückgang von 0,22 Prozent antizipiert wird.

## 5.4 Fazit

Beschäftigungseffekte haben in der Diskussion um die Einführung und Ausgestaltung des Emissionshandels auf internationaler bzw. europäischer und nationaler Ebene eine überraschend geringe Rolle gespielt. Da in der ökonomischen Theorie die Beschäftigungseffekte einer Ökologischen Steuerreform und eines Emissionshandels sehr ähnlich sind, erstaunt es, dass die Diskussion um die Ökosteuer in Deutschland von diversen ökonomischen Modellstudien begleitet wurde, diese jedoch keinen Eingang in die Diskussion um den Emissionshandel gefunden haben. Die extrem dünne Lage der Literatur zu diesem Thema lässt insofern als erstes Fazit den Schluss zu, großen Forschungsbedarf anzumelden.

Nach Ansicht der ökonomischen Theorie werden die Beschäftigungseffekte eines auktionierten Emissionshandels sehr ähnlich denen einer Umweltabgabe ausfallen. Gleichzeitig wird die Auktion von Zertifikaten als die kosteneffiziente Form der Zertifikatsvergabe hervorgehoben, und eine Rückführung der Auktionsgewinne zur Reduzierung bestehender Abgaben auf den Faktor Arbeit dürfte entsprechend der „double dividend“ Hypothese zu den relativ positivsten Arbeitsplatzeffekten führen (Boemare/Quirion 2002). Insofern lässt sich für eine grobe Abschätzung der Beschäftigungseffekte eines Emissionshandels auf die mannigfaltigen Studien zur Wirkung von Ökosteuern zurückgreifen. Hier bleiben Varianzen, die auf die besondere Ausgestaltung eines Handelssystems zurückgehen, aber stets unberücksichtigt.

Es liegen insgesamt nur drei Untersuchungen zu den Beschäftigungswirkungen des europäischen Emissionshandelshandels vor, neben einer weiteren Untersuchung für einen internationalen Emissionshandel im Rahmen des Kyoto-Protokolls sowie einer Untersuchung für einen Emissionshandel in Dänemark als auch zwei weiteren Untersuchungen zu den Wirkungen von CDM-Projekten. Die vier Untersuchungen zum Emissionshandel verbindet die Gemeinsamkeit, dass sie alle unterschiedlichen Ausgestaltungsoptionen eines Emissionshandels mit einem Referenzszenario verglichen haben. Sowohl die verschiedenen Ausgangsbedingungen als auch die großen Unterschiede in der Wahl der Ausgestaltungsoptionen lassen jedoch keinen direkten Vergleich der Untersuchungsergebnisse zu. Zusammenfassend lässt sich lediglich konstatieren, dass die antizipierten Beschäftigungseffekte eines Emissionshandels insgesamt neutral bis leicht negativ bzw. im Falle einer Auktionierung der Zertifikate leicht positiv ausfallen.

## 6 Zusammenfassung

Im vorliegenden Ergänzungsprojekt wurden die makroökonomischen Wirkungen des Europäischen Emissionshandelsystems untersucht. Ziel des Forschungsprojekts war es, anhand von drei Studien eine Übersicht über die aktuelle Diskussion und den Stand der Forschung bezüglich verschiedener Aspekte makroökonomischer Wirkungen des EU-ETS darzustellen. Insbesondere wurde der Einfluss des Europäischen Emissionshandels auf das Innovationsverhalten, die Verteilung der ökonomischen Kosten sowie die Beschäftigungsstruktur der Marktteilnehmer dieses umweltpolitischen Regimes beleuchtet. Hierzu wurden nach einer Einführung in die methodischen Grundlagen der ökonomischen Modellierung für jedes der drei Themengebiete die grundsätzlichen Wirkungszusammenhänge erläutert. Im Hinblick auf die quantitativen Abschätzungen der makroökonomischen Wirkungen des EU-ETS wurde ein Einblick in die mittels ökonomischer Modellierung bzw. ökonometrischer Schätzung kalkulierten Ergebnisse für die drei Untersuchungsaspekte Innovations-, Verteilungs- und Beschäftigungswirkungen vermittelt.

Die Innovationswirkungen des Emissionshandels sind nach der durchgeführten Untersuchung als sehr komplex einzuschätzen. Grundsätzlich begünstigt der Emissionshandel die Innovationsanreize seiner Marktteilnehmer. Durch die Regulierung mit Emissionshandel entstehen Innovationsanreize für Firmen, deren Grenzvermeidungskosten geringer als der Zertifikatspreis sind. Die resultierenden Innovationen sind nicht nur ein Gewinn für den Innovator, denn auch die anderen Marktteilnehmer gewinnen durch die Verbesserung in der Vermeidungstechnologie – sei es durch Adaption der Technik oder durch einen fallenden Preis der Rechte. Emissionshandelssysteme generieren also Innovationen, solange diese ökonomisch sinnvoll sind.

Bezüglich der Verteilungswirkungen des Emissionshandels stellt sich die Frage nach „Gewinnern und Verlierern“ unter den Mitgliedsstaaten im EU-ETS. Hier lässt sich schlussfolgern, dass im Aggregat alle beteiligten Länder aus dem EHS gewinnen. Eine Ausweitung des Handelssystems führt zudem für jeden Teilnehmer zu geringeren Kosten. Deutschland und Großbritannien erweisen sich hierbei als größte Netto-Verkäufer von Emissionszertifikaten – und gehen demnach als „Gewinner“ hervor. Für die sektoralen Belastungen innerhalb der Mitgliedsstaaten im EU-ETS ergibt sich ein durchweg positives Bild. Alle Sektoren profitieren vom EHS, wobei dieser Effekt nicht nur auf die Sektoren innerhalb des Handelssystems begrenzt ist. Insbesondere profitieren letztere jedoch von den günstigen Vermeidungsoptionen der neuen EU-Beitrittsstaaten.

Beschäftigungseffekte haben in der wissenschaftlichen Diskussion um die Einführung und Ausgestaltung des Emissionshandels auf internationaler wie auch nationaler Ebene eine überraschend geringe Rolle gespielt. Nach der ökonomischen Theorie werden die Beschäftigungseffekte eines auktionierten Emissionshandels sehr ähnlich denen einer Umweltabgabe ausfallen. Gleichzeitig wird die Auktion von Zertifikaten als die kosteneffiziente Form der Zertifikatsvergabe hervorgehoben. Eine Rückführung der Auktionsgewinne zur Reduzierung beste-

hender Abgaben auf den Faktor Arbeit sollte entsprechend der „double dividend“ Hypothese zu den relativ positivsten Arbeitsplatzeffekten führen. Da die untersuchten Studien jedoch sehr unterschiedliche Annahmen aufweisen und Ausgestaltungsoptionen besprechen, lassen sie keinen direkten Vergleich der Untersuchungsergebnisse zu. Zusammenfassend lässt sich allerdings konstatieren, dass die antizipierten Beschäftigungswirkungen des Emissionshandels insgesamt zwischen leicht positiv und leicht negativ ausfallen.

## 7 Literaturverzeichnis

- AGEP (Arbeitsgemeinschaft Energie- und Systemplanung) und RWI (Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung) (2002): Zertifikatehandel auf dem Prüfstand – Ausgestaltungsprobleme des Vorschlags der EU für eine Richtlinie zum Emissionshandel, Münster, Hamburg, London.
- Boemare, C./Quirion, P. (2002): Implementing Greenhouse Gas Trading in Europe: Lessons from Economic Literature and International Experiences, Discussion Paper from Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement, Nogent sur Marne.
- Böhringer, C. (1999): Die Kosten des Klimaschutzes. Eine Interpretationshilfe für die mit quantitativen Wirtschaftsmodellen ermittelten Kostenschätzungen. In: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht, Bd. 3 (1999), Jg. 22, S. 369-384.
- Böhringer, C./Lange, A. (2003): Economic Implications of Alternative Allocations Schemes for Emissions Allowances, ZEW-Discussion Paper No. 03-22, Mannheim.
- Böhringer, C./Conrad, K./Löschel, A. (2003): Carbon Taxes and Joint Implementation. An Applied General Equilibrium Analysis for Germany and India, Environment and Resource Economics 24, S. 49-76.
- Bosello, F./Carraro, C./Galeotti, M. (1998): The Double Dividend Issue: Modeling Strategies and Empirical Findings, paper presented at the Symposium on "Environment, Energy, Economy. A Sustainable Development", Toward the National Conference on Energy and Environment, Rome 12.-13. October 1998.
- Bovenberg, L./Goulder, L. (1993): Integrating Environmental and Distortionary Taxes: General Equilibrium Analysis, paper presented at the Conference on „Market Approaches to Environmental Protection“, Stanford University, 3.-4. December 1993.
- Brouns, B. (2004): Was ist gerecht? Nutzungsrechte an den natürlichen Ressourcen in der Klima- und Biodiversitätspolitik, Wuppertal Paper Nr. 146, Wuppertal.
- Bucci, A. (1998): Market Power and Growth in a Schumpeterian Framework of Innovation, Discussion Paper Nr. 1998024, Université catholique de Louvain.
- Buonanno, P./Carraro, C./Castelnuovo, E./Galeotti, M. (2000): Emission Trading Restrictions with Endogenous Technological Change, CEPR Discussion Paper No. 2514.

- Cambridge Econometrics (2000): Industrial benefits and costs of greenhouse gas abatement strategies: applications of E3ME, E3ME-Project Working Paper for Task 9: GHG abatement benefits and costs, Cambridge.
- Capros, P./Mantzou, L. (2000): The economic effects of EU-wide industry level emissions trading to reduce greenhouse gases. Results from PRIMES Energy-Systems Model, Athens, Greece.
- Capros, P./Georgakopoulos, T./Mantzou, L. (1998): Economic and energy system implications of European CO<sub>2</sub> mitigation strategy for 2010: a model based analysis, International Journal of Environment and Pollution, Vol. 10, Nos 3-4, Inter-science Enterprises, Geneva.
- Carraro, C./Siniscalco, D. (eds.) (1996): Environmental Fiscal Reform and Unemployment, Dordrecht.
- Centre for Economic Studies, KULeuven (2002): The Role of Innovation and Policy Design in Energy and Environment for a Sustainable Growth in Europe, Final Report, Leuven.
- Cramton, P./Kerr, S. (2002): Tradeable Carbon Permit Auctions – How and why to auction not grandfather, Energy Policy 30, S. 333-345.
- DeCanio, St. J. (2003): Economic models of climate change. A critique, New York.
- de Groot, H.L.F./Manders, T./Tang, P.J.G. (2002): Relocation effects of climate change policies, CPB Report 2002/4, S. 17-21.
- Downing, P.B./White, L.W. (1986): Innovation in Pollution Control, Journal of Environmental Economics and Management 13, S. 18-29.
- Estrada-Oyuela, R.A. (2002): Equity and Climate Change. In: Pinguelli-Rosa, L./Munasinghe, M.: Ethics, Equity and International Negotiations on Climate Change, Massachusetts, S. 36-46.
- Fischer, C. (2000): Climate Change Policy Choices and Technical Innovation, Climate Issue Brief #20.
- Fischer, C./Parry, I.W.H./Pizer, W.A. (2002): How Large Are the Welfare Gains from Technological Innovation Induced by Environmental Policies, Resources for the Future Discussion Paper 02-57.
- Fischer, C./Parry, I.W.H./Pizer, W.A. (2003): Instrument Choice for Environmental Protection when technological innovation is endogenous, Journal of Environmental Economics and Management 45, S. 523-545.

- Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen in Deutschland (2002): Energiemodelle zum Kernenergieausstieg in Deutschland. Effekte und Wirkungen eines Verzichts auf Strom aus Kernkraftwerken, Bd. 34, Umwelt und Ökonomie. Physika-Verlag, Heidelberg.
- Gagelmann, F. (2003): E. T. and Innovation – Science Fiction or Reality? An Assessment of the Impact of Emissions Trading on Innovation, UFZ-Discussion Papers 13/2003.
- Global Climate Coalition (ed.) (2000): The Impacts of the Kyoto Protocol. Compiled Report by the Economic Committee, Washington.
- Goulder, L.H. (1995): Environmental Taxation and the Double Dividend: A Reader's Guide, *International Tax and Public Finance* 2 (1995), S. 157-183.
- Goulder, L.H./Mathai, K. (2000): Optimal CO<sub>2</sub> Abatement in the Presence of Induced Technological Change, *Journal of Environmental Economics and Management* 39, S. 1-38.
- Helm, C. (1999): Applying Fairness Criteria to the Allocation of Climate Protection Burdens: An Economic Perspective. In: Toth, F. L. (ed.): *Fair Weather? Equity Concerns in Climate Change*, London, S. 80-93.
- Institute for Prospective Technological Studies IPTS (2000): Preliminary Analysis of the Implementation of an EU-Wide Permit Trading Scheme on CO<sub>2</sub> Emissions Abatement Costs. Results from the POLES model, Sevilla.
- Jaffe, A.B./Stavins, R.N. (1994): Dynamic Incentives of Environmental Regulations: The Effects of Alternative Policy Instruments on Technology Diffusion, *Journal of Environmental Economics and Management* 29, S. 43-63.
- Janssen, M. (1998): *Modelling Global Change. The Art of Integrated Assessment Modelling*, Cheltenham.
- Jensen, J./Rasmussen, T.N. (2000): Allocation of CO<sub>2</sub> Emissions Permits: A General Equilibrium Analysis of Policy Instruments, *Journal of Environmental Economics and Management* 40, S. 111-136.
- Jung, C./Krutilla, K./Boyd, R. (1996): Incentives for Advanced Pollution Abatement Technology at the Industry Level: An Evaluation of Policy Alternatives, *Journal of Environmental Economics and Management* 30, S. 95-111.
- Kallbekken, St. (2004): The cost of sectoral differentiation: The case of the EU emissions trading scheme, CICERO Working Paper 2004: 08, Oslo.
- Kemfert, C. (2001): International Kyoto mechanisms and equity, Oldenburg Discussion Paper V221-01.

- Kemfert, C. (2004): Die ökonomischen Kosten des Klimawandels, *Wirtschaft, Politik, Wissenschaft / DIW Berlin*. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin, Bd. 71, 42, S. 615-622.
- Kennedy, P.W./Laplante, B. (1999): Environmental Policy and time consistency: emission taxes and emissions trading. In: Petrakis, E./Sartzetakis, E.S./Xepapadeas, A.: *Environmental Regulation and Market Power*, Edward Elgar Publishing, Northampton MA.
- Klepper, G./Peterson, S. (2004): The EU Emissions Trading Scheme, Allowance Prices, Trade Flows, Competitiveness Effects, Kiel Working Paper No. 1195, Kiel Institute for World Economics, Kiel.
- Laffont, J.-J./Tirole, J. (1996a): Pollution permits and environmental innovation, *Journal of Public Economics* 62, S. 127-140.
- Laffont, J.-J./Tirole, J. (1996b): Pollution permits and compliance strategies, *Journal of Public Economics* 62, S. 85-125.
- Leimbach, M. (2003): Equity and carbon emissions trading: a model analysis, *Energy Policy* 31, S. 1033-1044.
- Löschel, A. (2002): Technological change in economic models of environmental policy: a survey, *Ecological Economics* 43, S. 105-126.
- Lucht, M. (2005): Das Umfeld des Emissionshandels im Überblick. In: Lucht, M./Spangardt, G. (Hg.): *Emissionshandel. Ökonomische Prinzipien, rechtliche Regelungen und technische Lösungen für den Klimaschutz*, S. 1-28.
- Magat, W.A. (1976): Pollution Control and Technological Advance: A Dynamic Model of a Firm, *Journal of Environmental Economics and Management* 5, S. 1-25.
- Markandya, A./Boyd, R. (1999): The indirect costs and benefits of greenhouse gas limitations: Mauritius Case Study, UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, Riso.
- Matthes, F.C. et al. (2003): Auswirkungen des europäischen Emissionshandelssystem auf die deutsche Industrie, Berlin/Köln: Öko-Institut, DIW und Ecofys.
- Michaelis, P. (1996): *Ökonomische Instrumente in der Umweltpolitik: eine anwendungsorientierte Einführung*, Physica-Verlag, Heidelberg.
- Milliman, S.R./Prince, R. (1989): Firm Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control, *Journal of Environmental Economics and Management* 17, S. 247-265.
- Montero, J.-P. (2002): Permits, Standards, and Technology Innovation, *Journal of Environmental Economics and Management* 44, S. 23-44.

- Nordhaus, W. D./Yang, Z. (1996): A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies, *American Economic Review* 4, S. 741-765.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (1998): *Umweltschutz und Beschäftigung*, Paris.
- Ott, H./Sachs, W. (2002): The ethics of international emissions trading. In: Pinguelli-Rosa, L./Munasinghe, M.: *Ethics, Equity and International Negotiations on Climate Change*, Massachusetts, S. 159-178.
- Parry, I.W.H. (1996): The Choice between Emission Taxes and Tradable Permits When Technological Innovation is Endogenous, *Discussion Paper* 96-31.
- Parry, I.W.H. (1998): Pollution Regulation and the Efficiency Gains from Technological Innovation, *Resources to the Future*, *Discussion Paper* 98-04.
- Rasmussen, T.N. (2001): CO<sub>2</sub> abatement policy with learning-by-doing in renewable energy, *Resource and Energy Economics* 23, S. 297-325.
- Requate, T. (1998): Incentives to innovate under emission taxes and tradeable permits, *European Journal of Political Economy* 14, S. 139-165.
- Requate, T./Unold, W. (2003): Environmental policy incentives to adopt advanced abatement technology: Will the true ranking please stand up?, *European Economic Review* 47, S. 125-146.
- Roeder, G. (2002): Emissionshandel aus Sicht eines energieintensiven Unternehmens. Wirkungen des EU-RL-Vorschlags vom 23. Oktober 2001 auf Wettbewerbsfähigkeit, Beschäftigung und Klimaschutz, *VK-Mitteilungen* 2-2002, S. 26-30.
- Schmidt, H. (1997): Internationale Verteilungswirkungen des Klimaschutzes: eine Simulation der Verteilungswirkungen möglicher Klimaschutz-Abkommen und deren mögliche Auswirkungen auf das Ergebnis der Klimaverhandlungen, Hamburg.
- Schwarze, R. (2001): Zur dynamischen Anreizwirkung von Umweltzertifikaten, *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht* 4, S. 501-536.
- Springer, U. (2003): The market for tradable GHG permits under the Kyoto Protocol: A survey of model studies, *Energy Economics*, Vol. 25, No. 5, S. 527-551.
- Ströbele, W./Hillebrand, B. et al. (2001): Zertifikatehandel auf dem Prüfstand – Ausgestaltungsprobleme des Vorschlags der EU für eine Richtlinie zum Emissionshandel, Unveröffentlichter Zwischenbericht, Essen und Münster.
- U.S. EIA (United States Energy Information Administration) (1998): *Impacts of the Kyoto Protocol on U.S. Energy Markets and Economic Activity*, Washington.

UBA (Umweltbundesamt) (1997): Umweltschutz und Beschäftigung. Brückenschlag für eine lebenswerte Zukunft, Berlin.