

**Holger Kramer**

# Umweltsteuer als strategisches Instrument

Eine Simulationsstudie mit Faktorsubstitution für offene,  
nicht symmetrische Volkswirtschaften

**Diplomarbeit**

---

Holger Kramer

# Umweltsteuer als strategisches Instrument

*Eine Simulationsstudie mit Faktorsubstitution für offene, nicht symmetrische Volkswirtschaften*

**Diplomarbeit**

**an der Universität Mannheim**

**Fachbereich Wirtschaftswissenschaften**

**Institut für Slavische Philologie, Lehrstuhl für Mikroökonomie, Prof. Dr.**

**Klaus Conrad**

**Januar 1996 Abgabe**



Diplomica GmbH —  
Hermannstal 119k —  
22119 Hamburg —

Fon: 040 / 655 99 20 —  
Fax: 040 / 655 99 222 —

agentur@diplom.de —  
www.diplom.de —

ID 3973

Kramer, Holger: Umweltsteuer als strategisches Instrument - Eine Simulationsstudie mit Faktorsubstitution für offene, nicht symmetrische Volkswirtschaften

Hamburg: Diplomica GmbH, 2001

Zugl.: Mannheim, Universität, Diplomarbeit, 1996

---

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Diplomica GmbH

<http://www.diplom.de>, Hamburg 2001

Printed in Germany

## **Vorwort**

Bedanken möchte ich mich bei allen, die mich tatkräftig bei der Erstellung der Diplomarbeit unterstützten. Im besonderen sind dies Frank Dierigsweiler und Markus Aleksy, die mir wertvolle Hinweise zur Implementation der Simulation in C++ gaben. Ebenso danke ich meiner Freundin Martina, die mich beim Korrekturlesen unterstützte.

Deidesheim, 05. Januar 1996

Holger Kramer

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	V
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	VII
<b>Motivation</b> .....	1
<b>1 Emissionssteuer und Emissionsstandard: Nicht nur Instrument zur Emissionskontrolle, sondern ebenso strategisches Instrument der Regierungen</b> .....	5
1.1 Umwelt als öffentliches, aber nicht frei verfügbares Gut .....	5
1.2 Ein Vergleich zweier ausgewählter Modelle ohne Simulation.....	6
1.2.1 Die Modellannahmen.....	6
1.2.2 Die gewinnmaximierenden Unternehmen .....	8
1.2.3 Die wohlfahrtsmaximierende Regierung.....	11
1.2.4 Das Nash-Gleichgewicht als individuell rationales, aber sub- optimales Gleichgewicht.....	15
1.2.5 Kritische Ergebnisanalyse.....	30
<b>2 Strategische Emissionssteuer bei Faktorsubstitution</b> .....	35
2.1 Die theoretischen Grundlagen des simulierten Modells .....	35
2.1.1 Die Modellannahmen.....	35
2.1.2 Die gewinnmaximierenden Unternehmen .....	38
2.1.3 Die wohlfahrtsmaximierende Regierung bei nicht kooperativem Verhalten.....	40
2.1.4 Die wohlfahrtsmaximierende Regierung bei kooperativem Verhalten.....	42
2.2 Die Simulation .....	43
2.2.1 Die Substituierbarkeit des Einsatzfaktors in einem Unternehmen ....	46

2.2.1.1	Asymmetrische Kosten- und Nachfragefunktionen.....	53
2.2.1.2	Bidirektionale Externalitäten.....	63
2.2.1.3	Unidirektionale Externalitäten:	
	Das Ober- und Unterliegerproblem .....	64
2.2.1.4	Technischer Fortschritt simuliert durch geringere	
	Vermeidungskosten .....	67
2.2.1.5	Gestiegene Umweltpräferenzen.....	69
2.2.1.6	Das simulierte „Totale Differential“ .....	72
2.2.2	Substituierbarkeit des Einsatzfaktors in beiden Unternehmen.....	76
2.2.3	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	79
2.2.4	Kritische Würdigung und Ausblick.....	81
	<b>Ergebnisse des Basismodells.....</b>	<b>83</b>
	<b>Notationen.....</b>	<b>88</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>92</b>
	<b>Mathematischer Anhang.....</b>	<b>93</b>

## **Die Implementation**

### **Die Software der beigefügten Diskette**

Das ReadMe - File

Die Header - Files

Die zu den Header Files gehörigen C++ - Files

Die Hauptprogramm - Datei

Die Projekt - Datei

## Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Entwicklung der Mindestzahlung und Entwicklung der Höchstforderung bei den Seitenzahlungen.....	47
Abb. 2: Inländische Wohlfahrt mit der Simulation mit $\lambda_D = 0,99$ .....	48
Abb. 3: Ausländische Wohlfahrt mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ .....	48
Abb. 4: Entwicklung der inländischen Wohlfahrt.....	49
Abb. 5: Entwicklung ausländischer Unternehmensgewinne.....	50
Abb. 6: Entwicklung der Emissionssteuersätze .....	52
Abb. 7: Marktanteile der Unternehmen bei Kooperation mit der Simulation $q_0 = 3,03$ und $\lambda_D = 0,99$ .....	54
Abb. 8: Marktanteil der Unternehmen im Cournot-Nash-Gleichgewicht mit der Simulation $q_0 = 3,03$ und $\lambda_D = 0,99$ .....	54
Abb. 9: Vergleich der Steuereinnahmen des Basismodells und der Simulation mit $\lambda_D = 0,99$ und $q_0 = 3,03$ .....	55
Abb. 10: Umweltschaden im Inland mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ und $\alpha_D = 0,505$ .....	60
Abb. 11: Umweltschaden im Ausland mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ und $\alpha_D = 0,505$ .....	60
Abb. 12: Außenhandelsbilanz aus der Sicht des Inlandes mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ und $\beta_F = 101$ .....	62

---

Abb. 13: Wohlfahrtsverlust des Inlandes mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ und $S = 0,01$ .....	65
Abb. 14: Wohlfahrtsverlust des Auslandes mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ und $S = 0,01$ .....	66
Abb. 15: Vergleich der Vermeidungskosten im Basismodell und der Simulation mit $\lambda_D = 0,99$ und $\mu_D = 1,121$ .....	71
Abb. 16: Faktoreinsatzmengen des Basismodells und der Simulation mit $\lambda_D = 0,99$ und $\lambda_F = 0,99$ .....	77
Abb. 17: Vergleich zweier Simulationen bei Symmetrie der Länder und Unternehmen .....	79



## Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Wohlfahrten des Inlandes und Auslandes mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ .....	48
Tabelle 2: Wohlfahrten des Inlandes und Auslandes mit der Simulation $\lambda_D = 0,89$ .....	49
Tabelle 3: Inländische und ausländische Unternehmensgewinne mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ und $\gamma_D = 1,515$ .....	57
Tabelle 4: Inländische und ausländische Wohlfahrtsgewinne mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ und $q_0 = 3,03$ .....	58
Tabelle 5: Inländische und ausländische Wohlfahrtsgewinne mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ und $\gamma_D = 1,515$ .....	58
Tabelle 6: Inländischer und ausländischer Wohlfahrtsverlust mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ und $S = 0,01$ .....	65
Tabelle 7: Außenhandelsbilanz aus Sicht des Inlandes mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ und $f_F = 9,90$ .....	68
Tabelle 8: Insgesamt abgesetzte Mengen des inländischen und ausländischen Unternehmens mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ , $q_0 = 3,03$ , $\gamma_D = 1,515$ , $\alpha_D = 0,505$ , $\beta_F = 101$ , $f_F = 9,90$ , $\mu_0 = 0,202$ .....	73
Tabelle 9: Inländische und ausländische Emissionssteuersätze mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ , $q_0 = 3,03$ , $\gamma_D = 1,515$ , $\alpha_D = 0,505$ , $\beta_F = 101$ , $f_F = 9,90$ , $\mu_0 = 0,202$ .....	74
Tabelle 10: Inländische und ausländische Wohlfahrten mit der Simulation $\lambda_D = 0,99$ , $q_0 = 3,03$ , $\gamma_D = 1,515$ , $\alpha_D = 0,505$ , $\beta_F = 101$ , $f_F = 9,90$ , $\mu_0 = 0,202$ .....	75

## Motivation

Wie schwierig eine gemeinsame Umsetzung umweltpolitischer Ziele ist, zeigt die 1. Vertragsstaatenkonferenz zur Klimarahmenkonvention (VSK) in Berlin vom 07. April 1995. In dem Editorial<sup>1</sup> für die Zeitschrift „Umwelt“, welches die wichtigsten Ergebnisse zusammenfaßt, heißt es: „... Überprüfung der Angemessenheit der Industrieländerverpflichtungen in der Konvention. Diese sind lediglich zur Rückführung ihrer Treibhausgasemissionen bis zum Jahre 2000 auf das Niveau von 1990 verpflichtet. Was nach dem Jahr 2000 zu geschehen hat, läßt die Konvention offen“. Das Zitat belegt die abwägende Vorgehensweise, mit der Vereinbarungen getroffen werden. Für den Fall des Nichterreichens des formulierten Ziels wird keine Vereinbarung getroffen. Statt der Androhung von Vertragsstrafen wird lediglich von einer Pilotphase gesprochen. „Zu dem wichtigen Bereich „Gemeinsame Umsetzung“ (Joint Implementation) konnte nach intensiven Beratungen ebenfalls ein Kompromiß erzielt werden: wir haben uns auf die Durchführung einer Pilotphase geeinigt, an der alle interessierten Vertragsparteien, auch Entwicklungsländer, auf freiwilliger Basis teilnehmen können.“ Da die Teilnahme der Regierungen der Länder zudem freiwillig ist, ist für die Verbesserung der Umweltqualität kein wesentlicher Schritt erreicht worden. Wenn berücksichtigt wird, daß die obigen Zitate einen Ausschnitt aus den *wichtigsten* Ergebnissen der Vertragsstaatenkonferenz sind, bleiben wohl keine Fragen zu weiteren Vereinbarungen offen. Nichtsdestotrotz ist die Einsicht in die Notwendigkeit der Zusammenarbeit, d.h. zur kooperativen Lösung, vorhanden. „Denn effiziente Regelungen zum Klimaschutz setzen voraus, daß sie von möglichst vielen Staaten, insbesondere den Hauptemittenten, mitgetragen werden.“ Diese Aussage wird durch ein Ergebnis der Simulation verifiziert, da es grundsätzlich für alle beteiligten Länder besser ist, kooperativ zu sein. Daß es nicht nur um rein umweltpolitische Fragen geht, sondern um internationale Stabilität und Sicherheit, unterstreicht das folgende Zitat: „Professor Klaus Töpfer, Chairman of the United Nations Commission on Sustainable Development, said, that sustainability was the essence of the global environment strategy adopted in Rio de Janeiro in 1992 and that promoting economic growth at the expense of the Environment was as serious a threat

---

<sup>1</sup> Dieses wurde mir zugesandt auf eine Anfrage vom Landesministerium für Umwelt, Gesundheit und Soziales in Mainz. Der Autor des Editorials ist mir aber unbekannt geblieben.

to world peace as political and military conflicts.“<sup>2</sup> In diesem Zitat wird die strategische Komponente in der Umweltpolitik angesprochen, die in der Simulation eine dominierende Rolle einnimmt. Deutlich wird, daß die ökologische Komponente in der internationalen Politik keine untergeordnete, sekundäre Position einnimmt. Allein aus dieser Tatsache heraus ergeben sich Probleme internationaler Kooperation bei der Bestimmung von Emissionssteuern.

Der Artikel „Erdgipfel“ - und was nun ?“<sup>3</sup> von Prof. Dr. Simonis über die Klimakonferenz in Rio de Janeiro bestätigt die Schwierigkeit und zugleich die unabdingbare Notwendigkeit internationaler Kooperation. Eine wichtige Modellannahme spiegelt sich in der Erklärung von Rio de Janeiro wider: „... und sie verpflichtet die Staatengemeinschaft auf die Anwendung wichtiger umweltpolitischer Prinzipien wie des Verursacherprinzips und der Internalisierung der Umweltkosten in das betriebliche und volkswirtschaftliche Rechnungswesen. Die Rio-Deklaration ist jedoch keine völkerrechtlich verbindliche Vereinbarung; die Frage der Umsetzung der in ihr beschriebenen Prinzipien bleibt mithin offen“. Das Verursacherprinzip wird dadurch modelliert, daß die Vermeidungskosten ein Teil der Kosten des Einsatzfaktors sind. Allein die Unternehmen tragen die Umweltkosten und nicht der Endverbraucher<sup>4</sup>. Die Internalisierung der Umweltkosten wird durch die erhobene Emissionssteuer gewährleistet und die Externalität der grenzüberschreitenden Emissionen wird in der Schadensfunktion erfaßt. Auf diese Weise werden die tatsächlich anfallenden Umweltkosten eines Landes erfaßt.

In Japan, einem hochtechnisierten Land, werden von den Industrien sehr hohe Umweltafgaben eingefordert und im Falle von Gesundheitsschäden an Menschen muß die Industrie Entschädigungen oder lebenslange Renten zahlen. „Gegenwärtig gibt es in Japan über 100.000 staatlich anerkannte Umweltverschmutzungsoffer - so die offizielle Bezeichnung -, die auf Grundlage des Gesetzes unterstützt werden. Das kostet viel Geld - und das holen sich Japans Umweltbeamte zum größten Teil von der Industrie. Alle

---

<sup>2</sup> Aus: Adoption of the Report of the Convergence of the Parties, Draft report of the Parties on its first session, Rapporteur: Ms. Rungano Karimanzira (Zimbabwe), Berlin 28 March - 7 April 1995, Agenda item 7 (c).

<sup>3</sup> Aus Spektrum der Wissenschaft, November 1992, Prof. Dr. Udo Ernst Simonis: „Erdgipfel“ - und was nun?, S. 156 ff.

<sup>4</sup> Da Cournot-Wettstreiter modelliert werden, findet keine Überwälzung über die Preise statt.

größeren Betriebe müssen eine Abgabe auf ihren Ausstoß von Schwefeldioxid zahlen. Das Verursacherprinzip, das hier zur Anwendung kommt, entlastet nicht nur die Staatskasse, es verstärkt auch die Reinigungsanstrengungen im Industriebereich.“<sup>5</sup> Der Alleingang ist sicherlich positiv zu beurteilen und als Vorreiterrolle zu verstehen, die anderen Staaten als Vorbild dient. Die Kooperation als optimale Lösung sollte dabei aber im Auge behalten werden.

Daß Umweltprobleme nicht nur lokaler, sondern ebenso länderübergreifender bis globaler Natur sind, ist unbestritten. Je weitläufiger eine Emission sich erstreckt, desto mehr Länder sind von ihr betroffen. „Nicht alle Umweltprobleme sind lokaler Natur; einige - wie die Verstärkung des atmosphärischen Treibhauseffekts und die Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht - haben wahrhaft globales Ausmaß. Sie werfen erst recht Fragen auf, die gemeinsame und multilaterale Antworten verlangen. Solche Lösungen müssen allerdings nicht nur wirkungsvoll, sondern auch gerecht sein.“<sup>6</sup> Die Externalität wird im Modell in der Schadensfunktion berücksichtigt. Auch bei diesem Zitat wird die Dringlichkeit zu einem gemeinsamen Handeln als notwendig betont. Es ist offensichtlich, daß Vereinbarungen umso schwieriger zu erzielen sind, je mehr teilnehmende Regierungen sich einverstanden erklären müssen. Falls dann noch bei den Abstimmungsmodalitäten Einstimmigkeit verlangt wird oder das Condorcet-Paradoxon bei Mehrheitsbildung berücksichtigt wird, ist es ein leichtes sich vorzustellen, daß internationale Vereinbarungen viel Verhandlungsgeschick und Durchsetzungskraft erfordern.

Um Kooperation erreichen zu können, sind die verschiedenartigen Problematiken zu erkennen und speziell zu handhaben. Aufgrund bestimmter Parameterkonstellationen bei der Kostenfunktion, Absatzfunktion, etc. werden verschiedene Situationen erreicht, so daß Seitenzahlungen von einer Regierung an die andere Regierung notwendig werden oder eine bindende Vereinbarung, die von allen Regierungen begrüßt wird. Bei der zuletzt genannten Situation handelt es sich um das Gefangenendilemma.

---

<sup>5</sup> Aus: P.M., Oktober 1989, Helmut Weidner: So rettet sich Japan vor dem ökologischen Harakiri, S. 86 ff.

<sup>6</sup> Aus: Spektrum der Wissenschaft, Januar 1994, Prof. Jagdish Bhagwati: Ein Plädoyer für freien Handel, S. 34 ff. Weitere interessante Aspekte sind im Spektrum der Wissenschaft, Ausgabe Februar und August 1992, zu finden.

Die Problematik wird durch zwei Länder, das Inland und das Ausland, modelliert. In beiden Ländern existiert jeweils ein repräsentatives Unternehmen, diese agieren untereinander auf beiden Märkten als Cournot-Wettstreiter. Die Unternehmen sind Gewinnmaximierer und die Regierungen beider Länder Wohlfahrtsmaximierer. Spieltheoretisch gesehen findet ein Spiel zwischen der Regierung und seinem Unternehmen statt. Es ist ein zweistufiges Spiel mit rückwärtiger Induktion. Die Regierung nimmt bezüglich ihrer gewählten Umweltsteuer ein bestimmtes strategisches Verhalten ein. Beide Regierungen verhalten sich analog und die gewonnenen Größen werden in Matrizen eingetragen. Die bezeichneten Zeilen und Spalten der Matrix präsentieren die gewählten Strategien der Regierungen. Die Matrix mit den Paaren der Wohlfahrt gibt dann Auskunft, welche Situation eingetroffen ist. Die Werte in der Matrix sind dann Ausgangspunkt für ein *statisches one shot* Spiel unter den Regierungen. Durch Parameteränderungen kann die vorliegende Situation geändert werden und Ursachen können ergründet werden, unter welchen Bedingungen eine bestimmte Situation eingetreten ist.

Die vorliegende Diplomarbeit gliedert sich in zwei große Bereiche. Das erste Kapitel untersucht zwei Modelle, die sich der gleichen Problematik widmen und arbeitet Unterschiede in den Modellannahmen heraus, so daß die Ergebnisse richtig verstanden und untereinander verglichen werden können. Der zweite Teil stellt die theoretischen Annahmen des Modells vor, auf welchem die Simulation aufbaut. Anschließend werden Parameterkonstellationen untersucht, die eine bestimmte ökonomische Gegebenheit nachbilden. Auf den Parametern basierend wird eine Simulation durchgeführt. Ergebnisse aus der Simulation werden in Tabellen bzw. Diagrammen veranschaulicht.

## **1 Emissionssteuer und Emissionsstandard: Nicht nur Instrument zur Emissionskontrolle, sondern ebenso strategisches Instrument der Regierungen**

Dieses und das folgende Kapitel sollen Probleme bei der Durchsetzung umweltpolitischer Instrumente aufzeigen. Die einfache Vermutung, daß umweltpolitische Instrumente nur eine Lenkungsfunktion<sup>7</sup> besitzen, die in Richtung eines umweltgerechteren Verhaltens wirkt, muß verworfen werden. Gezeigt wird, wie Regierungen Eigeninteressen, nämlich die einzelstaatliche Wohlfahrt zu maximieren, strategisch mit umweltpolitischen Instrumenten<sup>8</sup> durchzusetzen versuchen.

### **1.1 Umwelt als öffentliches, aber nicht frei verfügbares Gut**

Viele Charakteristika öffentlicher Güter<sup>9</sup> spiegeln sich beim Gut Umwelt sehr deutlich wider. Wichtig für strategische Gesichtspunkte ist die Nichtausschließbarkeit dieses Gutes. Aus unternehmerischer Sicht ist das eigentliche Ziel, Umwelt möglichst kostenlos zu nutzen. Eine zukunftsorientierte Denkweise kann dies aber nicht zulassen, da immer deutlicher wird, daß die Umwelt keine unendlich vorhandene Ressource darstellt. Ihre Nutzung muß gelenkt und kontrolliert werden, um auch zukünftigen Generationen gerecht zu werden.

Das für rein öffentliche Güter geltende Prinzip der Nichtrivalität darf und kann für das Gut Umwelt nicht zutreffen. Es muß grundlegend von einer Rivalität ausgegangen werden, weil der Konsum des einen an diesem Gut den Konsum des anderen in qualitativer (im extremen Fall auch in quantitativer) Hinsicht schmälert.

---

<sup>7</sup> Abgesehen von einer Aufkommensfunktion, so daß die durch Steuern eingetriebenen Gelder für umweltpolitische Aktivitäten verwendet werden könnten (zweckgebundene Emissionssteuer).

<sup>8</sup> Die Anreizmechanismen umweltpolitischer Instrumente sind ausführlich von William J. Baumol, Wallace E. Oates: *The Theory of environmental policy* (1988) und von Manfred Kemper: *Das Umweltproblem in der Marktwirtschaft* (1989) untersucht worden.

<sup>9</sup> Siehe dazu z.B. H. Zimmermann und K.-D. Henke: *Finanzwissenschaft* (1990).

Das Marktversagen in bezug auf Externalitäten kann sehr deutlich am Gut Umwelt gezeigt werden. In der Simulation wird dies durch unidirektionale und bidirektionale Externalitäten modelliert<sup>10</sup>.

## 1.2 Ein Vergleich zweier ausgewählter Modelle ohne Simulation

Die beiden vorzustellenden Modellvarianten stammen zum einen von Peter W. Kennedy und zum anderen von Scott Barrett<sup>11</sup>. Peter W. Kennedy untersucht in seinem Modell das strategische Verhalten zweier Regierungen bei der Festsetzung einer Emissionssteuer, wohingegen Scott Barrett sein Augenmerk auf Emissionsstandards legt. Beide Modelle bevorzugen eine ausschließlich analytische Vorgehensweise; nichtsdestotrotz bilden sie eine gute Vergleichsmöglichkeit zu den anschließenden Simulationsergebnissen. Ähnliche Arbeiten, die einen Vergleich bezüglich meiner durchgeführten Simulation sinnvoll erscheinen ließen, sind in neuerer Zeit nicht in der Literatur erschienen.

### 1.2.1 Die Modellannahmen

Das von Peter W. Kennedy aufgestellte Modell<sup>12</sup> geht von zwei identisch strukturierten Ländern<sup>13</sup> aus. Insbesondere bedeutet dies konstante Skalenerträge in der Produktionsfunktion und konstante marginale Kosten, die dem von den Unternehmen bestimmten Vermeidungsgrad entsprechen. In jedem Land existiert ein symmetrisches, n-viele Unternehmen umfassendes Oligopol, die sich als Cournot-Wettstreiter verhalten. Die insgesamt 2n-vielen Unternehmen konkurrieren auf dem inländischen und auf dem ausländischen Markt untereinander. Beim Output eines jeden Unternehmens wird nach Absatzmengen auf dem heimischen Markt und nach Absatzmengen auf dem aus-

---

<sup>10</sup> Nicht durch die Tatsache offener Volkswirtschaften wie man fälschlicherweise annehmen könnte; das Problem der Externalitäten könnte sich auch bei geschlossenen Volkswirtschaften ergeben.

<sup>11</sup> Zu detaillierteren Angaben siehe das Literaturverzeichnis.

<sup>12</sup> Im folgenden Modell 1 genannt.

<sup>13</sup> Identische Gewinn- und Kostenfunktionen, Vermeidungskostenfunktionen, Wohlfahrtsfunktionen.

ländischen Markt (Export) unterschieden<sup>14</sup>. In beiden Ländern existiert jeweils eine inverse Nachfragefunktion. Für die Nachfragefunktion des Inlandes ergibt sich z.B.  $p^w(\bar{x})$ <sup>15</sup>. Es existiert ein Weltmarktpreis für beide Länder. Eine für jedes Land aufgestellte konvexe Schadensfunktion mißt den dem Land zugefügten Umweltschaden. Die Schadensfunktion ist konvex in den von Unternehmen verursachten Emissionen, die ebenfalls in einer Funktion erfaßt werden. Den Regierungen der einzelnen Länder stehen als alleiniges Instrument nur die Emissionssteuern zur Verfügung. Die Wohlfahrt des Landes wird gemessen anhand der Konsumentenrente zuzüglich Unternehmensgewinn zuzüglich Steuereinnahmen abzüglich Umweltschaden gemessen in monetären Einheiten. Eine weitere wichtige Annahme ist die mögliche Existenz grenzüberschreitender Emissionen (externer Effekt).

Externe Effekte schließt Scott Barrett in seinem Modell<sup>16</sup> nicht mit ein. Ein weiterer Unterschied stellt die Existenz eines Drittmarktes dar, d.h. er vergleicht produzierende Unternehmen in zwei Ländern, die somit auch Emissionen verursachen, und ein drittes Land (ein Absatzland), für welches produziert wird. Für produzierende Unternehmen eines Landes ist somit eine einzige Nachfragekurve von Bedeutung. Die betrachteten Länder betreiben untereinander keinen Außenhandel<sup>17</sup>. Ein wesentlicher Unterschied zu Modell 1 ist, daß die Regierungen als strategische Variable Emissionsstandards und keine Emissionssteuern einsetzen. Das belieferte Drittland kann das Niveau der Emissionsstandards in den Länder, deren Unternehmen produzieren, nicht beeinflussen. Die Vermeidungskosten der Unternehmen sind in diesem Modell nicht konstant, sondern hängen von den Absatzmengen und dem von der eigenen Regierung festgelegten Emissionsstandard ab. Die operationalen Größen seitens der Unternehmen sind im ersten Teil der Untersuchungen die Absatzmengen wie auch im Modell 1. Die Situation des Oligopols schrumpft zunächst auf seine kleinste Form des Dyopols. Die Wohlfahrt der Länder setzt sich aus der Differenz von Unternehmensgewinn und dem in monetären Einheiten gemessenen Umweltschaden zusammen. Zusätzlich wird das

<sup>14</sup> Es wird von der klassischen Außenhandelstheorie (komparative Vorteile, kleines bzw. großes Land) abstrahiert.

<sup>15</sup> Zu dieser und den folgenden Notationen, siehe S. 88-91

<sup>16</sup> Im folgenden Modell 2 genannt.

<sup>17</sup> Bemerkung: Der Außenhandel wird ganz anders modelliert; dies ist aber kein entscheidender Unterschied, da in Modell 1 symmetrische Nachfragebedingungen in beiden Ländern angenommen werden.



strategische Verhalten der Regierungen beider Länder unter der Annahme von Marktpreisen als variierbare Größe seitens der Unternehmen untersucht. In beiden Modellen sind die Outputs voll substituierbar.

### 1.2.2 Die gewinnmaximierenden Unternehmen

Aufgrund der unterschiedlich getroffenen Annahmen ergeben sich zwangsweise verschiedene Gewinnfunktionen. In Modell 1 wird ein zunächst nicht weiter spezifizierter Emissionssteuersatz modelliert<sup>18</sup>:

Modell 1:

$$1) \quad \max_{x^i, x_e^i, a^i} \pi^i(x^i, x_e^i, a^i; t) = p(x + X_e)x^i + P(X + X_e)x_e^i - a^i * x_{ges}^i - t^2 * (x_{ges}^i / a^i) \quad 19$$

wegen Symmetrie in der Nachfragefunktion und des homogenen Oligopols, kann geschrieben werden:

$$1') \quad \max_{x^i, x_e^i, a} \pi^i(x^i, x_e^i, a; t) = p^w(Z) * x^i + p^w(Z) * x_e^i - a * x_{ges}^i - t^2 * (x_{ges}^i / a)$$

$$1'') \quad \max_{x_{ges}^i, a} \pi^i(x_{ges}^i, a; t) = p^w(Z) * x_{ges}^i - a * x_{ges}^i - t^2 * (x_{ges}^i / a)$$

mit:

$$Z = (x_{ges} + X_{ges})/2 \quad x_{ges}^i = x^i + x_e^i \quad e_{ges} = \sum e^i$$

$$E_{ges} = \sum E^i \quad e^i = e^i(x_{ges}^i / a) = e(x_{ges} / a) \quad a^i = a, \text{ wg. Symmetrie}$$

der Unternehmen

<sup>18</sup> Abhängig davon, ob sich die inländische Regierung kooperativ oder strategisch verhält, ergibt sich dann  $t = t^c$  bzw.  $t = t^s$ .

Bemerkung: Aus Übersichtlichkeitsgründen wird in beiden Modellen nur das Inland formal erfaßt; für das Ausland gilt Analoges mit entsprechenden Notationen.

<sup>19</sup> In Peter W. Kennedy: *Equilibrium pollution taxes in open economies with imperfect competition*, Journal of Environmental Economics and Management Academic Press, Inc. 1994, S. 94 ff., wird eine Transformation für  $t^2$  durchgeführt; um weitere Notationen zu vermeiden, wird auf diese Transformation verzichtet. Deshalb entsteht die etwas ungewohnte Schreibweise mit  $t^2$ .

$$d = d(e_{ges}(\cdot) + S \cdot E_{ges}(\cdot))$$

$$r^i(x^i, x^i_e, X^i, X^i_e) = p^w(x) \cdot x^i + p^w(X) \cdot x^i_e$$

$$c^i(x^i, x^i_e, a) = a \cdot x^i_{ges}$$

$$ca^i(x^i, x^i_e) = t^2 \cdot (x^i_{ges}/a)$$

für  $i = 1, \dots, n$  (da das inländische Oligopol  $n$ -viele Unternehmen umfaßt)

Die Bedingungen erster Ordnung lauten:

$$I) \quad \partial \pi^i(x^i_{ges}, a, t) / \partial x_{ges} = p^w(Z) + p^{w'}(Z) x^i_{ges} / 2 - a - t^2/a = 0$$

$$II) \quad \partial \pi^i(x^i_{ges}, a, t) / \partial a = t^2/a^2 - 1 = 0$$

Modell 2:

$$2) \quad \max_{x^i_{ges}} \pi^i(x^i_{ges}; e) = r^i(x^i_{ges}, X^i_{ges}) - c^i(x^i_{ges}) - ca^i(x^i_{ges}, e)$$

mit:

$x^i_{ges}$  : gesamte Absatzmenge des Inlandes auf dem Drittmarkt

$X^i_{ges}$  : gesamte Absatzmenge des Auslandes auf dem Drittmarkt

$e_{ges} = \sum e^i = e$  : von der inländischen Regierung bestimmter Emissionsstandard

$$\pi^i(\cdot) = \pi(\cdot) \quad x^i_{ges} = x_{ges} \text{ und } X^i_{ges} = X_{ges} \quad r^i(\cdot) = r(\cdot) \quad c^i(\cdot) = c(\cdot)$$

$$ca^i(\cdot) = ca(\cdot) \quad a^i = a,$$

da  $i = n = 1$  (im Inland existiert lediglich ein Unternehmen; es existiert somit keine Abhängigkeit von  $i$ ). Daraus folgt:

$$2') \quad \max_{x_{ges}} \pi(x_{ges}; e) = r(x_{ges}, X_{ges}) - c(x_{ges}) - ca(x_{ges}, e)$$

In Modell 1 ergibt sich aufgrund der gleichen Nachfragefunktionen in beiden Ländern, daß die Unternehmen eine Hälfte ihrer Produktion auf dem heimischen Markt und die andere Hälfte auf dem Exportmarkt absetzen. Daraus folgt, daß kein Land Nettoexporteur oder Nettoimporteur ist. Der Steuersatz  $t$  wird vom Unternehmen als gegeben und unveränderbar betrachtet.

In Modell 2 bekommt das repräsentative Unternehmen einen von der Regierung über die Wohlfahrtsmaximierung bestimmten Emissionsstandard vorgeschrieben. Es wird von der Regierung festgelegt, wieviel Emissionen das Unternehmen maximal verursachen darf. Diesen Standard und die Absatzmengen des ausländischen Unternehmens gegeben, maximiert das inländische Unternehmen den Gewinn. Das Unternehmen verhält sich, wie schon anfangs gesagt, als Cournot-Wettstreiter. In Modell 1 hingegen kann das Unternehmen über das Vermeidungsniveau  $a$  und über die Gesamtabsatzmenge des Unternehmens die Emissionen gewinnmaximal bestimmen.

Über die Bedingungen erster Ordnung werden die gewinnmaximalen Absatzmengen und in Modell 1 zusätzlich der optimale Entsorgungsgrad bestimmt. Die Bedingung zweiter Ordnung garantiert die Existenz eines Gewinnmaximums<sup>20</sup>. Es folgt dann nach einfachen Umformungen für das Cournot-Gleichgewicht *beider* Industrien<sup>21</sup> in Modell 1:

$$3) \quad 2n \cdot p^w(\cdot) + Z \cdot p^{w'}(\cdot) - 4n \cdot t = 0 \quad \text{wg. Symmetrie: } Z = x_{\text{ges}}$$

nach  $p^w(\cdot)$  aufgelöst:

$$4) \quad p^w(\cdot) = 2t - x_{\text{ges}} \cdot p^{w'}(\cdot) / 2n$$

nach  $x_{\text{ges}}$  aufgelöst und nach Steuersatz  $t$  differenziert, ergibt die marginale Änderung der gesamten inländischen Produktion bei einer marginalen Erhöhung des inländischen Steuersatzes:

<sup>20</sup> Siehe mathematischen Anhang, S. 93.

<sup>21</sup> Siehe mathematischen Anhang, S. 94; die inländische Industrie umfaßt  $n$ -viele inländische Unternehmen; die ausländische Industrie umfaßt  $n$ -viele ausländische Unternehmen.

$$5) \quad \partial x_{ges}/\partial t = 4n/((2n+1)p^w(\cdot) + x_{ges}p^{w''}(\cdot)) < 0^{22}$$

In Modell 2 ist die negative Steigung der Reaktionsfunktionen durch die Bedingung  $r_{x_{ges} X_{ges}} < 0$  und  $R_{X_{ges} x_{ges}} < 0$  gewährleistet, so daß die Reaktionsfunktionen sich auf jeden Fall schneiden. Die Stabilität des Gleichgewichts wird über die Bedingung  $\pi_{x_{ges} x_{ges}} * \Pi_{X_{ges} X_{ges}} - \pi_{x_{ges} X_{ges}} * \Pi_{X_{ges} x_{ges}} > 0$  sichergestellt<sup>23</sup>.

### 1.2.3 Die wohlfahrtsmaximierende Regierung

Auch die formale Darstellung des Maximierungsansatzes der Regierungen zeigt die unterschiedlichen Betrachtungsweisen beider Modelle. In Modell 2 ist ein „recht einfacher Ansatz“ gewählt:

$$6) \quad \max_e w^s(e)^{24} = \pi(x_{ges}, X_{ges}, a; e) - d(e)$$

mit:

$d'(e) = md(\cdot)$ ,  $d'(e) > 0$  und  $d''(e) > 0$ , d.h. die Schadensfunktion ist konvex in  $e$ .

Die Regierung maximiert die Differenz von Unternehmensgewinn und Umweltschaden nach  $e$ , um den optimalen Emissionsstandard zu bestimmen. Durch die Differentiation zeigt sich, daß der Emissionsstandard allein von der inländischen Produktion abhängt.

Es folgt für die Bedingung erster Ordnung:

$$I) \quad \partial w^s(e)/\partial e = -ca_e(x_{ges}, e) - md(\cdot) = 0$$

<sup>22</sup>  $\partial x_{ges}/\partial t$  ist kleiner null wegen den Bedingungen 2. Ordnung.

<sup>23</sup> Siehe mathematischen Anhang, S. 94.

<sup>24</sup> In Scott Barrett, Strategic environmental policy and international Trade, Journal of Public Economic Elseriev, Amsterdam-Lausanne-New York-Oxford-Shannon-Tokio 1994, wird von „net benefit“ gesprochen; im Deutschen mit Nettonutzen zu übersetzen; wegen vereinheitlichter Notation aber mit  $w^s(\cdot)$  bezeichnet.