

**Umweltverschmutzung
als länderübergreifendes Problem
am Beispiel der globalen Erwärmung**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät
der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität

Würzburg

Vorgelegt von
Young-Cheul Ahn
aus Pusan in Korea

*Ein besonderer Dank für die Betreuung dieser Dissertation geht an
Prof. Dr. Hans G. Monissen und
Prof. Dr. Jürgen Kopf*

Inhaltverzeichnis

<i>Abbildungsverzeichnis</i>	7
<i>Tabellenverzeichnis</i>	8
<i>A. Grundlage der Arbeit</i>	9
<i>1. Problemstellung</i>	9
<i>2. Aufbau der Arbeit</i>	13
<i>3. Grundprinzipien zur Analyse länderübergreifender Umweltprobleme</i>	16
<i>3.1. Effizienz und Verteilungsgerechtigkeit</i>	16
<i>3.1.1. Effizienz und optimale Ressourcenallokation</i>	17
<i>3.1.2. Verteilungsgerechtigkeit und Wohlfahrt</i>	18
<i>3.2. Dezentralisierung der Umweltpolitik</i>	23
<i>3.3. Nachhaltige Entwicklung</i>	26
<i>3.3.1. Aus soziologischer Sicht</i>	26
<i>3.3.2. Aus wirtschaftlicher Sicht</i>	27
<i>B. Umweltverschmutzung als Externalität</i>	30
<i>1. Definition der Externalität</i>	30
<i>2. Lösung der Externalität</i>	34
<i>2.1. Internalisierung als Grundprinzip zur Lösung externer Effekte</i>	35
<i>2.2. Vergleich zwischen Kosten- und Preispolitik</i>	38
<i>2.3. Vergleich zwischen der pigouschen und der coaseschen Welt</i>	40
<i>2.3.1. Pigousche Welt</i>	41
<i>2.3.1.1. Ressourcenallokation bei der pigouschen Lösung</i>	41
<i>2.3.1.2. Kritik zur pigouschen Lösung</i>	42
<i>2.3.2. Coasesche Welt</i>	43

2.3.2.1. Ressourcenallokation bei der coaseschen Lösung	44
2.3.2.2. Kritik an der coaseschen Lösung	46
3. Marktwirtschaftliche Lösung	47
3.1. Rechtfertigung einer marktwirtschaftlichen Umweltpolitik	48
3.1.1. Marktwirtschaftliche Lösung pigouscher Prägung	48
3.1.2. Marktwirtschaftliche Lösung coasescher Prägung	49
3.2. Mathematische Darstellung der Preislösung	50
C. Länderübergreifendes Umweltproblem als internationale Externalität	55
1. Einführung	55
2. Internationale marktwirtschaftliche Lösungen	59
2.1. Grundmodell	60
2.2. Marktwirtschaftliche Lösung bei normaler Nutzenfunktion	61
2.3. Marktwirtschaftliche Lösung bei quasi-linearer Nutzenfunktion	64
2.4. Präferenzdeckung durch den marktwirtschaftlichen Lösungsansatz	66
3. Außenhandel der Emissionen	68
3.1. Graphische Darstellung des Emissionsaußenhandels	69
3.1.1. Internalisierung und Außenhandel globaler externer Effekte	69
3.1.2. Effekte des Außenhandels der Externalität	72
3.2. Dezentralisierung der Umweltpolitiken im Außenhandelsmarkt	76
3.3. Die regionale Umweltpolitik und die globale Umweltpolitik	77
D. Naturwissenschaftliche Überlegung über die globale Erwärmung als länderübergreifendes Umweltproblem	81
1. Naturwirtschaftliche Analyse der globalen Erwärmung	81
1.1. Hintergrund der globalen Erwärmung	82
1.2. Dynamische Klimaänderung: Vergangenheit und Zukunft	84

1.2.1.	<i>Geschichte der Klimaveränderung</i>	84
1.2.2.	<i>Kritik zu den Szenarien der Klimaänderung von IPCC</i>	86
2.	<i>Naturwissenschaftliche Erklärung der globalen Erwärmung</i>	87
2.1.	<i>Wirkung von Kohlendioxid auf das Klima</i>	88
2.2.	<i>Beseitigung der atmosphärischen CO₂-Konzentration</i>	91
2.3.	<i>Verzögerung des Temperaturanstiegs</i>	95
2.3.1.	<i>Klimagleichgewicht im Rahmen des null-dimensionalen Modells</i>	97
2.3.2.	<i>Klimasensibilität in Bezug auf Wärmestrahlung</i>	98
2.4.	<i>Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration und Klimaänderung</i>	101
E.	<i>Intertemporale Umweltpolitik</i>	104
1.	<i>Einführung</i>	104
2.	<i>Optimale Zahlungsbereitschaft im Falle der Klimaveränderung</i>	106
2.1.	<i>Konsumoptimum bei Gleichgewichtswachstum</i>	107
2.2.	<i>Diskontrate und Wachstumsrate</i>	109
2.3.	<i>Optimale Emission aufgrund optimalen Konsums</i>	112
2.4.	<i>Optimale Zahlungsbereitschaft in Bezug auf die Naturreaktion</i>	113
3.	<i>Einbeziehung der Erwärmung in den Wirtschaftssektor</i>	115
	<i>Anhang 1. Temperaturanstieg bei einmaliger Schadstoffemission</i>	118
F.	<i>Simulation des länderübergreifenden Umweltproblem</i>	120
1.	<i>Einführung der Simulation in der Umweltwirtschaft</i>	120
2.	<i>Überblick über die Simulation</i>	121
2.1.	<i>Wirtschaftssektor</i>	123
2.2.	<i>Klimasektor</i>	125
2.3.	<i>Umweltpolitik</i>	126
3.	<i>Ziel der Simulation</i>	128

3.1.	<i>Beziehung zwischen Schadstoffemission und Wirtschaftswachstum</i>	131
3.2.	<i>Relevanz zwischen Emission und Akkumulation von CO₂</i>	132
3.3.	<i>Temperaturanstieg aufgrund atmosphärischer Konzentration von CO₂</i>	133
3.4.	<i>Einkommensverlust durch Temperaturanstieg</i>	134
4.	<i>Ergebnis der Simulation</i>	134
4.1.	<i>Berechnung des Schadens</i>	134
4.2.	<i>Berechnung der Grenzkosten</i>	137
4.2.1.	<i>Gegenwartwertindex</i>	137
4.2.2.	<i>Grenzkosten der Emissionsreduktion</i>	139
4.3.	<i>Vergleich zwischen Kompensationspolitik und Handelspolitik</i>	141
4.4.	<i>Vergleich zwischen Kyoto-Abkommen und optimaler Umweltpolitik</i>	144
	<i>Anhang 2: Erklärung der Begriffe für die Simulation</i>	149
G.	<i>Schlussfolgerung: Diskussion über internationale Regime</i>	155
1.	<i>Realität der globalen Erwärmung</i>	156
2.	<i>Steuerung der globalen öffentlichen Güter</i>	158
2.1.	<i>Prinzipien und Probleme des Kyoto-Protokolls</i>	158
2.2.	<i>Ausrichtung des Handels an den Schadstoffemissionen</i>	160
2.3.	<i>Alternativmodell zum Kyoto-Protokoll</i>	161
3.	<i>Rechtfertigung der dezentralisierten Umweltpolitik</i>	162
	<i>Literaturverzeichnis</i>	165

Abbildungsverzeichnis

<Abb. 1>	Atkinson-Ungerechtigkeitsindex -----	20
<Abb. 2>	Internalisierung der Umweltverschmutzung -----	34
<Abb. 3>	Internalisierung externer Effekte -----	37
<Abb. 4>	Pareto-Optimalität in der Coaseschen Welt -----	43
<Abb. 5>	Effiziente Emissionsmenge und -steuer -----	52
<Abb. 6>	Präferenzen für Geld und länderübergreifende Umweltverschmutzung -	60
<Abb. 7>	Internalisierung internationaler externer Effekte -----	69
<Abb. 8>	Außenhandel der Umweltpolitik -----	70
<Abb. 9>	Gewinne aus dem Handel von Schadstoffemissionen -----	71
<Abb. 10>	Treffsicherheit bei der Öffnung des Außenhandels -----	73
<Abb. 11>	Grenzvermeidungskosten und Grenzscha-den in beiden Regionen-----	78
<Abb. 12>	Klassifikation auf die Kontroll-szenarien der Emission -----	84
<Abb. 13a>	Erwärmung der atmosphärischen Temperatur -----	88
<Abb. 13b>	Erwärmung der Wassertemperatur -----	88
<Abb. 14>	Kohlendioxidaustauschverhältnis -----	90
<Abb. 15>	Erde als Thermostat durch chemische Reaktion -----	92
<Abb. 16>	Simulation der Treibhauseffektes -----	128
<Abb. 17>	Temperaturanstieg bei Kyoto-Politik und optimaler Umweltpolitik --	145
<Abb. 18>	Kosten der verschiedenen Strategien -----	157

Tabellenverzeichnis

<Tabelle 1>	Vergleich zwischen den Politiken -----	38
<Tabelle 2>	Verschiedene Modelle der CO ₂ -Konzentrationsverdopplung -----	81
<Tabelle 3>	Zeitpräferenz -----	136
<Tabelle 4>	Gegenwartswert -----	136
<Tabelle 5>	Grenzkostensindex -----	137
<Tabelle 6>	Grenzkosten -----	138
<Tabelle 7>	Emissionsreduktion durch Kompensation -----	140
<Tabelle 8>	Handelsgewinn bezüglich der Klimasensibilität -----	141
<Tabelle 9>	Handelspreis und Rentensatz -----	141
<Tabelle 10>	Handelsgewinn bezüglich des Einkommensniveaus -----	142
<Tabelle 11.a>	Grenzkosten der Emissionsreduktion bei Politik des Kyoto-Protokolls -----	143
<Tabelle 11.b>	Grenzkosten der Emissionsreduktion bei optimaler Umweltpolitik -	143
<Tabelle 12.a>	Handelsgewinn bei der Politik des Kyoto-Abkommens -----	144
<Tabelle 12.b>	Handelsgewinn bei optimaler Politik -----	144

A. Grundlage der Arbeit

1. Problemstellung

Seitdem Stephen Schneider, der Berater von US-Vizepräsident Albert Gore Jr., im Jahr 1988 ein Interview über die globale Erwärmung gegeben hat,¹ ist dieses Thema nicht nur im naturwissenschaftlichen, sondern auch im sozial- und wirtschaftswissenschaftlichen Bereich eminent wichtig geworden. In der Wirtschaftswissenschaft betrachtet man die globale Erwärmung als eines der wichtigsten länderüberschreitenden Umweltprobleme. Bei dieser Art von Problemen üben die Schadstoffe, die in einer Region emittiert werden, nicht nur Einfluss auf dieses Gebiet, sondern auch auf alle anderen Regionen der Welt aus.²

Bei dem Problem der internationalen Externalität scheint es, dass alle dadurch betroffenen Regionen durch internationale Kooperation profitieren können. Aber eine Kooperation ist nicht nur unmöglich, sondern auch ungünstig für alle Beteiligten, weil es bei internationaler Zusammenarbeit grundsätzlich zwei Probleme gibt: 1. das Marktversagen, und 2. das Regierungsversagen.³ Zur ihrer Vermeidung kann eine nicht-kooperative, marktwirtschaftliche Lösung angewandt werden. Das aus dieser Lösung folgende Gleichgewicht wird im Sinne der Nash-Spiel-Theorie als effizientes, nicht-kooperatives Nash-Gleichgewicht dargestellt.⁴

¹ Vgl. Roger Bate, Julian Morris und Wilfred Beckerman (1994), *Global Warming: Apocalypse or Hot Air?* in: Institute of Economic Affairs (IEA), S. 9–10.

² Vgl. Eberhard Feess (1998), *Umweltökonomie und Umweltpolitik*, München, S. 207–214.

³ Cullis diskutiert die Möglichkeit des Regierungseingriffs in das Marktwirtschaftssystem bei Versagen des Preismechanismus. Vgl. John G. Cullis und Philip R. Jones (1989), *Microeconomics and the Public Economy: A Defense of Leviathan*, Oxford, S. 3–4.

⁴ Vgl. Eberhard Feess (1998), A.a.O., S. 210. Bei der Diskussion über eine zentrale und dezentrale Lösung ist es ein wichtiges Kriterium, ob das effiziente Nash-Gleichgewicht nur mit oder ohne Kooperation erreicht werden kann. Nash hat gezeigt, dass das effiziente Gleichgewicht dadurch erreicht werden kann, dass die Akteure in irgendeiner Weise zusammenarbeiten. Siehe dazu, John F. Nash (1953), *Two-Person Cooperative Games*, in: *Econometrica*, Vol. 21, S. 128–129. Aber dabei muss eine axiomatische Methode betrachtet werden, dass Ergebnisse einer Verhandlung für alle Mitglieder vorteilhafter ist. Schließlich kann die Schwierigkeit der Entscheidung des effizienten Gleichgewichts in der klassischen Spieltheorie durch das nicht-kooperative Verhandlungsspiel (Bargaining Game) gelöst werden. Vgl. John C. Harsanyi und Reinhard Selten (1988), *A General Theory of Equilibrium Selection in Games*, London, S. 21–26.

Als marktwirtschaftliches Lösungskonzept zur Vermeidung der globalen Erwärmung⁵ wird der internationale Handel inländischer Umweltpolitik durch Steuern und Emissionsrechte in dieser Arbeit aufgenommen. Eigentlich sollte jede Region die Höhe der Abgabe⁶ auf eine bestimmte Emissionsmenge unter marktwirtschaftlichen Prinzipien selbst bestimmen⁷ und Emissionsrechte an Firmen abgeben. Die Regionen handeln mit Emissionen, wodurch der internationale Handelspreis dafür festgelegt wird. Durch diese Lösung kann auch politisches Versagen vermieden werden, weil sie ein Austausch der inländischen Politik ist. Die Konkurrenz zwischen den Regierungen kann ein „Moral-Hazard“ der Politiker verhindern. Indem diese Konkurrenz die Wünsche des jeweiligen Volkes genau reflektiert, können die Politiker auch die Ratifikation durch das Volk erhalten.

Der Grund dafür, dass eine zentralisierte Umweltpolitik, wie z.B. internationale Kooperation im Umweltschutz, oft gefordert wird, liegt darin, dass in Bezug auf die globale Erwärmung immer wieder ein falsches Argument aufgenommen wird, wonach die Menge der in der Atmosphäre emittierten Schadstoffe für jede Region zwar unterschiedlich ist, aber die Größe des Schadens in jeder Region immer gleich oder unabhängig von den Mengen der Schadstoffe ist. Aber in Wirklichkeit ist die Größe des Schadens unterschiedlich, weil er abhängig von Zustand sowohl der Wirtschaft als auch der Natur in den jeweiligen Regionen ist. Die Regionen werden dann Maßnahmen der Schadensvermeidung ergreifen, wenn diese kostengünstiger als die zu befürchtenden Entschädigungszahlungen sind. Jede Region soll mit einer individuellen, marktwirtschaftlichen Lösungsstrategie die jeweils effizienteste Politik bestimmen, weil sie die Bedingungen am besten kennt und deshalb die Lage auch am besten beurteilen kann. Überdies hätte

⁵ Mit einer marktwirtschaftlichen Konzeption vom Umweltschutz muss die Definition eines ökologischen Rahmens einhergehen. Sonst wird der ökologische Rahmen oft politisch vorgegeben und insoweit wird dieser ausgenutzt. Vgl. Hans G. Monissen (1976), Haftungsregeln und Allokation: Einige einfache analytische Zusammenhänge, in: Jahresbuch für Sozialwissenschaft, Vol. 7, S. 392.

⁶ Die Umweltabgabe wurde von Pigou (1932) als die erste Lösungsmethode vorgeschlagen, und von Baumol und Oates (1988) entwickelt. Baumol und Oates sagen, dass die Kontrolle der Umweltverschmutzung in jedem Land durch die so genannte Pigou-Steuer ein Standard zu werden hat, das unter den Prinzipien der mikroökonomischen Theorie angewendet ist, und erforschen die Eigenschaften und die Limitationen der Pigouschen Lösung und das Potenzial der zahlreichen alternativen politischen Methoden, die die Subventionen für die Reduktion der Verschmutzung einschließen. Vgl. William J. Baumol und Wallace E. Oates (1988), *The Theory of Environmental Policy*, 2. Aufl., Cambridge, S. 1.

⁷ Holger Bonus behauptet, dass es problemlos ist, dass jedes Land vor dem Suchen nach einer internationalen Lösung mit ihren eigenen Abgaben die eigene Entwicklung anstrebt, statt der bürokratischen Reglementierung der Emission jeder einzelnen Industrieanlage. Vgl. Holger Bonus (1986), Reform der Umweltpolitik, in: Roland Vaubel und Hans D. Barbier (Hrsg.), *Handbuch Marktwirtschaft*, Weinsberg, 1986, S. 357.

man es bei der dezentralen Umweltpolitik mit einer „stabilen“ Politik zu tun, in dem Sinne, dass sie weniger abhängig von Veränderung internationaler Konditionen ist als etwa eine zentrale Umweltpolitik.⁸

Übermäßige Angst vor der globalen Erwärmung lässt sich auch darauf zurückführen, dass häufig das Selbstreinigungssystem der Atmosphäre übersehen wird. Viele Umweltschützer wollen eine anthropogene Schadstoffemission weiter beschränken, jedoch ohne zu berücksichtigen, dass es einen engen Zusammenhang zwischen wirtschaftlichem Wachstum und diesen Emissionen gibt.

Es scheint auf den ersten Blick moralisch notwendig zu sein, die nächsten Generationen vor katastrophalen Umweltproblemen zu schützen, aber genauer betrachtet kann es auch unvernünftig und unmoralisch sein, weil diese Sichtweise gegenwärtige und zukünftige Einkommensverluste völlig übersieht.⁹ Diejenige Politik, welche die Effizienz der globalen Umweltpolitik erhöhen will, darf weder die Effizienz der Umweltpolitik jedes einzelnen Landes noch jeder einzelnen Generation verletzen. Dieses Argument erfüllt gleichzeitig die Bedingung für die Verteilungsgerechtigkeit durch die Politik.

Wenn die negativen Effekte der Schadstoffe in einer geschlossenen Wirtschaft verbleiben, werden diese Effekte als inländische Umweltverschmutzung verstanden. Dagegen gibt es länderübergreifende Umweltprobleme, die sich über die Grenzen eines Staates ausbreiten. Das Problem der globalen Erwärmung ist solch ein länderübergreifendes Umweltproblem. Bei diesem Problem üben die Schadstoffe, die zwar nur von einer Region emittiert werden, nicht nur Einfluss auf diese Region aus, sondern auch auf alle Regionen der Welt.¹⁰ Die vorliegende Arbeit nimmt die naturwissenschaftlichen Erklärungen zur globalen Erwärmung auf und setzt sie in Bezug zur Emission anthropogener Treibhausgase, um eine genaue wirtschaftliche Analyse länderübergreifender Umweltprobleme zu geben.

Anschließend wird die Diskussion auf praktischer Ebene umgesetzt. Auf dieser Ebene müssen zunächst die folgenden drei Zusammenhänge erklärt werden:

⁸ Vgl. Roland Vaubel (1991), A Public Choice View of International Organization, in: Roland Vaubel und Thomas D. Willett (Hrsg.), The Political Economy of International Organizations: A Public Choice Approach, Oxford, S. 30.

⁹ Hayek hat gezeigt, wie das moralische Verhalten der Menschen vor der Krise zu schlimmeren Ereignissen führen kann, und hat behauptet, dass wir bei unseren Anstrengungen zur Problemlösung für die Zukunft desto vorsichtiger sein müssen, um diese aufgrund je hoher Ideen zu formen. Vgl. Friedrich A. Hayek (1991), The Road To Serfdom (1944), London, S. 4.

¹⁰ Vgl. Eberhard Feess (1998), Umweltökonomie und Umweltpolitik, München, S. 207–214.

1. Die Beziehung zwischen Treibhausgasen und Temperaturerhöhung
2. Entscheidungen der Politik in Bezug auf Umwelt-, Wirtschafts- und Gesellschaftszustände sowohl in einer Region als auch in der Welt
3. Die Wirkung der gewählten politischen Lösungsstrategie auf Umweltverbesserung und wirtschaftliche Entwicklung

Tariq Banuri und John Weyant (2001) haben in ihrer Analyse aus dem Abschätzungsbericht der IPCC (International Panel For Climate Cooperation) drei Perspektiven aufgezeigt: 1. Kosteneffektivität, 2. Gerechtigkeit, und 3. globale Nachhaltigkeit.¹¹ Hier stellt sich die Frage, ob Politik zentral oder dezentral verwirklicht werden soll. Die Entwicklung der Diskussion über die globale Erwärmung in der Wirtschaftswissenschaft hat die Kosten-Nutzen-Analyse in Bezug auf die Kosteneffizienz in Politikentscheidungen eingeführt, sodass ein Preismechanismus durch die Übereinstimmung zwischen Grenznutzen und Grenzkosten für flexible Entscheidungen über optimale Emissionsmengen anzunehmen ist. Vom Preismechanismus geleitete Entscheidungen erfolgen automatisch und kosteneffizient. In Bezug auf die Gerechtigkeit der Umweltpolitik wurde der utilitaristische Begriff der Gerechtigkeit von Wirtschaftswissenschaftlern verwendet. In der Vorstellung der utilitaristischen Gerechtigkeit darf, um eine Verbesserung der Gesellschaft zu erreichen, niemand Verluste erleiden. Der Preismechanismus, kombiniert mit utilitaristischer Gerechtigkeit, kann also die Bedingung des Pareto-Optimums erfüllen,¹² wonach es in der Allokation nicht mehr möglich ist, ein Wirtschaftssubjekt besser zu stellen, ohne mindestens ein Wirtschaftssubjekt schlechter zu stellen.

Nachhaltigkeit ist unbedingt verbunden mit Wirtschaftsaktivitäten, in denen nicht nur die maximale Schadstoffkapazität der Atmosphäre, sondern auch die Möglichkeit von Ersatzenergien, bzw. der Entwicklung von effizienteren Technologien und die Zeitprä-

¹¹ Vgl. Tariq Banuri und John Weyant (2001): *Setting the Stage: Climate Change and Sustainable Development*, in: B. Metz, O. Davidson, R. Swart, und J. Pan (Hrsg.), *Climate Change 2001: Mitigation*, IPCC, S. 78. Banuri und Weyant behaupten, dass es eine dreifache Begründung dieser Aufstellung gibt. Die erste ist, dem Leser zu helfen, jede Perspektive in der Entwicklung von Richtlinienwissenschaft, wie der Abschätzungsbericht von IPCC widerspiegelt, zu zeigen. Zweitens verfolgt dieser Bericht das Ziel, die Ausgaben zur Verminderung der Emission der Treibhausgase im Zusammenhang von Klimarichtlinien zu vergrößern. Drittens versucht er, von ihm standardisierte Klimarichtlinien auf einzelne Regionen zu übertragen. Und man muss hervorheben, dass sich der Bericht auf ältere wissenschaftliche Ergebnisse stützt und methodisch keine lineare Entwicklung darstellt.

¹² Mit diesem Zweck wird die staatliche Gerechtigkeit gerechtfertigt. Vgl. Wilhelm Pfähler (1986), *Markt und Staat – Ökonomische Begründungen der Staatstätigkeit*, in: Roland Vaubel und Thomas D. Willett (Hrsg.), *Handbuch Marktwirtschaft*, Weinsberg, S. 52–54, und vgl. John G. Cullis und Philip R. Jones (1989), *Microeconomics and the Public Economy: A Defence of Leviathan*, Oxford, S. 3–4.

ferenz der gegenwärtigen Politik eingeschlossen sind. Dieses Argument bedeutet, dass eine nachhaltige Entwicklung nur mit einem dynamischen Preismechanismus, der Informationen über Schadstoffemissionen gegenwärtiger und zukünftiger Generationen einschließt, gerechtfertigt werden kann.

Eine zentralisierte Politik für die Lösung länderübergreifender Probleme wie die globale Erwärmung wird von der weltweit tätigen Umweltorganisation IPCC gefordert. In seinem Bericht „Climate Change 2001“ hat der Aufsichtsrat einige Simulationen über die Änderung der Temperatur entworfen, um eine umweltzentrische, globale Umweltpolitik zu rechtfertigen. Dabei hat er die Analyseprinzipien in zwei gegensätzliche Ansichten unterteilt: 1. umweltzentrisch oder wirtschaftlich, und 2. global oder regional. Die Simulationen zeigen, dass die Ergebnisse der wirtschaftlichen, regionalen Simulation am schlechtesten sind. Allerdings übersieht diese Simulation einige Parameter wie die Rückwirkung der Natur auf die Wirtschaft und die Rückkopplung der wirtschaftlichen Parameter auf den Zustand der Umwelt. Dagegen haben einige Wirtschaftler, wie beispielsweise Nordhaus, mit ihrem eigenen Simulationstool behaupten, dass das Resultat der wirtschaftlichen, regionalen Umweltpolitik auf die Umweltverbesserung nicht schlechter ist als eine globale Umweltpolitik und nicht schädlicher und teurer im Vergleich zum gegenwärtigen Zustand.

2. Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist in zwei Hauptteile eingegliedert. Der erste Teil ist eine theoretische Analyse über das länderübergreifende Problem der globalen Erwärmung, während der zweite Teil eine faktische Analyse darstellt. Vor der Analyse sollen die Prinzipien politischer Entscheidung für die Lösung dieses länderübergreifenden Umweltproblems vorgestellt werden. Diese sind Effizienz, Verteilungsgerechtigkeit, Dezentralisierung und Nachhaltigkeit.

Effizienz ist ein typisches wirtschaftliches Grundprinzip zur Analyse einer bestimmten politik. Eine effizient betriebene Politik, kann eine optimale Ressourcenallokation erreichen. „Gerechtigkeit“ ist ein wichtiges, gesellschaftliches Ziel bei politischen Entscheidungen. In dieser Arbeit wird von der Gerechtigkeit zwischen den Regionen und den Generationen gesprochen. Gerechte Umverteilung kann als ein Hauptziel von Politik

angesehen werden. Durch diese Art der Politik soll weder eine Region noch eine Generation gravierende Verlust erfahren.

Die letzten zwei Prinzipien hängen von dem globalen Umweltproblem der Erwärmung ab, das immer wieder eine globale, umweltpolitische Reaktion hervorruft. Vor der Ausrufung einer globalen Politik sollte aber auch die Souveränität der einzelnen Staaten berücksichtigt werden. Ein Staat kann sich für eine bestimmte Politik entscheiden und dabei durch autonom geführten Handel mit anderen Staaten sowohl seine politische als auch wirtschaftliche Grundlage verbessern. Die Langlebigkeit der Treibhausgase erfordert eine Berücksichtigung der Nachhaltigkeit. Daraus resultiert die Notwendigkeit einer dynamischen Analyse des Effektes der anthropogenen Treibhausgase auf die Wirtschaftsentwicklung.

Zuerst wird der negative, externe Effekt der Erwärmung behandelt, der als Basis für die Analyse dieses langlebigen, länderübergreifenden Problems dient. Die Hauptlösung ist die Internalisierung dieses Effektes. Dies kann dadurch erreicht werden, dass in der Wirtschaft mit Schadstoffen gehandelt wird, wodurch die optimale Ressourcenallokation erhalten bleibt. Zwar werden die klassischen zwei Ansätze zur Internalisierung des externen Effektes, pigouische und coaseische Ansätze, behandelt, aber die marktwirtschaftliche Lösung erfordert eine weitere Modifikation beider Ansätze. Danach betrachten wir die globale Erwärmung als einen Sonderfall dieses externen Effektes. Da der Schaden in einem Staat nicht nur durch die eigene Schadstoffemission, sondern auch durch diejenigen anderer Staaten ausgelöst wird, wird die optimale Weltressourcenallokation nicht durch eine inländische Preislösung erreicht, obwohl eine Preislösung, die die Emissionspräferenz jedes Staates aufzeigt, als die richtige anzunehmen ist. Da bei der inländischen Ermittlung des Emissionspreises nur die inländische, optimale Ressourcenallokation erzielt wird, sollen die Ressourcen beziehungsweise die inländischen Schadstoffemissionen wiederum durch den Außenhandel neu verteilt werden, um die globale, optimale Ressourcenallokation zu erhalten.

Im vierten Kapitel werden die naturwissenschaftlichen Ergebnisse über die Eigenschaften des Treibhauseffektes betrachtet, die eine Grundlage für die Simulation der globalen Erwärmung und daraus resultierenden Politikentscheidungen sind. In diesem Kapitel werden viele verschiedene Faktoren durch andere Forschungsergebnisse, die teilweise schon gegeben sind, festgelegt. Auf jeden Fall ist die anthropogene Schadstoffemission ein wichtiger Produktionsfaktor. Die Wirkung dieser Emission auf die Klimaerwärmung

ist noch unabsehbar, aber wenn man die Kosten der Anpassung an die Klimaänderung als Schaden annimmt, dann kann der Schaden durch die Klimaerwärmung berechnet werden. Dabei darf die Assimilationsfähigkeit der Atmosphäre nicht ignoriert werden, weil sie ein wichtiger Bestandteil derjenigen Elemente ist, die den Emissionspreis entscheiden. Auch in Bezug auf die Assimilation soll die Veränderung ihrer Fähigkeit ausführlich beobachtet werden, und ebenso sollte die Verbesserung dieser Fähigkeit immer Betrachtung finden.

Im nächsten Kapitel wird der Effekt der Schadstoffemission auf die Wirtschaft, beziehungsweise die Rückkopplung dieser Emission auf die Wirtschaft betrachtet. Wichtiges Thema dieses Kapitels ist nicht nur die Berechnung des Schadens, sondern auch die Berechnung der Grenzkosten der Schadenvermeidung, für die der Grenzscha-den zuerst berechnet wird. Durch die Faktoren, die im naturwissenschaftlichen Bereich und die Grenzkosten des Schadens, die im marktwirtschaftlichen Bereich vorgegeben sind, können die Grenzkosten der Schadensvermeidung berechnet werden.

Im Kapitel F wird eine Simulation versucht, die den Zusammenhang zwischen den naturwissenschaftlichen und den wirtschaftlichen Faktoren zeigt und die Auswirkung bei der Veränderung eines Faktors veranschaulicht. In dieser Simulation werden die Effekte der Politik bzw. des bekannten Kyoto-Abkommens und einer optimalen Politik, die in dieser Arbeit vorgeschlagen wird, untersucht. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist, dass die Wichtigkeit des Austausches der Politik für die Reduktion der Schadstoffemission zwischen den Staaten nicht zu ignorieren ist, und dass die Verwirklichung des Kyoto-Abkommens nur durch zusätzliche Kosten und das Aufgeben von Teilen der Staatssouveränität möglich ist.

In der Schlussfolgerung werden Behauptungen über eine scheinbar katastrophale, globale Erwärmung und über die Durchsetzung des Außenhandels der Politik bzw. der globalen öffentlichen Güter diskutiert.

Am Ende dieser Arbeit wird darüber diskutiert werden, wie eine Wirtschaft praktisch auf die globale Umweltverschmutzung, besonders die globale Erwärmung, reagieren soll und wie sie vor der globalen, zentralisierten Lösung, wie dem internationalen, politischen Kyoto-Abkommen warnen kann. Trotz des noch ausstehenden Nachweises des tatsächlichen Ausmaßes und des Gefährdungspotentials der globalen Erwärmung von Seiten der Naturwissenschaft wird durch politische Absprache als „Reaktion“ darauf die Gründung einer internationalen Organisation zur Verminderung der länderübergreifen-

den Umweltverschmutzung immer wieder gefordert, die allerdings sehr hohe Kosten verursachen würde. Dabei ist klar, dass eine eventuelle Verminderung von Umweltverschmutzung selbst schon sehr hohe Zusatzkosten verursacht. Grundsätzlich wird die Bedeutung einer internationalen Organisation nicht geleugnet, aber vor einer möglichen Zentralisierung durch sie und der daraus resultierenden Gefahr geheimer Absprachen der Regierungen aller Mitgliedsländer muss gewarnt werden. Außerdem wird die Rechtfertigung des Alternativmodells, das in dieser Arbeit simuliert ist, genauer dargestellt.

3. Grundprinzipien zur Analyse länderübergreifender Umweltprobleme

3.1. Effizienz und Verteilungsgerechtigkeit

Vor dem Behandeln des länderübergreifenden Umweltproblems der globalen Erwärmung müssen die Prinzipien für Entscheidung in der Umweltpolitik definiert werden. Solange Umweltprobleme im wirtschaftswissenschaftlichen Sinne behandelt werden, muss über die Rollenverteilung zwischen Markt und Staat gesprochen werden. Der Markt ist für die bestmögliche Gesamtwohlfahrt zuständig, und der Staat für die beste Verteilung dieser Gesamtwohlfahrt. Die Wirtschaftswissenschaft nimmt zum Erzielen dieser Zwecke die folgenden zwei ökonomischen Prinzipien an: Pareto-optimale Effizienz und utilitaristische Gerechtigkeit. Die Gerechtigkeit ist auch eine Bedingung für die Effizienz in dem Sinne, dass die ökonomische Effizienz durch eine optimale Allokation der volkswirtschaftlichen Ressourcen auf Konsumenten, Produzenten, Investoren und Nutzungsperioden erreicht wird, bei der es nicht mehr möglich ist, die Wohlfahrt wenigstens eines Mitglieds in einer Gemeinschaft noch zu verbessern, ohne die Wohlfahrt anderer zu verschlechtern. Auch ist die Effizienz eine Bedingung für die Gerechtigkeit in dem Sinne, dass die verbesserte Wohlfahrt eines Mitglieds oder mehrerer Mitglieder in einer Gemeinschaft größer als die reduzierte Wohlfahrt der anderen Mitglieder sein soll, welche für die Politik als Kosten angesehen werden kann.¹³

¹³ Vgl. Wilhelm Pfähler (1986), A.a.O., S. 52–54.

3.1.1. Effizienz und optimale Ressourcenallokation

Um die optimale Verteilung ohne den Zustand des Marktversagens im allgemeinen Gleichgewicht zu erreichen, müssen die folgenden Effizienzbedingungen erfüllt werden: die Produktionseffizienz, die Tauscheffizienz und Top-Niveau-Effizienz.¹⁴ In dieser Arbeit wird die Tauscheffizienz in zwei Fällen betrachtet: 1. bei der interregionalen und 2. bei der intertemporalen Ressourcenallokation. Bevor wir diese beiden Fälle betrachten, muss über optimale Allokation im Autarkie-Zustand gesprochen werden, die Top-Niveau-Effizienz genannt wird. Um diese Effizienz zu erreichen, soll der Konsumverzicht einer Einheit eines Gutes zur Kompensation einer Konsummenge eines anderen Gutes führen, der durch den Produktionsverzicht einer Einheit dieses Gutes produzierbaren Menge des anderen Gutes entspricht. In diesem Tangentialpunkt zwischen der Produktion und dem Konsum sind die Grenzrate der Substitution zwischen den Gütern X und Y, MRS_{XY} , und die Grenzrate der Transformation zwischen den Gütern X und Y, MRT_{XY} , identisch: $MRS_{XY} = MRT_{XY}$. Dabei sollen noch zwei Effizienzbedingungen, die Produktionseffizienz und die Tauscheffizienz, erfüllt werden. Die Grenzrate der Substitution ist das Verhältnis zwischen den Grenznutzen von X und Y, das ein Verhältnis zwischen den Konsumpreisen von X und Y ist, und die Grenzrate der Transformation ist das Verhältnis zwischen den Grenzkosten von X und Y, das ein Verhältnis zwischen Produktionspreisen von X und Y ist.¹⁵

Ausgehend von dieser Effizienzbedingung im Autarkiezustand können wir die Tauscheffizienz bei der interregionalen und bei der intertemporalen Ressourcenallokation betrachten. Eigentlich kann die Grenzrate der Transformation eines Landes nicht der eines anderen Landes entsprechen, das gleiche gilt auch für die Grenzrate der Substitution. Durch die Öffnung des Welthandels werden die Verhältnisse der Grenzkosten von X und Y in den handelnden Ländern, also die Grenzrate der Transformation in einem Importland und in einem Exportland, MRT_{XY}^f und MRT_{XY}^d identisch, und es wird ein Verhältnis zwischen den Grenznutzen von X und Y in der Welt, MRS_{XY}^W , gebildet. Wenn diese Verhältnisse vollkommen gleich sind, kann man sagen, dass die optimale Allokation

¹⁴ Vgl. John G. Cullis und Philip R. Jones (1989), A.a.O., S. 5–10.

¹⁵ Vgl. Robert S. Pindyck, Daniel L. Rubinfeld und Ulrich K. Schittko (1998), Mikroökonomie, München, S. 708–741.

tion der Weltressourcen erreicht ist: $MRT_{XY}^f = MRT_{XY}^d = MRS_{XY}^W$, sodass sich die Tauscheffizienz bei der interregionalen Ressourcenallokation erfüllt.

Wie bei der interregionalen Ressourcenallokation muss die Grenzrate der Substitution bei gegenwärtigem und zukünftigem Konsum unterschiedlich sein, und auch die Grenzrate der Transformation. Bei der Betrachtung einer effizienten intertemporalen Ressourcenallokation muss nicht nur die statische Eigenschaft des Konsums, sondern auch die dynamische, berücksichtigt werden. Bezeichnen wir den Konsum der ersten Lebensperiode X_t und den Konsum der zweiten Y_{t+1} . Wenn die Tauscheffizienz in allen Generationen angenommen wird, dann können die Grenzraten der Substitutionen zwischen den Generationen für die Konsumenten A und B gleich sein:

$$MRS_{XY}^{At} = \frac{MU_X}{MU_Y} \Big|^{At} = MRS_{XY}^{Bt} = \frac{MU_X}{MU_Y} \Big|^{Bt}.^{16}$$

Diese Gleichung bedeutet, dass das Preisverhältnis zwischen Gegenwarts- und Zukunftskonsum für alle Konsumenten gleich ist:

$$MRS_{XY}^{At} = MRS_{XY}^{Bt} = \frac{P_X}{P_Y}.$$

Aber für den Ausgleich zwischen Gegenwarts- und Zukunftskonsum müssen die diskontierten Werte der zukünftigen Konsumpreise in der Gegenwart bezüglich der Zeitpräferenz berücksichtigt werden.

3.1.2. Verteilungsgerechtigkeit und Wohlfahrt

Zwar kann eine bestimmte Wirtschaftspolitik die Bedingungen der Effizienz erfüllen, aber das Problem der Verteilungsgerechtigkeit muss noch gelöst werden, um diese Politik praktisch anwenden zu können. Um die Bedingungen der Effizienz zu erfüllen, muss die Summe aller individuellen Nutzen auf die Nutzensmöglichkeitsgrenze maximiert werden. Wir können die im gesellschaftlichen Bereich gezogene Nutzensmöglichkeitsgrenze als gerecht beibehalten,¹⁷ solange das Produktions- und Konsumsystem durch den vollständig liberalen Konsensus der Mitglieder in einer Gesellschaft entschieden

¹⁶ Vgl. Dietmar Wellisch (1995), Dezentrale Finanzpolitik bei hoher Mobilität, Tübingen, S. 148.

¹⁷ Vgl. James M. Buchanan (1984), Die Grenze der Freiheit: Zwischen Anarchie und Leviathan, Tübingen, 1984, S. XI.

ist.¹⁸ Vor allem geht die Verwirklichung der Verteilungsgerechtigkeit von einem Zustand aus, in dem die Nutzen der Mitglieder unter der Verwendung der gegebenen Ressourcen schon maximiert sind.

Die Nutzensumme aller Individuen in einer Gesellschaft wird aus utilitaristischer Perspektive als gesellschaftliche Wohlfahrt W bezeichnet:

$$W = \sum a_i U_i. \quad (1.a)$$

Diese Gleichung ist eine charakteristische Bernoulli-Nutzenfunktion.¹⁹ U_i ist der Nutzen einer Person i , und a ist der Parameter, der die individuelle Beziehung zwischen der Wohlfahrt und dem Nutzen zeigt. Der Gesamtnutzen einer Gesellschaft kann in einem Tangentenpunkt zwischen der konvexen Wohlfahrtskurve und der Nutzentransformationskurve maximiert werden, an dem die Grenzrate der Nutzentransformation $MRUT_{AB}$ (marginal rate of utility transformation) der Grenzrate der Substitution zwischen den Nutzen der zwei Individuen MRS_{AB} entspricht. Dann muss die Wohlfahrtsmaximierung die folgende Kondition erfüllen: $MRUT_{AB} = MRS_{AB}$. In diesem Tangentenpunkt ist eine Nutzenerhöhung einer Person A ohne den Nutzenverlust einer anderen Person B unmöglich.

Wir können noch die Frage stellen, welcher Punkt auf der Nutzenmöglichkeitsgrenze am gerechtesten ist. Es gibt vier verschiedene Ansichten bezüglich dieser Frage: 1. die egalitäre, 2. die Rawls'sche, 3. die utilitaristische, und 4. die marktorientierte Sicht.²⁰

Unter der egalitären Sicht erhalten alle Mitglieder einer Gesellschaft gleiche Gütermengen, sodass sich die Präferenzen fast aller Mitglieder nicht erfüllen lassen, weil die Präferenzen der Individuen nicht gleich sein können.²¹ Die Behauptung von Rawls, dass die Gesellschaft der Nutzenmaximierung der am schlechtesten gestellten Person dient,

¹⁸ Vgl. Friedrich A. Hayek (1996), *Die verhängnisvolle Anmaßung: Die Irrtümer des Sozialismus*, übersetzt von Monika Streissler, Tübingen, S. 38. Nach der Behauptung von Hobbes entsteht dieser Konsens deswegen, weil die Menschen die Verluste reduzieren wollen, die im Naturzustand „<bellum omnium contra omnes>“ einfach unvermeidbar sind. Vgl. Georg Geismann und K. Herb (1988), in: Thomas Hobbes, *Hobbes über die Freiheit, Widmungsschreiben, Vorwort an die Leser und Kapitel I-III* aus „*De Cive*“ (lateinisch - deutsch), eingeleitet und mit Scholien herausgegeben von Georg Geismann und K. Herb, Würzburg, S. 104.

¹⁹ Siehe zum Begriff, *Gabler Wirtschafts-Lexikon*, Aufl., 13, Wiesbaden, 1993.

²⁰ Vgl. Robert S. Pindyck, Daniel L. Rubinfeld und Ulrich K. Schittko (1998), *A.a.O.*, S.720–722.

²¹ Diese egalitäre Sicht ist schon seit dem 19. Jahrhundert als Problem der „sozialen Gerechtigkeit“ diskutiert worden, wobei die Differenz zwischen reich und arm unter dem Aspekt gesellschaftlicher Integration als Problem der gesellschaftlichen Institutionen behandelt wurden. Vgl. Ingo Pies (1995), *Theoretische Grundlagen demokratischer Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik – Der Beitrag der Gerechtigkeitstheorie*, in Ingo Pies und Martin Leschke (Hrsg.), *John Rawls' politischer Liberalismus*, Tübingen, S. 1–2.

führt dazu, dass eine solche Gesellschaft als gerecht angesehen wird, die den Lebensstandard der im Wirtschaftssystem einer Gesellschaft niedrig gestellten Personen politisch korrigiert.²² In dieser Korrektur birgt jedoch die Gefahr, dass die Mitglieder mit niedrigem Lebensstandard sich selbst ärmer machen.²³ Dagegen verlangt die utilitaristische Sicht eine Politik, die den Gesamtnutzen aller Mitglieder der Gesellschaft maximiert. Unter der marktorientierten Sicht ist das Ergebnis des wettbewerbsfähigen Marktprozesses am gerechtesten, weil im Gleichgewicht diejenigen belohnt werden, die am fähigsten sind und am meisten arbeiten.²⁴ Wir nehmen an, dass die Änderung des Nutzens einer Person einen proportionalen Einfluss auf die Wohlfahrt ausübt, sodass der Parameter a_i in der Gleichung (1.a) als eins, $a_i=1$, angesehen wird: also $W = \sum U_i$. Da der individuelle Nutzen von der Konsumfähigkeit abhängt, die wiederum von dem Einkommen abhängig ist, können wir die Wohlfahrtsfunktion durch den Ungerechtigkeitsindex e wie folgt verändern.²⁵

$$W = \sum_{i=1}^n U(Y_i) = \frac{1}{1-e} \sum_{i=1}^n Y_i^{1-e}; e \neq 1. \quad (1.b)$$

Hierbei gilt; W = die soziale Wohlfahrt,
 $U(Y_i)$ = der Nutzen einer Person i ,
 Y_i = das Einkommen einer Person i ,
 e = die Ungerechtigkeit.

Diese Nutzenfunktion $U(Y_i)$ hat den folgenden Grenznutzen des Einkommens: $dU/dY = Y^{-e}$, und ist als „von Neumann-Morgensterns Nutzenfunktion vom Einkommen“ bekannt. Wenn der Ungerechtigkeitsindex e gleich null ist, dann ist die Erhöhung der gesellschaftlichen Wohlfahrt gleich der Einkommenserhöhung einer Person. Dieses Ergebnis reflektiert die utilitaristische Sicht. Wenn der Ungerechtigkeitsindex e in dieser Gesellschaft kleiner eins ist, dann bewirkt die Nutzenerhöhung eines Individuums die Erhöhung der gesellschaftlichen Wohlfahrt, die weniger als proportional ist. Wenn der Ungerechtigkeitsindex unendlich groß wird, $e = \infty$, dann wird die Wohlfahrtsfunktion mit dem niedrigsten Nutzen identifiziert. Dies bedeutet, dass die Gesellschaft sehr stark soziale Gerechtigkeit vor dem individuellen Nutzen bevorzugt, sodass die Erhöhung der

²² Diese Gerechtigkeit nennt J. Rawls „die Gerechtigkeit als Fairness“ Vgl. John Rawls (1971), *A Theory of Justice*, Oxford, S. 250.

²³ Vgl. Robert S. Pindyck, Daniel L. Rubinfeld und Ulrich K. Schittko (1998), *A.a.O.*, S.721, und James M. Buchanan (1987), *Economics: Between Predictive Science and Moral Philosophy*, Texas, S. 265–266.

²⁴ Vgl. Robert Nozick (1976), *Anarchie, Staat, Utopia*, übersetzt von H. Vetter, New York, S. 38.

²⁵ Vgl. John G. Cullis und Philip R. Jones (1998), *Public Finance and Public Choice*, Oxford, S. 8–9.

gesellschaftlichen Wohlfahrt nur von dem Nutzenniveau der am schlechtesten gestellten Person abhängt. Diese Ableitung entspricht der Rawls'schen Ansicht.²⁶ Wenn der Ungerechtigkeitsindex sich auf eins annähert: $e \approx 1$, dann verändert sich die Sozialwohlfahrtsfunktion durch das L'Hopital-Theorem in die Logarithmusfunktion $\ln Y$. Diese Funktion bedeutet, dass die Wohlfahrtsfunktion eine Inada-Funktion von dem Einkommensniveau ist.²⁷

Durch den Vergleich zwischen der Rawls'schen und der marktorientierten Sicht können wir begründen, warum die Einkommensverteilungspolitik auf dem marktorientierten Ressourcenverteilungsprinzip basieren muss.²⁸ Wenn der Gesamtnutzen für alle gleich umverteilt wird, und keine externen Kosten existieren, dann müssen die Wohlfahrtsfunktion aus den gleichelastischen Nutzenfunktionen und die aus den Nutzenfunktionen von den gleich zuteilten Einkommen wie folgt identisch sein:

$$W(U_1(Y_1), U_2(Y_2), \dots, U_n(Y_n)) = W(U_1(Y_g), U_2(Y_g), \dots, U_n(Y_g)). \quad (2)$$

Durch die Gleichungen (1.a) und (1.b) kann man diese Beziehung in den folgenden Pro-Kopf-Nutzenfunktionen neu beschreiben:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Y_i^{1-e}}{1-e} = \frac{Y_g^{1-e}}{1-e}; e \neq 1. \quad (3)$$

Diese Gleichung kann durch das Dividieren von $1-e$ wie folgt beschrieben werden:

$$Y_g = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^{1-e} \right]^{1/(1-e)}; e \neq 1. \quad (4)$$

Dividieren wir zum Unterschied zwischen dem gleich zuteilten Einkommen und dem Durchschnittseinkommen die Gleichung (4) mit dem Durchschnittseinkommen, erhalten wir den folgenden Atkinson-Ungerechtigkeitsindex AI.

$$AI = \frac{Y_g}{\bar{Y}} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^{1-e} / \bar{Y} \right]^{1/(1-e)}. \quad (5)$$

Hierbei gilt; AI = Atkinson-Ungerechtigkeit,
 \bar{Y} = das Durchschnittseinkommen.

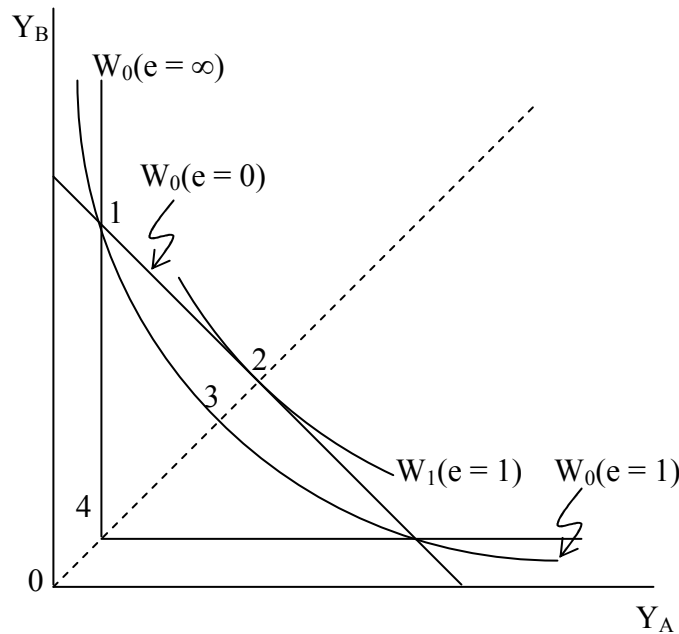
²⁶ Vgl. John Rawls (1975), Eine Theorie der Gerechtigkeit, Frankfurt am Main, S. 311.

²⁷ Vgl. Eugene Silberberg (1978), The Structure of Economics a Mathematical Analysis, S. 321. In der Inada-Nutzenfunktion steigt die Wohlfahrt durch die Steigerung des Nutzens, aber die Steigerungsrate wird umso kleiner.

²⁸ Dazu ist der Atkinson-Ungerechtigkeitsindex nützlich. Die Ableitung eines solchen Index ist von Cullis und Johns dargestellt. Vgl. John G. Cullis und Philip R. Jones (1998), A.a.O., S. 219–221.

Wenn das gleich zugeteilte Einkommen einer Person gleich dem Durchschnittseinkommen ist; $Y_g = \bar{Y}$, dann ist die Ungerechtigkeit null, $e = 0$, und AI eins, $AI=1$.

Gehen wir von der Anfangsausstattung des Gesamteinkommens in der Konstellation 1 in der folgenden Abbildung aus. Dabei verschiebt die Politik der egalitären oder Rawls'schen Einkommensumverteilung die Einkommensausstattung in der Konstellation 4. Die Verteilung der gleichen Durchschnittseinkommen kann die Anfangseinkommensausstattung in der Konstellation 2 verschieben. Die Politik, die das Anfangsgesamteinkommen gleichwertig verteilt, verschiebt die Anfangsausstattung in der Konstellation 3. Dann können wir die Ausstattungen des gleich zugeteilten Einkommens wie folgt beschreiben: (Y_R, Y_R) in der Konstellation 4, (Y_g, Y_g) in der Konstellation 3 und (\bar{Y}, \bar{Y}) in der Konstellation 2. Dieses Ergebnis zeigt, dass die marktorientierte Umverteilungspolitik nicht nur effizienter ist als die Rawls'sche, sondern auch gerechter.



<Abb. 1>

Atkinson-Ungerechtigkeitsindex

Quelle:

John G. Cullis und Pilip R. Jones, Public Finance and Public Choice, Oxford, 1998, S. 220.

3.2. Dezentralisierung der Umweltpolitik

Nehmen wir an, dass eine globale, zentralisierte Maßnahme als Antwort auf die globale Umweltzerstörung beschlossen wird. Die Regionen werden sie zur Schadensvermeidung ergreifen, wenn sie kostengünstiger als zu befürchtende Entschädigungszahlungen ist. Diese Maßnahmen könnten je nach Präferenz und Ausstattung mit natürlichen Ressourcen sehr unterschiedlich durchgeführt werden. Sie könnten von Politikern und Produzenten in Regionen mit hohem Umweltstandard als Umweltdumping angesehen werden, sodass diese infolgedessen auf internationale Vereinheitlichung drängen.²⁹ Aber da sich länderübergreifende Umweltprobleme nicht auf eine Region beschränken, und die Regeln der einseitigen Kompensation nur zugunsten einer kompensierten Region bestehen, kommt es zu außenpolitischen Komplikationen, sodass die unterschiedliche Betroffenheit der Mitgliedstaaten innenpolitische Widerstände birgt.³⁰ In diesem Zustand können dezentralisierte, inländische Maßnahmen in Betracht gezogen werden. Sie könnten einen institutionellen Wettbewerb zwischen den Regionen und dadurch eine Angleichung verursachen, die aus dem Widerstand der Mitglieder resultiert.³¹ Also ist es wichtig, Unterschiede zwischen den zentralisierten und den dezentralisierten Lösungsstrategien näher zu betrachten.

Die dezentralisierte Lösung ist unmittelbar verbunden mit dem Gedanken der politischen Gewaltenteilung, der größeren Autonomie für kleinere Gemeinschaften und der Wahlfreiheit der Individuen zwischen lokal unterschiedlichen Wirtschaftsregimen.³² Zusätzlich kann eine dezentralisierte Lösung das Risiko einer ungerechten Verteilung des Einkommens, die aus unvollkommenen Informationen einer zentralisierten Maßnahme über die Präferenzen jeder Region entsteht, vermeiden. Dieser Informationsman-

²⁹ Vgl. Gérard Gäfgen (1994), Zentrale oder dezentrale Wirtschaftspolitik in Europa, in: Bernhard Gahlen, Helmut Hesse, Jürgen Ramser (Hrsg.), Europäische Integrationsprobleme aus Wirtschaftswissenschaftlicher Sicht, Tübingen, S. 43–44.

³⁰ Vgl. Ebd., S. 43–44.

³¹ Dieser Wettbewerbsdruck ist abhängig von effizientem Staatshandeln, verbesserten Rahmenbedingungen, flexibler Anpassung an neue Gegebenheiten und der Beachtung der Bürgerpräferenzen. In Bezug auf die Bürgerpräferenzen sind die Abwandlungs- und die Protestbedingung von Mitgliedern einer Organisation bekannt. Vgl. Albert O. Hirschman (1970), *Exit, Voice, and Loyalty*, Cambridge, S. 33.

³² Vgl. Gérard Gäfgen, a.a.O., S. 31. In Bezug auf diese größtmöglichen Wahlfreiheiten wird der Hayek'sche Prozess spontan entwickelnder Ordnungen in Betracht gezogen, und vgl. Friedrich A. Hayek, (1968), *Wettbewerb als Entdeckungsverfahren*, Kieler Vorträge Vol. 56, Weltwirtschaftliches Institut, Kiel, S. 3.

gel bedeutet eigentlich das Scheitern von politischen Kalkülen.³³ Auch wenn wir „gleiche Autonomie von Mitgliederstaaten“ annehmen, führen Aktivitäten in eben deren Autonomiebereichen³⁴ zu unterschiedlichen Staatsausgaben, die auch durch eigene Einnahmen zu decken sind, weil die Ziele der Staaten und auch ihr Lebensstandard in der Gegenwart nicht gleich sind.³⁵

Aber wenn der freie, interregionale Handel unter den unterschiedlichen Bedingungen der verschiedenen Standorte als die Lösungsstrategie für länderübergreifende Umweltprobleme angenommen würde, dann könnten Handelsvorteile, wie Emissionsreduktion oder ein relativ billigerer Emissionspreis, entstehen. Grundsätzlich wird der Wettbewerb um billigere Produktionsfaktoren, also billigere Schadstoffemission, durch die optimale Senkung von Schadenstandards und Abgaben der Schadstoffemission versucht. Ohne Abgaben sind die geplanten öffentlichen Programme zwar nicht finanzierbar, aber es ist zu berücksichtigen, dass eine übermäßige Senkung der Abgaben auf kurze Sicht für die Bürger einen Vorteil durch steuerliche Entlastung schafft, auf lange Sicht jedoch einen offensichtlichen Nachteil darstellt, wie zum Beispiel der Mangel an finanziellen Möglichkeiten zur Lösung eines Umweltproblems. Jede Region sollte demnach gemäß ihrer Vorbedingungen und Möglichkeiten Umweltpolitik betreiben. Solcherart entsteht auch eine Variationsbreite an Lösungsstrategien.

Es ist klar, dass bei der zentralisierten Wirtschaftspolitik die Subjektivität der Präferenzen und deren genaue Bewertung oft vernachlässigt werden. Wenn eine zentralisierte Instanz aufgrund von Vermutungen umweltpolitische Entscheidungen trifft, die ein positives Resultat nur für einen Beteiligten erbringen kann und nicht auf gemeinsamem Konsens basieren, kann die Entscheidung dieser Instanz als gescheitert betrachtet werden.³⁶ Nehmen wir also die unwahrscheinliche Voraussetzung an, dass eine globale, zentralisierte Instanz die Funktion des Preismechanismus anwendet, um politische Entscheidungen aufgrund reiner Mutmaßungen zu vermeiden. Trotzdem sind Probleme, wie die subjektive Bewertung der Entschädigung und die Kosten der Information über

³³ Vgl. Raaj, K. Sah (1991), Fallibility in Human Organizations and Political Systems, in: Journal of Economic Perspectives, Vol. 5, S. 67. In diesem Artikel wird betont, dass die Entscheidung auf dem Zeitablauf weniger fehlbar sein kann, aber trotzdem können andere Fehlbarkeiten dabei entstehen.

³⁴ Der Autonomiebereich stellt einen Bereich dar, innerhalb dessen die Aktivität der Instanz die Ziele anderer Instanzen nicht berührt.

³⁵ Vgl. Olson Jr., Mancur (1969), The Principle of “Fiscal Equivalence”: The Division of Responsibilities among Different Levels of Government, in: American Economic Review, Vol. 59, 479. Hierbei behauptet er, dass jede locale Regierung ihre eigene Steuerungskraft haben soll und dabei auch Verantwortung auf ihre Region.

³⁶ Vgl. Vgl. Louis De Alessi (1998), Reflections on Coase, Cost, and Efficiency, in: J James M. Buchanan und B. Monissen (Hrsg.), The Economists’ Vision: Essays in modern economic perspectives; for Hans G. Monissen on the occasion of his sixtieth birthday, New York, S. 103.

den Schaden und Gewinn in dem jeweiligen Staat vorhanden, auch wenn die Preislösung ein objektives Kriterium für die Lösung des Umweltproblems ist.

Die Struktur des relativen Preises müsste unverändert bleiben, auch wenn die zentralisierte Instanz die Entscheidung über die optimale Emissionsmenge oder den optimalen Emissionspreis auch richtig getroffen hätte. Das Ergebnis dieser Entscheidung aber kann sich durch individuelle Nachfrage, die je nach der Änderung der individuellen Präferenz flexibel ist, noch verändern. Durch die Änderung der Nachfrage besteht die Möglichkeit dafür, dass sich die zuerst als ideal angestrebte Emissionsmenge zu einem späteren Zeitpunkt als nicht mehr optimal erweist, sodass eine neue Einschätzung der optimalen Menge notwendig wird, und sich der relative Preis in Abhängigkeit von der Preiselastizität verändert. In diesem Fall kann der Einfluss dieser Entscheidung auf die Gesamtwohlfahrt ignoriert werden, weil sie sich nicht verändern kann. Aber für das Individuum ist diese Entscheidung nicht zu vernachlässigen, weil die individuelle Unzufriedenheit und ein daraus resultierendes opportunistisches Verhalten die Gründe für die Ineffizienz dieser zentralisierten Politikentscheidung sind. Aus diesem Grund wird die Preislösung mit dem Handelssystem einer dezentralen Umweltpolitik gefordert. Sie hat folgende Vorteile:³⁷

1. Durch das Preissystem können alle Individuen die Informationen über Veränderung der Emissionswerte erhalten und daher dadurch den Anreiz bekommen, schnell und genau auf die Gewinnchancen zu reagieren.
2. Zudem liefert es Individuen den Anreiz dazu, nach neuen und produktiveren Methoden der Ressourcennutzung zu forschen.

Also ist die optimale Entscheidung über Emissionspreis und -menge nur in einem Marktsystem mit dezentraler Vorgehensweise möglich.

³⁷ Vgl. Louis De Alessi (1998), A.a.O., S. 107.

3.3. Nachhaltige Entwicklung

3.3.1. Aus soziologischer Sicht

Richard, Norgaard (1992) behauptet, dass die Nachhaltigkeit eine Hauptthese der generationenübergreifenden Gleichberechtigung ist.³⁸ Trotz der scheinbaren Nachvollziehbarkeit dieser These schränkt diese Art der Politik die Wirtschaftsentwicklung ein, indem sie zu einem vergleichsweise niedrigen Lebensniveau führt. Die Politik, die durch die drastische Reduktion der Karbon-Emission und die Anwendung des Vorsichtsprinzips eine nachhaltige globale Entwicklung sichern möchte, kann die Lage der Entwicklungsländer verschlechtern. Aber dem berühmten Brundtlandsbericht³⁹ zufolge können wir die nachhaltige Entwicklung wie folgt definieren: Das einzige, was wir für die Bedürfnisse der zukünftigen Generation tun können, ist, keine bestimmten Vorgaben zu machen, was zukünftige Generationen bewahren sollen, sondern ihnen Entscheidungsfreiheit zu geben. Demnach ist eine nachhaltige Entwicklung in praktischem Sinne moralisch inakzeptabel.⁴⁰ Nehmen wir die Prämissen des Brundtlandsberichts an, dann kann der nächsten Generation kein gegenwärtig erstellter Plan angeboten und auch nicht das Argument angeführt werden, dass die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generation nicht einer späteren zu opfern sind.⁴¹ Der wirtschaftliche Begriff der nachhaltigen Entwicklung erlaubt, dass einige Umweltressourcen reduziert werden, solange eine entsprechende Kompensation durch Steigerung anderer Ressourcen, eingeschlossen des Kapitals, angeboten wird. Die optimale Kapitalmenge zur Kompensation kann durch die Grenzsubstitutionsrate zwischen den Umweltressourcen und anderen Faktoren bestimmt werden.

Wir können die Maximierung der gesellschaftlichen Gesamtwohlfahrt während der gesamten Periode als einen alternativen Pfad der Entwicklung betrachten, bei der die frühere Generation die Ressourcen zu ihrer Wohlfahrtsmaximierung ausschöpfend benutzt.

³⁸ Vgl. Richard B. Norgaard (1992), Sustainability and the Economics of Assuring Assets for Future Generations, in: World Bank Policy Research Working Paper WPS 832, Washington, D.C. S. 1.

³⁹ Vgl. Wilfred Beckerman (2003), A Poverty of reason: Sustainable Development and Economic Growth, in: The Independent Institute, Oakland, S. 1. Vgl. Gro H. Brundtland, Our Common Future: „development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs“, World Commission on Environment and Development [WCED], 1987, S. 43.

⁴⁰ Ebd., S. 64.

⁴¹ Ebd., S. 1–2.

Im intertemporalen Kontext kann sie deswegen gerechtfertigt werden, weil die zukünftige Generation kein Anrecht auf die jetzigen Umweltressourcen hat, und die Egalität zwischen Generationen kein Ziel für die nachhaltige Entwicklung sein kann. Also ist es unmöglich, dass die nicht betroffene Generation das Anrecht auf nicht existierende Umweltressourcen hat.⁴²

Anhand dieses Arguments ist das einzige, was wir für ein besseres Leben mit einer „besseren Umwelt“ unserer Kinder tun können, dass wir es den nächsten Generationen überlassen, ihre Lebensumstände durch die ihnen gegebenen Ressourcen selbst zu verbessern, indem wir die bestmögliche Lösungsstrategie für das gegenwärtigen Lebens- und Umweltniveau befolgen.⁴³ Dann kann die optimale wirtschaftliche Entwicklung verwirklicht werden, wodurch die zukünftigen Generationen eine bessere Chance erhalten, optimale Umweltpolitik bei optimaler Ressourcenallokation zu betreiben.⁴⁴

3.3.2. Aus wirtschaftlicher Sicht

Wenn davon gesprochen werden kann, dass die wirtschaftliche Tätigkeit einen wichtigen Einfluss auf Umweltprobleme ausübt, dann könnte auch gesagt werden, dass die effiziente Reaktion der Wirtschaft darauf die schlechten Ergebnisse der Umweltverschmutzung vermeidet, solange das Umweltproblem als ein negatives Element des Wirtschaftswachstums angesehen wird.

Solange die Klimaänderung durch die atmosphärische Konzentration von anthropogenen Treibhausgasen monetär im Zeitlauf zu bewerten ist, muss die wirtschaftliche Analyse über die globale Erwärmung im Wirtschaftswachstumsmodell mit der Emission der Treibhausgase, die als Öko-Sozialprodukt behandelt werden kann, aufgestellt werden.⁴⁵ Die Definition der Nachhaltigkeit kann nur in der gesellschaftlichen Nutzenfunktion betrachtet werden. Die zu bedenkende Unabwägbarkeit der nachhaltigen Entwicklung entsteht daraus, dass das Hauptziel der Nachhaltigkeit der sich nicht verschlechternde Umweltzustand ist, und alle anderen hinter diesem Ziel zurückstehen. Bei der Verfol-

⁴² Ebd., S. 65–69.

⁴³ Eine wirtschaftlich extreme Sicht wird von Wilfred Beckerman vertreten: Dieser behauptet, dass der einzige Weg, in allen Ländern eine nachhaltige schöne Umwelt zu erhalten, ist, reich zu werden. Vgl. Wilfred Beckerman (1992), *Economic Growth and the Environment: Whose growth? Whose environment?* in: *World Development*, Vol. 20, S. 482.

⁴⁴ Vgl. Wilfred Beckerman (2003), A.a.O., S. 70–71.

⁴⁵ Vgl. Dieter Cansier (1993), *Umweltökonomie*, Jena, S. 312.

gung dieses Ziels können die von der Produktion und dem Konsum abhängige Umwelt- und Lebensqualität nicht richtig erfasst werden.⁴⁶ Unter der Voraussetzung, dass eine Sozialwohlfahrt eine Funktion von Lebensqualitäten LQ ist, kann die Wohlfahrtsfunktion wie folgt dargestellt werden: $W[LQ^1, \dots, LQ^n]$; n-Personen in einer Gesellschaft. Unter dieser Voraussetzung können wir das Ziel der Nachhaltigkeit in die Wohlfahrtsberechnung einsetzen.⁴⁷

Nehmen wir an, dass unser Planet ein bestimmtes Einkommen hat, das zu jedem Zeitpunkt eine gewisse Verteilung hat, und dass dieses verteilte Einkommen neu investiert und/oder verbraucht wird. Hier muss von der Ausgabenregel⁴⁸ gesprochen werden, in der ein bestimmter Prozentteil x des Einkommens pro Periode als Umweltsteuersatz⁴⁹ bezeichnet werden kann. Wenn das Wachstum im Rahmen dieser Umweltpolitik negativ ist, kann das Überleben der Menschheit nicht garantiert werden, und das gesamte Einkommen wird an einem bestimmten Zeitpunkt aufgebraucht worden sein.

Wenn man nicht bewerten kann, ob die Wachstumspfade in Bezug auf die Nachhaltigkeit positiv oder negativ sind, wird die logische Überlegung über die Wachstumspfade zu einem Resultat führen, welches besagt, dass ein kontinuierlicher, konsistenter und transitiver Pfad, der den Erwartungswert unserer LQ-Stufe maximiert, als eine dynamische Funktion der Lebensqualität einzusetzen ist.⁵⁰ Daraus kann man folgern, dass die optimale Ausgabe des Einkommens sich auf die optimale Wachstumsrate beschränkt.⁵¹ Hierauf kann sich die dynamische Wohlfahrtsfunktion beziehen, die auf der traditionellen, neoklassischen Wohlfahrtstheorie basiert.⁵² Also können wir folgende Schlussfolgerung ziehen:⁵³

⁴⁶ Vgl. William D. Nordhaus (1992), *Economic Growth on a Planet under Siege*, in: Horst Siebert (Hrsg.), *Economic Growth in the World Economy*, Tübingen, S. 224.

⁴⁷ Vgl. Dieter Cansier (1993), A.a.O., S.312.

⁴⁸ Solange die Wohlfahrt der Bevölkerung auch eine Funktion des Staatsverbrauchs ist, werden die nicht investiven staatlichen Ausgaben für den Umweltschutz heute ebenfalls als Endnachfrage angesehen, so dass die gesellschaftlichen Schadenskosten vorliegen. Vgl. Dieter Cansier (1993), A.a.O., S. 314.

⁴⁹ Diese Steuer zählt zu den Defensivausgaben der Haushalt. Vgl. Dieter Cansier (1993), A.a.O., S. 313.

⁵⁰ Vgl. William D. Nordhaus (1992), A.a.O., S. 226–229.

⁵¹ Nach Hicks wird als echtes Einkommen (ein echtes nachhaltiges Einkommen im Sinne von Cansier) die produzierte Gütermenge verstanden, die in einer Periode maximal konsumiert werden kann, ohne dass zukünftige Konsummöglichkeiten eingeschränkt werden. Durch die weitere Interpretation der Idee der Nachhaltigkeit ist es möglich, nur auf die produzierenden Konsumgüter abzustellen. Vgl. Dieter Cansier (1993), A.a.O., S. 315–316.

⁵² Vgl. William D. Nordhaus (1991), *To Slow or Not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect*, in: *The Economic Journal*, Vol. 101, S. 923–924.

⁵³ Vgl. William D. Nordhaus (1992), A.a.O., S. 240.

1. Auf dem nachhaltigen Wachstumspfad in Bezug auf die Schadstoffemission ist zu einem bestimmten Zeitpunkt ständig zunehmende Verarmung vorhanden. Eine attraktivere Methode ist, die periodisch rationierte Verbrauchsmenge allmählich zu reduzieren.
2. Eine Methode, die hinter dem nachhaltigen Wachstum versteckten Ideen umzusetzen, ist, eine Präferenzfunktion zu entwerfen, in der ein niedrigeres Einkommen einer Generation durch eine niedrige Zeitpräferenzrate vermieden werden kann.

B. Umweltverschmutzung als Externalität

1. Definition der Externalität

In diesem Kapitel werden wir vom Problem der Externalitäten und seiner möglichen Lösung sprechen. Die Neoklassiker, die in den 70er Jahren die Analyse des Umweltproblems, als ein Problem des externen Effektes sehr stark vorangetrieben haben, haben ihre Gedanken über die Umwelt verbunden mit dem Effizienzprinzip, das die Fähigkeit eines Instruments bezeichnet, den Emissionszielwert für das optimale Niveau der Umweltverschmutzung mit minimalen Kosten zu erreichen, sodass auf einem solchen Niveau das soziale Optimum durch die Abwägung zwischen Kosten und den Nutzen erreicht wird.⁵⁴ Die einzige Lösung dieses Problems ist die Internalisierung des externen Effektes. Sie allein führt zur gesellschaftlich optimalen Ressourcenallokation und stellt dadurch einerseits das Optimum im Marktgleichgewicht wieder her,⁵⁵ und bewirkt andererseits die Einkommensverteilung aller Beteiligten. Darum kann man die Frage aufwerfen, welche Methode der Internalisierung gesellschaftlich und wirtschaftlich akzeptabel ist, und welche Art von Intervention des Staates, aus der die verschiedenen Internalisierungsmethode entspringen, es in der Marktwirtschaft geben soll.

Wir beginnen mit dem einfachen Begriff der Externalität von Allen Feldman (1984), Richard A. Musgrave, Peggy. B. Musgrave und Lore Kullmer (1994), wouunter man eine Situation versteht, in der die ökonomische Aktivität zu Sozialkosten führt, die von den Produzenten oder Konsumenten nicht bezahlt werden müssen, die den negativen externen Effekt verursacht haben. Im Falle des Vorhandenseins der Externalität fallen Marktgleichgewicht, in welchem die Grenzrate der Substitution, der Relativpreis und die Grenzrate der Transformation zwischen den Gütern identisch sind, und das Optimum, mit dem die Allokation der Ressourcen auf der Kontraktkurve liegt, auseinander.⁵⁶ Die Umweltverschmutzung ist ein typisches Problem eines negativen externen

⁵⁴ Vgl. Alfred Endres (1985), *Umwelt- und Ressourcenökonomie*, Darmstadt, S. 21. Dagegen haben sich die allgemeinen Interessen an der Umwelt und Ressourcenökonomie in den 90er Jahren mit der Globalisierung des ökologischen Gedankens und der Erweiterung der Märkte vergrößert. Vgl. Michael Rauscher (1997), *International Trade, Factor Movements, and the Environmental*, Oxford, S. 19.

⁵⁵ Vgl. Alfred Endres (2000), *Umweltökonomie*, 2. Aufl., Kohlhammer, S. 21.

⁵⁶ Ebd. S. 19.

Effektes, bei dem das Opfer unter einem direkten Einfluss des Verhaltens der Verursacher steht, der außerhalb des Preismechanismus entsteht.⁵⁷ Solange das Problem der Umweltverschmutzung im System der Marktwirtschaft betrachtet wird, ist dies im Prinzip ein Grund für das Marktversagen, worunter man versteht, dass ein Ausgleich von Nachfrage und Angebot, also ein Marktgleichgewicht nicht erreicht wird.⁵⁸ Dabei wird zwischen verschiedenen Arten der Externalität unterschieden. Man unterscheidet zwischen privaten und öffentlichen Externalitäten, wenn ein externer Effekt im privaten Bereich oder im öffentlichen entsteht, und zwischen Konsum- und Produktionsexternalitäten, wenn dieser den Konsum oder die Produktion beeinflusst.

Die Internalisierungsmethode, sogenannte Umweltabgaben und Emissionsrechte, die als die Hauptbeispiele der Lösungsmethode von Pigou und Coase bekannt sind, werden miteinander verglichen. Dabei kann man erkennen, dass die Umweltverschmutzung im wirtschaftlichen Sinne im Grunde eine marktwirtschaftliche Externalität ist, und nur die Eingriffe der Regierungen zur Lösung der Umweltverschmutzung eine nicht-marktwirtschaftliche Externalität darstellen. Besonders wird von dem in dieser Arbeit thematisierten länderübergreifenden Umweltproblem gesprochen, das als global öffentliche Externalität anzusehen ist, deren Einfluss sich nicht nur auf ein Land, sondern auf die ganze Welt auswirkt, und als nicht-marktwirtschaftliche, indem dieses Problem politisch gelöst werden kann.⁵⁹

Nach der allgemeinen Betrachtung über die Externalitäten wird im Besonderen die oben erwähnte internationale Externalität erörtert, welche „globale Erwärmung“ genannt wird, deren politische Lösung ein Problem der internationalen Wirtschaftspolitik darstellt. Zuerst werden die internationalen Verhandlungen zur Finanzordnung betrachtet. Unter dieser Problemstellung wird oft über die Finanzierung zur Lösung der globalen Erwärmung gesprochen, deren Lasten sich auf die beteiligten Länder verteilen sollen. Die Betrachtung dieser Lastenverteilung führt das Thema „globale Externalität“ zu den spiel-

⁵⁷ Vgl. Allen Feldman (1984), *Welfare Economics and Social Choice Theory*, 4. Aufl., Massachusetts, S. 89–92. Diese Unterscheidungen sind mit zahlreichen Beispielen dargestellt. Siehe zur Erklärung über den externen Effekt, Vgl. Tibor Scitovsky (1954), *Two Concepts of External Economies*, in: *Journal of Political Economy*, Vol. 92, S. 143.

⁵⁸ Vgl. Richard A. Musgrave, Peggy. B. Musgrave und Lore Kullmer (1994), *Die öffentlichen Finanzen in Theorie und Praxis*, 1. Bd, 6. Aufl., Tübingen, S. 68.

⁵⁹ Vgl. William D. Nordhaus (2001), *Nach Kyoto: Alternative Mechanismen zur Kontrolle der Erderwärmung*, in: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Vol. 51, Heft 10, S. 618.

theoretischen Ideen zurück, wobei aber die Diskontrate berücksichtigt werden muss. Solange das hier betrachtete Problem der globalen Erwärmung langlebig ist, kann es durch ein einmaliges Abkommen nicht gelöst werden, weil das Gefangenen-Dilemma am Ende dieses Spiels entsteht, dass das Spiel von Anfang an durch die „Rückwärtsinduktion“ gescheitert ist.⁶⁰ Dazu ist auch die Teilnahme der von Umweltproblemen betroffenen Länder an der Kostenverteilung in dieser Lösung einzubeziehen, weil sie nicht an der Verhandlung der Lastenverteilung teilnehmen, wenn ihr Gewinn durch die Problemlösung kleiner ist, als die Kosten hierfür. Also muss die Lösung für das Umweltproblem die folgenden zwei Prinzipien erfüllen: 1. Die Kosten-Gewinn-Analyse 2. Die freiwillige Teilnahme an umweltpolitischen Maßnahmen.

In Kenntnis dieser Sachverhalte muss die allokative Neutralität alternativer Haftungsregeln oder allgemeiner, alternativ gefasster, sozioökonomischer, institutioneller Arrangements betont werden.⁶¹ Mit einer marktwirtschaftlichen Konzeption vom Umweltschutz geht die Definition eines ökologischen Rahmens einher, Schadstoffemissionen zu knappen Gütern zu machen. Dadurch kann also das Problem der länderübergreifenden Umweltverschmutzung durch das Preissystem gerecht gelöst werden. Aus diesem Grund werden die Preislösungen, die „Umweltsteuer“ und das „Emissionsrecht“ in dieser Arbeit als die Hauptlösung für dieses Problem behandelt.⁶² Unter diesem Lösungsansatz kann die länderübergreifende Umweltverschmutzung als Pareto-relevante Externalität angesehen werden, wenn die folgende Definition von Buchanan und Stubblebine (1962) über die Pareto-relevante Externalität vorausgesetzt ist:⁶³

„An externality is defined to be Pareto-relevant when the extent of the activity may be modified in such a way that the externally affected party, A, can be made better off without the acting party, B, being made worse off. That is to say, „gains from trade“ characterise the Pareto-relevant externality, trade that takes the form of some change in the activity of B as his part of the bargain.“

Die Einrichtung und Durchsetzung der Lösungskonzepte (die Feststellung der internati-

⁶⁰ Vgl. Joachim Weimann (1990), Soziale Dilemmata, WiSt Heft 2. S. 83.

⁶¹ Vgl. Hans G. Monissen (1976), Haftungsregeln und Allokation: Einige einfache analytische Zusammenhänge, in: Jahresbuch für Sozialwissenschaft, Vol. 7, S. 392.

⁶² Vgl. E. Feess, Umweltökonomie und Umweltpolitik, 2. Aufl., München, 1998, S. 144.

⁶³ Vgl. James M. Buchanan und Craig Wm. Stubblebine (1962), Externality, in: *Economica*, Vol. 29, S. 374. Nach der Definition von Buchanan und Stubblebine über Externalität kann die Umweltverschmutzung, die potentiell als eine relevante Externalität dargestellt wird, als eine irrelevante definiert werden, wenn sie durch marktwirtschaftliche Lösung, beispielsweise durch den Handel zwischen der dadurch provisional profitierenden Partei und der beeinflussten Partei gelöst werden.

onalen Umweltabgaben und die Regelung des internationalen Emissionshandels) spielt eine zentrale Rolle für die Umweltwirtschaftspolitik.⁶⁴ Als Lösungskonzepte für das Problem der länderübergreifenden Umweltverschmutzung wird die Festsetzung des internationalen Schadstoffemissionspreises durch die Regelungen des internationalen Handels der Emissionsmenge behandelt. Durch die Ermittlung der inländischen Umweltabgabe kann die Regelung des Emissionshandels gefordert werden. Unter der Voraussetzung des Handels der Emissionsrechte können länderübergreifende Umweltprobleme als eine marktwirtschaftliche Externalität behandelt werden.

Aber bezüglich der Transaktionskosten ist die Verhandlung zur Reduktion der Schadstoffemission eine echte Externalität, wenn die Einrichtung und die Durchführung dieser Verhandlung die Vermittlung eines Dritten verlangt.⁶⁵ Es wird kaum zu bestreiten sein, dass wenn ein Land bei der Teilnahme an dieser Verhandlung den größeren Verlust, inklusive der Transaktionskosten, als einen daraus folgenden Gewinn erfährt, es vernünftig ist, dass die von dem Verlust betroffenen Länder nicht mehr daran teilnehmen. Wenn sie jedoch durch eine internationale Umweltpolitik einen Nettogewinn erzielen, dann besteht für sie ein Anreiz, weiter daran teilzunehmen.⁶⁶

Da die Ressourcenallokation durch einen globalen, gleichförmigen Standard nicht optimal für alle Beteiligten sein kann, kann die Lösung für länderübergreifende Umweltprobleme nur folgendermaßen aussehen: internationaler Handel von Schadstoffemissionen auf der Basis von freiwillig beschlossenen inländischen Umweltabgaben, wodurch ein internationaler Preis erzielt wird. Dazu muss betont werden, dass der Handel von Emissionen unter der Vermittlung eines Dritten, in diesem Fall der zentralen Umweltbehörde, auch höchstwahrscheinlich einen Verlust verursacht.

⁶⁴ Vgl. Bruno S. Frey (1991), *The Public Choice View of International Political Economy*, in: Roland Vaubel and Thomas D. Willett (Hrsg.), *The Political Economy of International Organizations: A Public Choice Approach*, Oxford, S. 10 - 11.

⁶⁵ Vgl. Eberhard. Feess (1998), *Umweltökonomie und Umweltpolitik*, 2. Aufl., S. 131.

⁶⁶ Vgl. Werner Kaltefleiter (1986), *Politische Ordnung und Wirtschaftsordnung*, in: Roland Vaubel und H. D. Barbier (Hrsg.), *Handbuch Marktwirtschaft*, Weinsberg, S. 50. Kaltefleiter behauptet, dass eine Marktwirtschaft zu ihrer vollen Funktionsfähigkeit der Einbettung in ein globales Freihandelssystem bedarf.

2. Lösung der Externalität

Solange es klar ist, dass die Umweltverschmutzung eine negative Externalität darstellt, sollte die Umweltverschmutzung, die die Reduktion der Schadstoffemission verursacht, durch die Steuerpolitik vermindert und diese Reduktion durch die öffentliche Ausgabe- politik kompensiert werden, weil sie zusätzliche Kosten bedeutet. Alfred Marshall hat schon 1920 die Externalität definiert, als eine wirtschaftliche Zusatzwirkung, die durch Zunahme der Produktion im Maßstab der Güterproduktion (in the scale of production) entsteht. Aber dieser Begriff des externen Effektes fällt unter den Begriff der positiven externen Wirtschaft.⁶⁷

Meade hat den externen Effekt in die „distributive Externalität“ und die „Realeinkommensexternalität“ unterteilt.⁶⁸ Realeinkommensexternalität bedeutet für ihn die Reduktion des Realeinkommens durch das Vorhandensein einer Externalität, in diesem Fall ist eine Internalisierungsmaßnahme möglich, die den daraus folgenden, negativen Effekt vermindern kann.⁶⁹ Dieses Argument von Meade kann zum folgenden Ergebnis führen: Die durch die Güterproduktion verursachte, negative Externalität löst die Erhöhung des Güterpreises aus, indem deren Beseitigung auf der Seite der Schädigenden den Faktorpreis erhöht und auf der Seite der Geschädigten die Zahlungsbereitschaft dafür veranlasst. Zum Beispiel können die Erhebung einer Umweltsteuer auf die Schadstoffemission und die Kompensation über deren Reduktion gefordert werden, um die durch die Externalität entstandene Realeinkommensreduktion zu minimieren. Das daraus folgende optimale Niveau kann im Sinne der Allokationstheorie als optimaler Steuersatz oder optimale Produktmenge illustriert werden.

Nach der Definition von Buchanan und Stubblebine über die Externalität kann man den Fall von Meade als pareto-relevante Externalität ansehen, wenn die Wohlfahrt der Geschädigten sich dadurch verbessert, dass die Emissionsreduktion der Produzenten ausreichend kompensiert wird, oder wenn der Nettogewinn der Produzenten sich dadurch vergrößert, dass die Emissionsreduktion die Zahlungsbereitschaft der Geschädigten er-

⁶⁷ Vgl. Alfred Marshall (1920), *Principles of Economics*, 8. Aufl., MacMillan, S. 221.

⁶⁸ Vgl. James E. Meade (1973), *The Theory of Economic Externalities: The Control of Environmental Pollution and Similar Social Costs*, Genève, S. 15. Dieses Ordnungsschema ist mit der folgenden Klassifikation von Bator vergleichbar: (1) Ownership Externalities, (2) Technical Externalities, und (3) Public Good Externalities. Siehe dazu, Francis M. Bator, *The Anatomy of Market Failure*, in: *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 72, 1958, S. 363.

⁶⁹ Vgl. James E. Meade (1973), *A.a.O.*, S. 45–46.

füllt. Denn eine Externalität wird als pareto-relevant definiert, wenn der Umfang der Aktivität durch die Pareto-Optimalität modifiziert werden kann. Darüber hinaus kann die Lösung, die auf der freien Entscheidung von Individuen beruht, berücksichtigt werden, wodurch ein „Handelsgewinn zwischen den Individuen (Gains of Trade)“ erreicht wird.⁷⁰ Solange diese Lösung möglich ist, ist sie dem Eingreifen der Verwaltung vorzuziehen.

2.1. Internalisierung als Grundprinzip zur Lösung externer Effekte

In diesem Abschnitt wird zuerst die Internalisierung der Externalität in der Interpretation von Meade dargestellt, und danach wird die von Buchanan und Stubblebine definierte pareto-relevante Externalität erklärt. Die Internalisierung der Realeinkommensexternalität kann auf zwei Feldern gebildet werden: dem der direkten Intervention einer Regierung bzw. einer zentralen Organisation und dem des Anreizes zur Privatinitiative. Meade kritisiert eine Interventionspolitik der Regierung, welche alle negativen Externalitäten unterbinden will.⁷¹

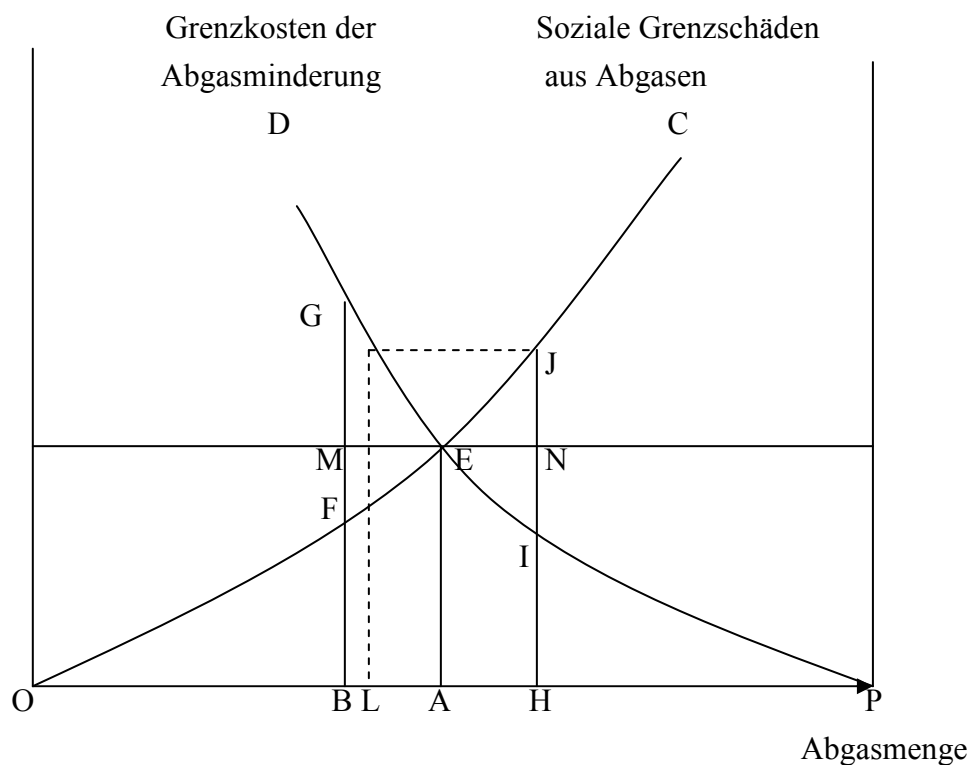
In Bezug auf unser Thema „Realeinkommensexternalität“ kann man folgende Situation darstellen: Eine Firma emittiert bei der Produktion Abgase in die Luft, und die Bewohner, die in der Nähe dieser Firma wohnen, leiden darunter. Dieses Modell ist Grundlage aller folgenden Kapitel dieser Arbeit. Während die Emission als Produktionsfaktor eine abnehmende Grenzproduktivität hat, wird die auf der Emission beruhende Grenzschadensrate immer größer. Es heißt, dass die Grenzkosten für die Emissionsverminderung eine steigende Kurve aufweist, die gesellschaftliche Zahlungsbereitschaft dagegen eine abnehmende. Der Schnittpunkt der beiden Kurven zeigt uns das optimale Niveau der Schadstoffemission.

Unter der Annahme, dass Grenzkosten und Grenzgewinn einer Firma ohne Berücksich-

⁷⁰ Vgl. James M. Buchanan und Craig Wm. Stubblebine (1962), Externality, in: *Economica*, Vol. 29, S. 373–374.

⁷¹ Meade hält die Intervention der Regierung, die alle negativen Externalitäten unterbinden will, für theoretisch und praktisch undurchführbar. Vgl. James E. Meade (1973), A.a.O., S. 57, und Dietmar Welisch, *Finanzwissenschaft I: Rechtfertigung der Staatstätigkeit*, München, 1999, S. 135–137. Buchanan behauptet, dass der Eingriff der zentralen Macht bei der Entscheidung des optimalen Emissionsniveaus unnötig ist. Vgl. J. James M. Buchanan (1980), Externalitäten und ökonomische Analyse, in: Erich W. Streißler, Monika Streißler und C. Wartin (Hrsg.), *Zur Theorie marktwirtschaftlicher Ordnungen*, Tübingen, S. 381.

tigung der Umweltverschmutzung sich in Punkt P der folgenden Abbildung treffen, will die Firma, die versucht ihren Gewinn zu maximieren, die Abgasmenge bis zum Punkt P erhöhen. Dadurch steigen die Kosten der Abgasminderung, je stärker diese ist. Die Kurve DP illustriert die Kosten der Abgasminderung. Die Kurve OC zeigt dagegen den Grenzscha-den der Bewohner, der mit der Vergrößerung der Abgasmenge steigt. Im Schnittpunkt E, wo die Grenzkosten der Abgasminderung und die Zahlungsbereitschaft der Geschädigten gleich sind, entscheidet sich die sozial optimale Abgasmenge OA. Wenn die Abgasmenge sich von der Menge OA auf die Menge OB reduziert, würde die Fläche FGE den Überschuss der Abgasminderungskosten für den Wert der Schadenreduktion anzeigen, sodass der Gesamtnutzen dieser Gemeinde nicht maximal ist. Auch wenn sich die Abgase von OA auf OH vergrößern, würde die Fläche IJE den Überschusswertes des erhöhten Schadens zeigen, sodass es für die betroffene Gemeinde noch die Möglichkeit der Kosteneinsparung durch Abgasreduktion gibt.⁷²



<Abb. 2> Internalisierung der Umweltverschmutzung

Quelle: James E. Meade, *The Theory of Economic Externalities*, Genève, 1973, S. 58.

⁷² Ebd. S. 57–58.

Diese - im Sinne von Meade -, das Realeinkommen reduzierenden, Externalitäten können durch Umweltsteuerpolitik, z.B. eine Steuererhebung oder eine Abgabe auf die Emissionsrechte vermieden werden. Diese Externalität kann als pareto-relevant angesehen werden, weil von dem negativen Effekt in der Position E als pareto-optimal ausgegangen wird, unabhängig davon, ob die Aktivität einer Partei einen Einfluss auf den Nutzen einer anderen Partei ausübt. Dieser Punkt hat daher jene signifikante politische Implikation, dass eine Berücksichtigung des externen Effektes, die nur von einer Partei geleistet wird, keine Grundlage für das Urteil über die Gültigkeit irgendeiner Modifikation in einer bestehenden Sachlage darstellen kann. Der Verzicht auf jegliche Intervention wird in allen Fällen verlangt, wo vom Bestehen von Externalitäten ausgegangen werden kann.⁷³

Da in diesem Zusammenhang alle Abgasmengen pareto-relevant sind, außerhalb der Position des Pareto-Gleichgewichts, können die Gewinne durch Handel erzielt werden. Die extern beeinflusste Partei muss die Verhaltensmodifikation der anderen Partei vergüten.⁷⁴ Das bedeutet, dass das perfekte Pareto-Optimum durch eine unilaterale Besteuerung oder Subvention der zentralen Regierung nicht zu erreichen ist. Diese Behauptung entspricht dem folgenden Zitat von Samuelson (1954):⁷⁵

„and the “external economies” or “joint of demand” intrinsic to the very concept of collective goods and governmental activities makes it impossible for the grand ensemble of optimizing equations to have that special pattern of zeros which makes laissez faire competition even theoretical possible as an analogue computer.“

Wenn die Besteuerung z.B. nur den Grenzschaten berücksichtigend unilateral durchgeführt wird, kann die Umweltsteuer möglicherweise zu hoch sein, sodass die Produktionsaktivität zu stark reduziert wird, z.B. bis OL, wo die Gemeinde übermäßigen Wohlfahrtsverlust erfährt. In diesem Zustand besteht auch die Möglichkeit, dass eine noch viel weiter reichende Emissionsreduktion verlangt wird, obwohl die Zahlungsbereitschaft für die Emissionsreduktion schon sehr niedrig geworden ist. In der Abbildung 2 verschiebt die auf den Grenzschaten unilateral durchgeführte Besteuerung die Kurve PD nach unten. Trotz der Reduktion der emittierten Abgase kann das

⁷³ Vgl. James M. Buchanan, A.a.O., S. 381.

⁷⁴ Ebd. S. 381.

⁷⁵ Paul A. Samuelson (1954), The Pure Theory of Public Expenditure, in: Review of Economics and Statistics, Vol. 36, S. 389.

PD nach unten. Trotz der Reduktion der emittierten Abgase kann das Gleichgewicht daher nicht erreicht werden, weil die Forderung der Gemeindemitglieder nach weiterer Reduktion dies verhindert. In dieser Situation wird die Firma immer schlechter gestellt. Aber dagegen können diese weitreichenden Forderungen dadurch vermieden werden, dass eine Steuerpolitik durchgesetzt wird, welche von Anfang an die Grenzkosten der Abgasminderung beachtet, weil die Zahlungsbereitschaft der Mitglieder zur Abgasminderung größer als die Grenzkosten der Abgasminderung ist, solange das Optimum trotz einer gegebenen Steuerrate nicht erreicht ist. Deswegen sollte die notwendige Pareto-Bedingung durch bilaterale Besteuerungen oder Subventionen erfüllt werden. Schließlich kann die folgende Ansicht von Buchanan und Stubblebine (1962) übernommen werden:⁷⁶

„Not only must B(Firma)'s behaviour be modified so as to insure that he will take the costs externally imposed on A (Bewohner) into account, but A's behaviour must be modified so as to insure that he will take the costs internally imposed on B into account.“

Wenn die Steuer auf beide, Geschädigter und Produzent, in der Höhe HI erhoben wird, ist die Zahlungsbereitschaft des Geschädigten immer noch existent, sodass sie durch Handel versuchen, die Emissionsmenge bis OA weiter zu reduzieren, weil sie dadurch den Handelsgewinn E_{JN}, und die Produzenten den Handelsgewinn EN_I erzielen können.

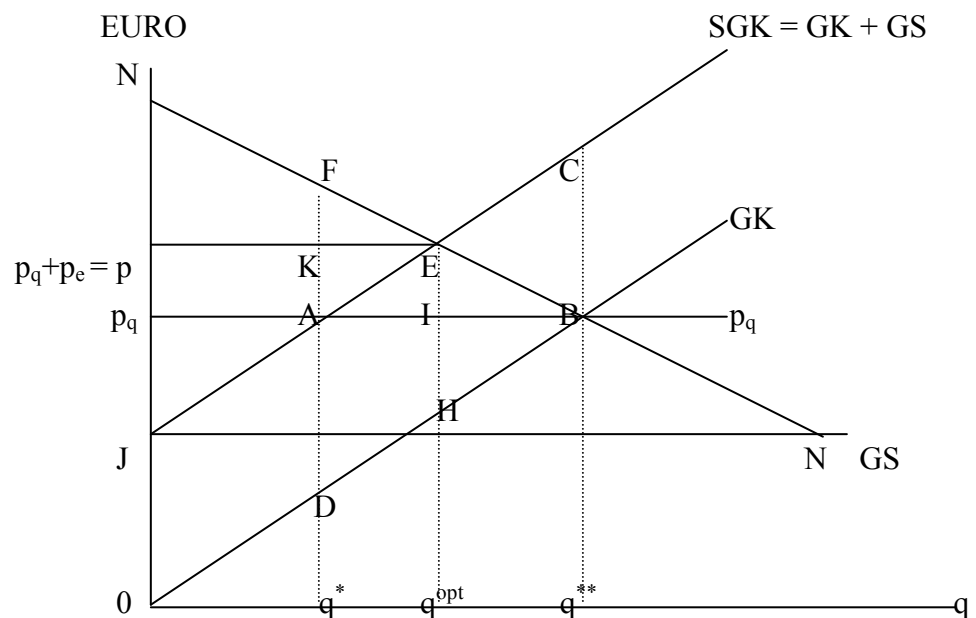
2.2. Vergleich zwischen Kosten- und Preispolitik

Im letzten Abschnitt wurde gezeigt, wie die Externalität internalisiert werden kann, aber der Einfluss der Politik wurde dabei noch nicht berücksichtigt. Durch die Analyse von Dietmar Wellisch aus dem Jahr 1999 können wir die Effekte durch den Einfluss der Politik miteinander vergleichen. Anders als im Modell von Meade nimmt das Modell der Externalität von Wellisch an, dass der Schaden in einer Gesellschaft pro produzierter Einheit eines Gutes q „konstant“ ist. Dann können wir den Grenzscha- den wie in der folgenden Abbildung 3 als GS bezeichnen. Die privaten Grenzkosten GK bei der Produktion des Gutes q steigen linear. Ohne Externalität ist die optimale Produktmenge in ei-

⁷⁶ Ebd. S. 383.

ner Gesellschaft q^{**} , wo sich Grenzkosten und Grenznutzen als Nachfragekurve N überschneiden, sodass der Preis des Gutes p_q gilt.

Aber wenn die Produzenten den Schaden bei der Produktion des Gutes ohne Preisänderung betrachten, reduzieren sie die Produktmenge bis zum Niveau q^* , weil die sozialen Grenzkosten SGK im Punkt A dem nicht veränderten Preis p_q entsprechen. In diesem Fall verlieren die Produzenten ihre Produktionsrente um DBA, und die Konsumenten um FBA. Und dadurch kann der Schaden um DBCA reduziert werden. Wenn wir die meadesche Preispolitik betrachten, wird der Preis des Gutes von p_q nach p um p_e erhöht, indem der Grenznutzen und die Grenzkosten durch den Handel der Emissionen zwischen Geschädigten und Schädigenden gleich werden, und sich daraus ein neues Gleichgewicht im Punkt E bildet, wo die Produktmenge q^{opt} und der Preis p ist.



<Abb. 3> Internalisierung externer Effekte

Quelle: Dietmar Wellisch, Finanzwissenschaft I, 1999, München, S 130.

Die folgende Tabelle ermöglicht einen Vergleich zwischen den drei Zuständen. Dadurch können wir entscheiden, welche Politik als optimale Umweltpolitik angesehen werden kann. Im Vergleich mit der Variante „Keine Politik“ hat die Kostenpolitik den Vorteil von EBC im Bereich des Schadens, aber den Verlust von EFA im Bereich der Konsumenten. Im Gleichgewicht E der Preispolitik gibt es keinen Verlust, sondern nur die Reduktion des Schadens um EBC, die als gesellschaftlicher Wohlfahrtsgewinn der

Politik angesehen werden kann.⁷⁷ Die folgende Tabelle zeigt deutlich die Effekte der verschiedenen Politiken und rechtfertigt besonders die Preispolitik als optimal.

<Tabelle 1> Vergleich zwischen den Politiken

	Keine Politik	Kostenpolitik	Preispolitik
Konsumentenrenten	p_qBN	p_qAFN	pEN
Produzentenrenten	p_qBJ	p_qADJ	pEJ
Schaden	$J0BC$	$J0DA$	$J0HE$
Gewinn	0	ECB – FEA	ECB

Diese Preispolitik kann dazu führen, dass es einerseits nicht zum totalen Emissionsverbot kommt, so wie es die Seite der Geschädigten will, und andererseits auch nicht zur höchstmöglichen Emission, die von der Seite der Produzenten erstrebt wird. In einem solchem Sinne muss auf jegliche Intervention eines Dritten verzichtet werden.⁷⁸

2.3. Vergleich zwischen der pigouschen und der coaseschen Welt

Traditionell existierten zwei Lösungen zur Internalisierung der externen Effekte: Die Steuerlösung von Pigou und die Verhandlungslösung von Coase. In der anfänglichen Diskussion beschäftigten sich beide Lösungen mit der Kostenlösung, aber durch die Weiterentwicklung der Theorien verlagerte sich ihr Schwerpunkt auf die Preislösung. Durch die Kritik an der Kostenlösung beider Methoden können wir die Rechtfertigung der Preislösung betrachten.

⁷⁷ Vgl. Dietmar Wellisch (1999), Finanzwissenschaft I: Rechtfertigung der Staatstätigkeit, München, S. 130–131.

⁷⁸ Vgl. James M. Buchanan (1980), A.a.O., S. 381.

2.3.1. Pigousche Welt

Der Versuch in der klassischen Wirtschaft, eine optimale Allokation der Ressourcen zu finden, konnte wegen der Externalitäten in der Mikroökonomie nicht erreicht werden. Daher hat die paternalistische Staatauffassung mit einem Zentralplaner⁷⁹ scheinbar die Aufgabe übernommen, die Externalität zu beseitigen.⁸⁰ Pigou hat festgestellt, dass die wirtschaftlichen Akteure in einem unkorrigierten Marktsystem lediglich private Kosten berücksichtigen, die aber häufig in einem anderen Zusammenhang als soziale Kosten anzusetzen sind. Daher schlug er eine Steuer vor, die diesen Unterschied zwischen den privaten und sozialen Kosten beseitigen kann.⁸¹ Auf diese Weise kann ein wohlwollender Diktator durch die Besteuerung eines Individuums, das beispielsweise Schadstoffe emittiert, negative externe Effekte vermeiden.⁸² Diese Politik wird als „kostenbezogene Internalisierung des externen Effektes“ bezeichnet, also als die Kostenpolitik.

2.3.1.1. Ressourcenallokation bei der pigouschen Lösung

Die Pigou-Steuer zwingt die Akteure, den Faktor Umwelt in ihre Kalkulationen einzubeziehen und die Nachfrage nach Umweltressourcen einzuschränken.⁸³ Die Pigou-Steuer $t = BC$ (in Abbildung 3) wird zur Internalisierung externer Effekte erhoben und führt dazu, dass die Produktmenge mit den entsprechenden sozialen Grenzkosten SGK berechnet wird.⁸⁴ Ohne Betrachtung auf die Konsumseite werden die Grenzkosten der Produktion durch die Erhebung der Pigou-Steuer kurzfristig in einem Punkt C entschieden, wo die erhöhten privaten Grenzkosten die Summe von den Grenzkosten der Produktion und der Steuer sind: $PGK_t = GK + t$.

⁷⁹ Siehe zur Begriffserklärung Dietmar Wellisch, A.a.O., S. 12.

⁸⁰ Vgl. Louis De Alessi (1998), Reflections on Coase, Cost, and Efficiency, in: James M. Buchanan und B. Monissen (Hrsg.), *The Economists Vision: Essays in modern economic perspectives*; for Hans G. Monissen on the occasion of his sixtieth birthday, Frankfurt/Main, S. 93.

⁸¹ Vgl. Manfred Kemper (1993), *Umweltproblem in der Marktwirtschaft*, Berlin, S. 29.

⁸² Vgl. L. De Alessi (1998), A.a.O., S. 93.

⁸³ Vgl. William J. Baumol (1972), On Taxation and the Control of Externalities, in: *American Economic Review*, Vol. 62, S. 309, Holger Bonus (1974), Sinn und Unsinn des Verursacherprinzips – zu einigen Bemerkungen von Richard Zwintz, in: *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, Vol. 130, S. 157, und Alfred Endres (1986), Die Pigou-Steuer, in: *Wist*, Heft 8/86, S. 408.

⁸⁴ Vgl. Arthur C. Pigou (1950), *The Economics of Welfare*, 4. Aufl., London, S. 224.

Durch die Erhöhung der privaten Grenzkosten fällt der Produktionsvorteil des Gutes q weg, was zu einer Reduktion der Produktionsmenge führt. Langfristig wird die Produktion des Gutes q bis Punkt A reduziert, wo die erhöhten privaten Grenzkosten dem gegebenen Preis des Gutes p_q entsprechen, der auf langfristige Sicht den sozialen Grenzkosten entspricht. Die Besteuerung durch die Kostenpolitik reduziert die Produktmenge drastisch, indem sie den Markteintritt neuer Firmen verhindert und den Austritt jener Unternehmen verursacht, die nur eine schwache Konkurrenzfähigkeit haben. Im Punkt A entsprechen die sozialen Grenzkosten den sozialen Durchschnittskosten SDK; $GK + GS = SGK = SDK = p_q$.⁸⁵

Auf der Seite der Konsumenten verursacht die Reduktion der Produktmenge bis q^* den Verlust der Konsumentenrente AEF, während sie die Schadenreduktion EBC erzielt.

2.3.1.2. Kritik zur pigouschen Lösung

Wir müssen allerdings erkennen, dass sich die Nachfrage im Verhältnis der Änderung der verschiedenen gesellschaftlichen Faktoren – Neigung, Wachstum, Stimmung usw. – systematisch verändert. Die Besteuerung muss sich im optimalen Fall nach der systematischen Änderung der Nachfrage richten. Aus diesem Grund ist die Pigou-Steuer, die ohne Berücksichtigung der Nachfrage als Kostenpolitik durch eine zentrale Behörde berechnet wird, als eine wirtschaftspolitische Maßnahme nicht akzeptabel, weil die Steuer, die auf die Produzenten ohne Kompensation für ihre Produktionsreduktion erhoben wird, den Verlust der Konsumentenrenten bewirkt.⁸⁶ Bei der Entscheidung der politischen Strategie sollte man die Pigou-Steuer-Politik, die das Problem der Markteintrittsverhinderung verursacht, dahingehend korrigieren, die Nachfrage der Bevölkerung zu berücksichtigen. Dann kann das Gleichgewicht E erreicht werden. Ohne Berücksichtigung dieses Mechanismus' sind optimale Allokationen durch zentrales Regulieren nicht möglich.⁸⁷ Aber darüber hinaus verursacht der Versuch zur vollständigen Bewertung zusätzliche Informationskosten, weil bei der Besteuerung, alle subjektiven Präferenzen

⁸⁵ Vgl. Dietmar Wellisch, A.a.O., S. 135 – 137.

⁸⁶ Vgl. Ronald H. Coase (1988), The Problem of Social Cost, in: Ronald H. Coase (Hrsg.), The Firm, the Market and the Law, Chicago, S. 151 – 152.

⁸⁷ Vgl. Hans G. Monissen (1980), A.a.O., S. 358.

eingeschlossen werden müssen.⁸⁸ In der pigouschen Welt gibt es noch das Problem, dass das Marktversagen, das durch „Moral-Hazard“ entsteht, nicht vermieden werden kann, weil die Geschädigten wünschen, dass eine Schadenreduktion weiter betrieben wird. Hierbei können die Politiker die Wohlfahrt der Gesellschaft für ihre privaten Zwecke (politische Macht oder privaten Reichtum) missbrauchen, indem sie eine Politik betreiben, die zwar den Sieg im Wahlkampf garantiert, die Gesamtwohlfahrt aber verletzt.⁸⁹

2.3.2. Coasesche Welt

Nach Coase können die externen Effekte durch Verhandlungen zwischen den beteiligten Akteuren internalisiert werden und zwar in dem Sinne, dass der Eingriff einer zentralen Verwaltung, welcher ein Hauptproblem der zentralisierten Pigou-Steuer darstellt, nicht nötig ist. Die Internalisierung erfolgt freiwillig. In dieser coaseschen Welt gibt es zwei zentrale Elemente der Analyse: Die Reziprozität sozial-ökonomischer Interaktionen und die Transaktionskosten.⁹⁰ Diese Reziprozität lässt eine Klassifikation der beteiligten Akteure in Produzenten und Geschädigte auf der Basis von technologischen Kriterien nicht zu. Transaktionskosten werden als Kosten verstanden, die durch juristische Entscheidungen zur Durchsetzung von Verhandlungen verlangt werden.

Bei dieser Internalisierung obliegt der zentralen Verwaltung lediglich die Rolle der Festsetzung der Rahmenbedingungen, die für die Ermöglichung der Verhandlungen notwendig sind.⁹¹ Daher hat die Lösung der externen Effekte in der coaseschen Welt immer den Charakter der Reziprozität: Den Kosten, die einem Beteiligten durch Akzeptanz eines externen Effektes entstehen, stehen die Kosten der Gegenpartei gegenüber, die bei einer Reduktion des externen Effektes entstehen.⁹² Das heißt, dass die Beteiligten miteinander in sozial-ökonomischen Interaktionen durch Schadens- und Vermei-

⁸⁸ Vgl. Louis De Alessi, a.a.O., 1998, S. 99.

⁸⁹ Ebd. S. 99.

⁹⁰ Vgl. Hans G. Monissen, a.a.O., 1980, S. 358–359.

⁹¹ Nach der Behauptung von B. Klein, R. G. Crawford und A. A. Alchian ist ein Grund für die Existenz der besonderen Institutionen und für die Art der Regierungsintervention, die Vermeidung der Zufälligkeit und dem Verzögerungspotential. Vgl. Benjamin Klein, Robert G. Crawford und Armen A. Alchian (1978), Vertical Integration, appropriable Rents, and the Competitive Contracting Process, in: The Journal of Law and Economics, Vol. 21, S. 302.

⁹² Vgl. Manfred Kemper (1993), A.a.O., S. 19.

dungskosten verbunden sind, wenn sie den negativen Effekt als Kosten in ihren wirtschaftlichen Entscheidungen miteinrechnen.⁹³

Die institutionellen Arrangements, die exklusive Verfügungsrechte an Gütern und Ressourcen beinhalten, bedeuten, dass ein Markt für das Verfügungsrecht existiert. In diesem Markt werden materielle Güter und Ressourcen nicht direkt getauscht, sondern nur die Verfügungsrechte über sie.⁹⁴ Unter dem Eigentumsrecht versteht man das Recht, über die Verwendung von den zur Verfügung stehenden Ressourcen individuell entscheiden zu dürfen.⁹⁵ Gäbe es im Zwei-Akteure-Modell exklusive private Eigentumsrechte⁹⁶ an allen Ressourcen, dann würden externe Effekte automatisch, d.h. auf der Basis des Preissystems, internalisiert. Denn eine Person, die über ihr Privateigentum verhandeln will, erwartet dadurch ein effektiveres Ergebnis und einen verbesserten Gesamtzustand.⁹⁷ Bei der coaseschen Lösung ohne Transaktionskosten kann das Eigentumsrecht eine pareto-optimale Allokation der Ressourcen unabhängig von der individuellen Verteilung durch die Funktion des Marktsystems erreichen.⁹⁸

2.3.2.1. Ressourcenallokation bei der coaseschen Lösung

Zur Erklärung der oben berücksichtigten Fälle können wir die coasesche Lösung graphisch darstellen. Nehmen wir x als ein Emissionsrecht an. Fangen wir damit an, dass die Produzenten alle Schadenskosten bei der Produktion berücksichtigen müssen, d.h. sie haben keinerlei Recht, die Umwelt zu schädigen, dann werden die sozialen Grenz-

⁹³ Vgl. Ronald H. Coases, A.a.O., S. 112.

⁹⁴ Vgl. Lothar Wegehenkel (1980), Coase-Theorem und Marktsystem, in: Walter Eucken Institut (Hrsg.), Wirtschaftswissenschaftliche und wirtschaftsrechtliche Untersuchungen, Tübingen, S. 28. Vgl. Lothar Wegehenkel (1981), Neoklassische komparative Statik und Marktprozesse, in: Walter Eucken Institut (Hrsg.) Marktwirtschaft und Umwelt, Tübingen, S. 167.

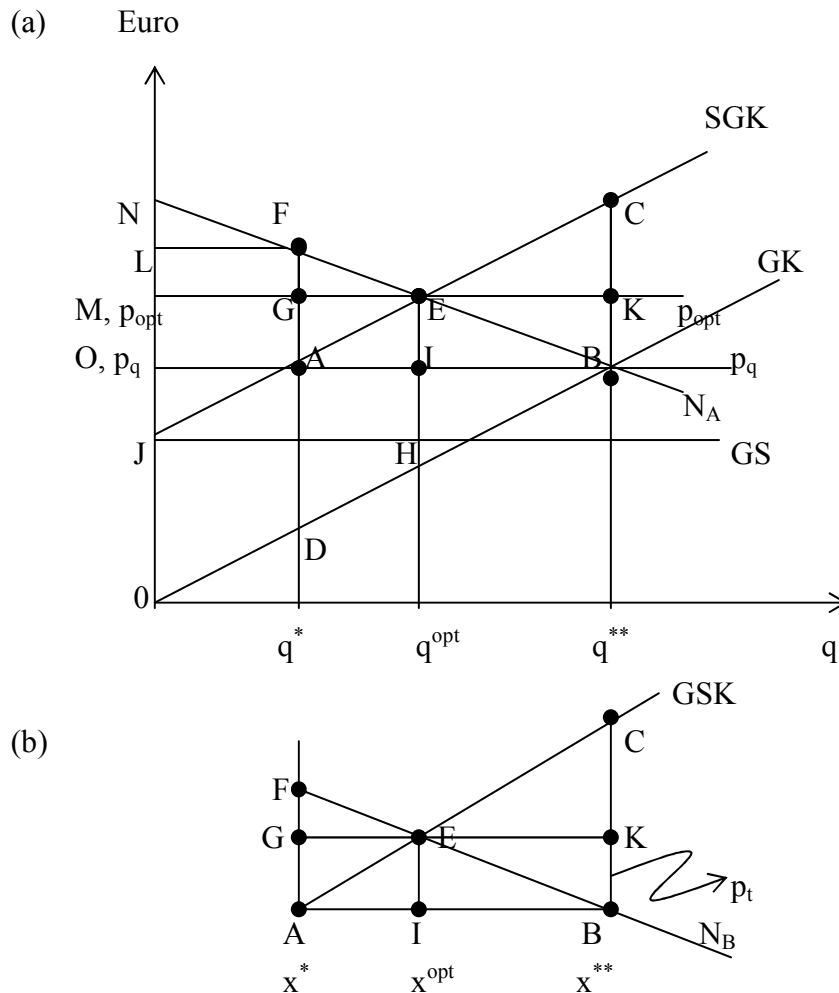
⁹⁵ Ein konzeptuelles Schema war früher von Ronald Coase in Verbindung mit seinem Studium der bundeseigenen Kommunikationskommission (Federal Communication Commission: FCC) entwickelt worden. Vgl. Oliver E. Williamson (1990), A Comparison of Alternative Approaches the Economic Organisation, in: Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE), Vol. 146, S. 66.

⁹⁶ Nach der Erklärung von Alessi (1990) sind die Eigentumsrechte, Rechte des Individuums auf Benutzung und Übertragung der Ressourcen sowie auf das Einkommen, das damit erzielt werden kann. Vgl. Louis De Alessi (1990), Development of the Property Rights Approach, in: Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE), Vol. 146, S. 146.

⁹⁷ Vgl. Armen A. Alchian und William R. Allen (1983), Exchange und Production: Competition, Coordination and Control, 3. Aufl. Belmont, S. 91.

⁹⁸ Ronald H. Coase, A.a.O., S. 114.

kosten SGK in der Abbildung 4(a) als die marginale Zahlungsbereitschaft⁹⁹ N_B für die Schadstoffemission in der Abbildung 4(b) angesehen.¹⁰⁰



<Abb. 4> Pareto-Optimalität in der Coaseschen Welt

Quelle: Manfred Kemper, Das Umweltproblem in der Marktwirtschaft, Berlin, 1993, S. 23.

Solange die Nachfrage nach dem Gut q eine sinkende Funktion vom Preis ist, ist die Schadstoffemission eine sinkende Funktion von dem Emissionsrechtspreis, sodass die

⁹⁹ Da die Zahlungsbereitschaft eines Haushalts und seine darauf bezogene Nachfrage von seinem Einkommen abhängig sind, bestimmt die Verteilung der Einkommen die Lage der Nachfragekurven. Wir haben gesehen, dass das gleiche Problem bei der Steuerlösung existiert. Vgl. Dietmar Wellisch, A.a.O., S. 143.

¹⁰⁰ Aus den marginalen Zahlungsbereitschaften für ein Gut q ($MZB(q)$), die sich durch die inverse Nachfragefunktion $N(q) = MZB(q) = p(q)$ approximieren lässt. Vgl. Holger Mühlenkamp, Kosten-Nutzen-Analyse, München, S. 27, 30.

Emissionsreduktion umgekehrt eine steigende Funktion davon ist. Denn die Steigerung des Güterpreises verursacht die Senkung der Nachfrage, die automatisch die Reduktion des Angebotes und daher die Reduktion der Schadstoffemission, als Produktionsfaktor, auslöst. Bei Abwesenheit der Emissionsrechte wird die Produktionsmenge des Gutes q^{**} im Schnittpunkt B zwischen der Nachfragegerade und den sozialen Grenzkosten des Produzenten in der Abbildung 4(a) bestimmt.

Wie bei der Pigou-Steuer übernehmen die Produzenten die Schuld am Schaden und sollten die Emissionsrechte erwerben, um weiterhin Güter produzieren zu können. Ihre Nachfrage nach Emissionsrechten ist N_B in Abbildung 4(b) und stellt die marginale Zahlungsbereitschaft der Produzenten für die Emission dar. Aber wenn die Produzenten das Recht zur Emission erworben haben, bedeutet diese Kurve auch eine marginale Zahlungsbereitschaft der Geschädigten für die Emissionsreduktion.¹⁰¹ Angesichts der Emissionsreduktion kann die Nachfrage nach Schadstoffemission als Grenzvermeidungskosten angesehen werden, weil ihre Reduktion eine Reduktion der Produktion verursachen kann.

Durch die Verhandlung der Emissionsrechte entsteht das neue Gleichgewicht E in der Abbildung 4(b), in welchem das Umweltverschmutzungsniveau pareto-optimal ist, weil es hier keinen sozialen Wohlfahrtsverlust gibt, und jeder Beteiligte den Vorteil der Schadenreduktion, beispielsweise EBK für Produzenten und ECK für Geschädigten, erzielt. Dieses Recht wird mit dem Preis p_t gehandelt, sodass der Preis des davon betroffenen Gutes von O auf M steigt. Die Lösung des Coase-Theorems wird nur durch die Annahme vollständig fehlender Transaktionskosten ermöglicht.

2.3.2.2. Kritik an der coaseschen Lösung

Ein wichtiges Problem der coaseschen Lösung sind die Transaktionskosten, die im letzten Abschnitt implizit als null angesehen wurden. Zur Durchsetzung eines durch Ver-

¹⁰¹ Man kann die gesamte Zahlungsbereitschaft für die Reduktion der Emission der Schadstoffe bei den schrittweisen Grenzschatensenkungen durch folgenden Ausdruck abbilden:

$$ZB(x) = \sum_{j=1}^S \Delta x^g \cdot MS^g$$

Wenn wir freiwillig Δx^g als 1 setzen, dann vereinfacht sich die gesamte Zahlungsbereitschaft zu:

$$ZB(x) = \sum_{j=1}^S MS^g$$

Es ist leicht einzusehen, dass die maximale marginale Zahlungsbereitschaft der maximale Grenzschaten ist. Ebd. S. 29–30.

handlungen entschiedenen Abkommens benötigt man jedoch noch den Einsatz von Juristen. Hierbei besteht nicht nur die Gefahr, dass getroffene juristische Entscheidungen nicht korrekt sein können, sondern auch das Problem der juristischen Arbitrationskosten, die die Beteiligten für die notarische Beurkundung oder Streitlösungen bezahlen.¹⁰² Es muss aber darum gehen, adäquate individuelle Leistungsanreize zur optimalen Reduktion der Schadstoffemission zu schaffen.¹⁰³

Ein weiteres wichtiges Problem des Coase-Theorems entsteht durch die Verhandlungsposition der Beteiligten, die a priori entschieden ist, da die Präferenzen der Verhandlungsteilnehmer und die daraus folgenden asymmetrischen Informationen vorgegeben sind.¹⁰⁴ Der jeweils unterschiedlichen Verhandlungskraft der einzelnen Parteien folgen verschiedene Durchsetzungsstrategien. Daher zeigen die Beteiligten bei der Verhandlung der öffentlichen Güter ihre Präferenzen nicht, wodurch das Problem des „Trittbrettfahrens“ entstehen kann.¹⁰⁵

3. Marktwirtschaftliche Lösung

Auf der Seite des Staates können die negativen externen Effekte durch öffentliche Ausgaben abgeschafft werden, die durch staatliche Steuereinnahmen finanziert sind. In dem letzten Abschnitt wurden die Pigou-Steuer auf die Schadstoffemission und der Verkauf der Verfügungsrechte der Emission als Methode zur Finanzierung berücksichtigt.

Da Umweltprobleme früher gemeinhin als ein Element des Marktversagens angesehen wurden, wurden die politischen Eingriffe der Regierung in den marktwirtschaftlich organisierten Allokationsprozess scheinbar gerechtfertigt, um dieses Marktversagen zu korrigieren. Aber Hans G. Monissen hat ausgehend von Sidgwick, der im neunzehnten Jahrhundert den Begriff der Externalität in seinem Buch „The Principles of Political Economic“ eingeführt hat, 1980 erklärt, dass die Durchführung einer privaten Lösung

¹⁰² Vgl. Gérard Gäfgen und Hans G. Monissen, A. a. O., S. 122.

¹⁰³ Ebd. S. 143 und Douglass C. North und Robert P. Thomas (1973), *The Rise of the Western World: A New Economic History*, Cambridge, S. 1.

¹⁰⁴ Vgl. Alfred Endres, *Die pareto-optimale Internalisierung externer Effekte*, Frankfurt, 1976, S. 186.

¹⁰⁵ Vgl. Dietmar Wellisch, A.a.O., S. 143, und Dieter Cansier (1981), *Umweltschutz und Eigentumsrechte*, in: Walter Eucken Institut (Hrsg.) *Marktwirtschaft und Umwelt*, Tübingen, S. 184.

besser wäre, als die Einmischung der Regierung in den Markt, und die daraus resultierende Einschränkung des Marktes.¹⁰⁶ Genauer betrachtet besagt dieses Argument, dass die Umweltpolitik zur Korrektur dieser Externalität keine Auflösung des Marktes und keine Abschaffung des Preismechanismus herbeiführen muss, sondern lediglich eine Veränderung des Preises.¹⁰⁷ In den folgenden Abschnitten stellen wir die Rechtfertigung der marktwirtschaftlichen Lösungen aus den pigouschen und coaseschen Theorien dar.

3.1. Rechtfertigung einer marktwirtschaftlichen Umweltpolitik

3.1.1. Marktwirtschaftliche Lösung pigouscher Prägung

Der Gleichgewichtspreis wird in einem Schnittpunkt zwischen der Nachfragekurve und den Grenzproduktionskosten entschieden. Bei Vorhandensein eines Umweltproblems existiert die Präferenz der Schadensreduktion, welche die Zahlungsbereitschaft der Geschädigten für die Reduktion der Schadstoffemission ausdrückt. Aber die Schadensreduktion bedeutet auf der Seite der Produzenten eine Produktionsreduktion, die eine Begrenzung der Nachfrage und eine daraus folgende Preiserhöhung verursacht. Nach der marktwirtschaftlichen Lösung erhöht sich der Preis des Gutes bis p_{opt} , und die Menge des Produktes reduziert sich bis q_{opt} , sodass sich das Gleichgewicht im Punkt E in der Abbildung 4a bildet, wo die sozialen Grenzkosten und die Nachfrage sich überschneiden, weil die Produzenten auf die Nachfrage des Konsumenten und ihre Grenzkosten der Produktion reagieren. Durch diese Lösung können die Produzenten die Zahlung der Geschädigten als Kompensation für die Reduktion der Schadstoffemission erhalten, sodass beide den gewünschten Gewinn erhalten. Die Verringerung des Schadens verbleibt in einem Gleichgewicht vom Ausmaß der Fläche HBCE, und die Steuereinnahmen des Staats sind 0HEJ. Die Produzentenrente steigt von JAp_q auf JEp_{opt} . Die Konsumentenrente verändert sich von p_qAFN auf $p_{opt}EN$. Dies bedeutet, dass das optimale Gleichgewicht im Punkt E erreicht ist, wo kein Wohlfahrtsverlust zu verzeichnen ist. Hier ist die

¹⁰⁶ Vgl. Hans G. Monissen (1980), Externalitäten und ökonomische Analyse, in: Erich W. Streißler, Monika Streißler und C. Wartin (Hrsg.), Zur Theorie marktwirtschaftlicher Ordnungen, Tübingen, S. 342.

¹⁰⁷ Vgl. Allen Feldman (1984), A.a.O., S. 92.

Entwicklung der Konsumentenrenten unklar. Von der Preiselastizität der Nachfrage hängt es ab, ob die Konsumenten durch optimale Preispolitik einen Gewinn erzielen oder einen Verlust. Die Einnahmen des Staates steigen von ODAJ auf OHIJ, und der Schaden verringert sich von CBDA auf CBHE. Aber da die Steuereinnahmen zur Finanzierung öffentlicher Güter dienen und als Transfers an die Bürger zurückfließen können, können Steuereinnahmen in der Größenordnung ADHI für den Schadenbeseitigenden oder für den Geschädigten öffentlich ausgegeben werden.

3.1.2. Marktwirtschaftliche Lösung coasescher Prägung

Aus den Kritiken an der coaseschen Internalisierung kann das Marktwirtschaftssystem bzw. die Privateigentumsökonomie zur Lösung dieses Problems vorgeschlagen werden: Dieses System erlaubt es, dass eine Partei zum uneingeschränkten Eigentümer des Rechts auf die Schadstoffemission wird.¹⁰⁸ Dabei wird die Wirtschaftsbeziehung zwischen den Eigentümern und den Benutzern der Emissionsrechte mit Hilfe von Privateigentumsrechten und Vertragsfreiheit neu aufgebaut.¹⁰⁹ In Bezug auf unsere Untersuchung bedeutet die Privatisierung der Schadstoffemission durch die Festlegung des Eigentumsrechts die Internalisierung externer Effekte im Wirtschaftssystem.¹¹⁰

Wir haben gesehen, dass sich die Probleme auf einige Aspekte konzentrieren, der Existenz der Transaktionskosten, der Verhandlungskraft und der asymmetrischen Information. Nach Ansicht von Monissen (1980) sind jedoch die Transaktionskosten selbst kein Grund für die Existenz pareto-relevanter Externalitäten, doch können Änderungen institutioneller Regelungen nun nicht mehr allokatstechnisch neutral bleiben.¹¹¹

¹⁰⁸ Vgl. Armen A. Alchian und Harold Demsetz (1982), Production, Information Costs, and Economic Organization, in: American Economic Review, Vol. 72, S. 782.

¹⁰⁹ Während das Privateigentum eine Voraussetzung für eine freie Staats- und Gesellschaftsordnung ist, ist die Vertragsfreiheit offensichtlich eine Voraussetzung für das Zustandekommen der Konkurrenz. Vgl. Walter Eucken (1952), Grundsätze der Wirtschaftspolitik, in: Edith Eucken und Karl P. Hensel (Hrsg.), Grundsätze der Wirtschaftspolitik, Tübingen, S. 275.

¹¹⁰ Vgl. Hans G. Monissen (1980), A. a. O., S. 369.

¹¹¹ Ebd. S. 366.

3.2. Mathematische Darstellung der Preislösung

Die Diskussion über länderübergreifende Umweltprobleme ist damit zu beginnen, negative externe Effekte der Produktion auf ein Land zu betrachten, weil die Schadstoffe, die bei der Produktion in einem Land emittiert werden, vor allem als Externalität die Wirtschaft dieses Landes negativ beeinflussen. Danach betrachten wir einen Fall, in dem die Produktion des Gutes q_2 in einem Land einen negativen Effekt x auf die Produktion eines anderen Gutes q_1 ausübt.¹¹² Wir haben die folgende Nutzenfunktion und zwei Produktionsfunktionen:

$$U = U(q_1, q_2) \quad (6)$$

und

$$F_1 = F_1(q_1, l_1; x(q_2)), \quad (7a)$$

$$F_2 = F_2(q_2, l_2). \quad (7b)$$

Hier ist x als Umweltbelastung abhängig von der Produktion des Gutes q_2 . Der einzige Produktionsfaktor ist die Arbeitskraft l_i , welche die Arbeitsmenge darstellt, die für die Produktion des Gutes q_i eingesetzt wird. Der gesamte Nutzen in diesem Land ist $U = U(q_1, q_2)$, was bedeutet, dass alle produzierten Güter vollständig konsumiert werden. Unter diesen Produktionsbedingungen sehen die Gewinne π_i beider Produkte folgendermaßen aus:

$$\pi_1 = p_1 q_1 - C_1(q_1, x(q_2)), \quad (8a)$$

$$\pi_2 = p_2 q_2 - C_2(q_2). \quad (8b)$$

In den Gleichungen (8a, 8b) sind C_i die Produktionskosten des Gutes i , p_i der Preis des Gutes q_i . Der negative Effekt auf die Produktionskosten des Gutes 1 entsteht aus der Produktion des Gutes 2. Nun kann die optimale Bedingung zur Maximierung der gesamten Gewinne durch die Internalisierung der Externalitäten erhalten werden. In dieser Situation kann das Problem durch die Laissez-Faire-Regel gelöst werden, sodass eine Haftungsregel nicht notwendig ist. Also kann eine Firma, die ein Gut 1 produziert, (wir nennen diese Firma zur Einfachheit Firma 1) diese Externalität dadurch internalisieren,

¹¹² Dieser Fall ist durch das folgenden Beispiel illustriert worden, dass die Produktionsaktivität einer Firma am oberen Flusslauf einen negativen Einfluss auf den Output einer Firma am unteren Flusslauf ausübt. Siehe dazu, Allen Feldman (1984), A.a.O., S. 100.

indem sie die Firma 2, die das Gut 2 produziert, einkauft. Dann können folgende Bedingungen zur Gewinnmaximierung in einem Land erzielt werden:¹¹³

$$d\pi/dq_1 = p_1 - c_{1q_1} = 0, \quad (9a)$$

$$d\pi/dq_2 = p_2 - c_{2q_2} - c_{1q_2} = 0. \quad (9b)$$

Diese Gleichungen beinhalten, dass die Firma 2 die Produktion des Gutes 2 bis zum optimalen Niveau für die effiziente Produktion beider Güter reduziert. Dabei stellt c die Grenzproduktionskosten dar, und c_{1q_2} den Grenzscha-
den: $c_{1q_2} = \frac{dC_1}{dq_2}$. Diese Bedingun-

gen bedeuten, dass die Produktmenge und der Preis des Gutes 2 in einem neuen Gleichgewicht reguliert werden, sodass die Produktion des Gutes 2 sich bis zum Gleichgewicht reduziert, wo die Summe der Grenzproduktionskosten c_{2q_2} und des Grenzscha-
dens c_{1q_2} dem Preis p_2 der Gutes 2 entsprechen, der dadurch steigt.

Betrachten wir jetzt die Lösung des Externalitätsproblem durch die Pigou-Steuer. Aufgrund des Verursacherprinzips wird die Pigou-Steuer auf den Verursacher bzw. auf die Produktion des Gutes 2 erhoben. Dann können die Gewinnfunktionen beider Firmen wie folgt beschrieben werden:

$$\pi_1 = p_1q_1 - C_1(q_1, q_2), \quad (10a)$$

$$\pi_2 = p_2q_2 - C_2(q_2) - q_2 \cdot t_2; \quad t_2 = \frac{dC_1}{dq_2}. \quad (10b)$$

Diese Gleichungen illustrieren, dass bei der Produktion des Gutes 2 eine Pigou-Steuer bezahlt werden muss, die auf dem Grenzscha-
den bei der Produktion des Gutes 1 beruht. Die Bedingungen für eine optimale Produktion verlangen, dass die durch Produktionsminderung des Gutes 2 verursachte Gewinnreduktion in der Firma 2 der dadurch verursachten Gewinnsteigerung in der Firma entsprechen muss; $d\pi_2/dq_2 = d\pi_1/dq_2$. Damit bleibt die Externalität pareto-relevant in dem Sinne, dass sie durch die Marktfunktion ausgeräumt wird. Aber bei dieser Internalisierung gibt es ein noch ungelöstes Problem. Dieses Externalitätsproblem kann dadurch beseitigt werden, dass die Gewinnfunktion des Gutes 2 durch Einbeziehung entsprechender Kompensationszahlungen, $q_2 \cdot \frac{dC_2}{dq_2}$,

¹¹³ Vgl. Hans G. Monissen (1976), Haftungsregeln und Allokation: Einige einfache analytische Zusammenhänge, in : Jahrbuch für Sozialwissenschaft, Vol. 7, S. 404–406.

modifiziert wird.¹¹⁴ Hierbei stellt $\frac{dC_2}{dq_2}$ die Grenzkosten der Produktionsminderung

des Gutes 2 dar. Somit können die Gewinnfunktionen wie folgt dargestellt werden;

$$\pi_1 = p_1 q_1 - C_1(q_1, q_2) + q_2 \cdot \frac{dC_1}{dq_2} - q_2 \cdot \frac{dC_2}{dq_2}, \quad (11a)$$

$$\pi_2 = p_2 q_2 - C_2(q_2) - q_2 \cdot \frac{dC_1}{dq_2} + q_2 \cdot \frac{dC_2}{dq_2}. \quad (11b)$$

Dieses Ergebnis zeigt, dass nur eine genügend große Kompensation die Bereitschaft zur Emissionsreduktion ermöglicht, und dass Steuern nicht nur auf einer, sondern auf zwei Seiten gleichzeitig erhoben werden müssen.

Zum Beweis der wechselseitigen Kompensation wird die pareto-optimale Wohlfahrtslösung angewandt, die von Hans G. Monissen (1980) beschrieben wurde. Nehmen wir ein „Zwei-Länder-Modell“ an, in dem jedes Land jeweils zwei Güter produziert, und jede Produktion die Verbrennung von fossilen Energieträgern benötigt, die wegen der Schadstoffemission einen negativen Effekt auf die Wirtschaft ausübt. Beide Länder erfahren durch die Schadstoffemission eine Reduktion des Realeinkommens. Da nun die Schwierigkeit besteht, die Präferenzgröße aller Betroffenen an der Vermeidung der Schäden und die daraus entstehenden Kosten zu ermitteln, soll der oben erwähnte wohlwollende Diktator durch ein frei fungierendes Marktsystem ersetzt werden. Jedes Land produziert die Güter q_1 und q_2 , deren Produktionen jeweils die Schäden x_1 und x_2 verursachen. Dann können die Nutzen- und Produktionsfunktionen wie folgt beschrieben werden:

$$U_1 = U_1(q_{11}, q_{12}, T_1^0 - I_1; x_1 + x_2), \quad (12a)$$

$$U_2 = U_2(q_{21}, q_{22}, T_2^0 - I_2; x_2 + x_1) \quad (12b)$$

und

$$F_1(q_{11}^*, q_{12}^*, I_1^*; x_1, x_2), \quad (12c)$$

$$F_2(q_{21}^*, q_{22}^*, I_2^*; x_1, x_2). \quad (12d)$$

Wenn vorausgesetzt werden kann, dass jedes Land i alle Güter j herstellt, die durch den internationalen Handel vollständig konsumiert werden, dann entspricht die Summe der produzierten Güter q_{ij}^* der konsumierten Güter q_{ij} . T_i^0 bedeutet die Ausstattung in

¹¹⁴ Vgl. Hans G. Monissen (1980), A.a.O., S. 352.

Land i, die als Kaufkraft angesehen werden kann.

Mit diesem Modell erhalten wir das wohlfahrtsoptimale Ausmaß externer Effekte, bei dem die Summe der Grenzraten der Substitution GRS_{x_l} zwischen der Emissionsreduktion und dem Arbeitseinsatz in beiden Ländern mit der Grenzrate der Transformation, GRT_{x_l} , zwischen Emissionsreduktion und Arbeitseinsatz übereinstimmen muss: $GRS_{x_l} + GRS_{x_l} = GRT_{x_l}$.¹¹⁵ Es ist eindeutig, dass die Erhebung einer Umweltsteuer beispielsweise in Land 1 eine Reduktion der Schadstoffemission in demselben Land verursacht, die einerseits eine Nutzenerhöhung, jedoch auf der anderen Seite eine Produktionsreduktion auslöst. Auch in Land 2 kann dies eine Nutzenerhöhung verursachen. Wenn aber keine Kompensation stattfindet, kann es keine Produktionsreduktion bis zum optimalen Niveau und folglich auch keine Emissionsreduktion geben. Daher ist die Höhe der Steuer in einem Punkt zu bestimmen, wo der Grenzschaten, der gleich dem Grenznutzen der Emissionsreduktion ist, und die Grenzproduktionskosten übereinstimmen. Hierdurch kann man die folgenden Steuersätze in beiden Länder ermitteln:

$$t_{x_1}/w = [(\partial U_1/\partial x_1)/(\partial U_1/\partial l_1)] + [\partial U_2/\partial x_1]/[\partial U_2/\partial l_2] - [(\partial F_1/\partial x_1)/(\partial F_1/\partial l_1)] - [(\partial F_2/\partial x_1)/(\partial F_2/\partial l_2)], \quad (13a)$$

$$t_{x_2}/w = [(\partial U_1/\partial x_2)/(\partial U_1/\partial l_1)] + [\partial U_2/\partial x_2]/[\partial U_2/\partial l_2] - [(\partial F_1/\partial x_2)/(\partial F_1/\partial l_1)] - [(\partial F_2/\partial x_2)/(\partial F_2/\partial l_2)].¹¹⁶ \quad (13b)$$

Da jedes Land Schadstoffe emittiert, soll die Umweltsteuer nicht nur auf beide Länder erhoben, sondern auch die Kompensationen wechselseitig betrieben werden. Ihre Beträge sind positiv, weil ein „monetäres Äquivalent die Steuer spezifiziert, die über die Marktlösung zur pareto-optimalen Wohlfahrtslösung führt.“ Also kann man sagen, dass die Internalisierung unter diesem marktwirtschaftlich dezentralen System zu wechselseitigen Verpflichtungen führt.¹¹⁷

Der Unterschied zwischen den Integralen des Grenznutzens und des Grenzschatens zeigt die Änderung des Gewinns und Schadens, also den folgenden Nettogewinn:

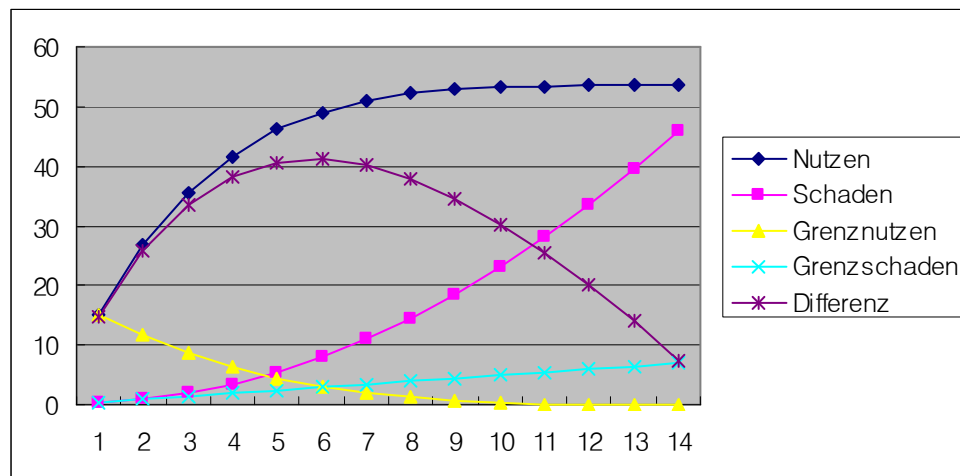
$$NG = \int_0^E \frac{\partial U}{\partial E} dE - \int_0^E \frac{\partial S}{\partial E} dE. \quad (14)$$

¹¹⁵ Vgl. Holger Mühlenkamp (1994), A.a.O., S. 164.

¹¹⁶ Siehe zur mathematischen Erklärung, Hans G. Monissen (1980) A.a.O., S. 354–357.

¹¹⁷ Vgl. Hans G. Monissen (1980), A.a.O., S. 357, und Eberhard Feess (1998), Umweltökonomie und Umweltpolitik, 2. Aufl., München, S. 173–174.

Diese Beziehung zwischen dem Grenznutzen, dem Grenzscha-
den und dem Nettoge-
winn kann man wie in der folgenden Abbildung 5 skizzieren.¹¹⁸



<Abb. 5> Effiziente Emissionsmenge und -steuer

Die Differenz zwischen Nutzen und Schaden zeigt, dass im Schnittpunkt zwischen Grenznutzen und Grenzscha-
den der Nettogewinn maximiert wird.

¹¹⁸ In dieser Abbildung sind die Grenzvermeidungskosten eine Funktion von $GVK = -(0.15 \cdot E - 2.25)^{11/3}$,
und die sozialen Grenzkosten eine Funktion von $SGK = (1/2) \cdot E$.

C. Länderübergreifendes Umweltproblem als internationale Externalität

1. Einführung

Bei der länderübergreifenden Umweltverschmutzung ist die Menge der emittierten Schadstoffe für jede Region unterschiedlich, ebenso die Größe des Schadens.¹¹⁹ Aber die Größe der emittierten Schadstoffe in einer Region kann nicht mit der Größe des Schadens gleichgesetzt werden, weil der Grund für die Schadenstärke nicht in der regionalen Schadstoffemission, sondern in der Naturkonstellation derselben Region liegt. Indem wir die bisherige Analyse über die negative Externalität mit dem im letzten Kapitel diskutierten internationalen Handel¹²⁰ verbinden, können wir zum wirtschaftlichen Konzept einer länderübergreifenden Umweltverschmutzung gelangen.

Solange wir länderübergreifende Umweltprobleme behandeln, ist der freie internationale Handel wichtig, weil dadurch die für jede Regionen unterschiedlichen Umweltstandards sich einem optimalen Standard nähern können. Durch den Außenhandel kann der internationale Preis für die Schadstoffemission zwischen den unterschiedlichen Staaten oder Regionen entschieden werden, und die Emissionsmenge kann sich einer optimalen Menge annähern, die für die optimalen Güterproduktion sowohl in der Welt als auch in jeder Region notwendig ist, wobei nicht nur die Produktionskosten betrachtet werden, sondern auch die Schadenskosten. Da der Schaden der Emission länderübergreifend ist, kann man behaupten, dass der Effekt der Reduktion in einer Region sich nicht nur auf eine Region auswirkt, sondern auch auf die gesamte Welt, sodass die Umweltpolitik zur Schadensreduktion als global öffentliches Gut angesehen werden kann.¹²¹

Länderübergreifende Umweltprobleme waren bisher ungelöst, aber die wirtschaftliche Sichtweise hat eine internationale Interdependenz zwischen den betroffenen Ländern

¹¹⁹ Dann können wir die verschiedenen Grenzvermeidungskosten und Grenzschäden betrachten.

¹²⁰ Stevens (1993) hat die umwelttechnische Wirkung des internationalen Handels betont und dabei für eine Umweltpolitik appelliert, die den Vorteil des internationalen Handels fördert und den negativen Effekt der umwelttechnischen Auswirkung mildert. Vgl. Candice Stevens (1993), *The Environmental Effects of Trade*, in: *World Economy*, Vol. 16, S. 439. Vgl. Helm Carsten, *Sind Freihandel und Umweltschutz vereinbar?: Ökologischer Reformbedarf des GATT/WTO – Regimes*, Berlin, 1995, S. 21.

¹²¹ Vgl. William D. Nordhaus, *Nach Kyoto: Alternative Mechanismen zur Kontrolle der Erderwärmung*, in: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Vol. 51, Heft 10, 2001, S. 618.

geschaffen. Diese Interdependenz kann in zwei Typen unterteilt:¹²²

1. Markt-Interdependenz: durch Preis-Mechanismus oder pekuniäre Externalität und
2. Nicht-Markt-Interdependenz: durch technologische Externalität

Insofern der Preis-Mechanismus im Zusammenhang mit länderübergreifender Umweltverschmutzung eingeführt wird, gehört dieses Problem zur Markt-Interdependenz.¹²³ Als Markt-Interdependenz sind zwei Mechanismen für international öffentliche Güter zu betrachten: 1. ein mengenregulierendes System und 2. ein preisregulierendes System. Beide Mechanismen können einen bestimmten Preis erzielen, aber in der Realität ist im Rahmen eines mengenregulierenden Systems der Preis nicht vorhersehbar. Daher kann es zu einem hohen Emissionsvermeidungspreis und aus diesem Grunde zu Ineffizienz kommen.¹²⁴

Bei dem Vergleich zwischen beiden Systemen muss die Subjektivität der Präferenzen betrachtet werden, die von der wirtschaftlichen Situation, Kultur und Tradition usw. jedes Landes abhängt.¹²⁵ Aber das mengenregulierende System ermittelt die Menge der Schadstoffe ohne Berücksichtigung der subjektiven Präferenz der jeweiligen Länder. Aus diesen Gründen wird der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf das preisregulierende System gelegt.

Das Gesetz zur Rechtszuteilung und die wirtschaftlichen Rahmenordnungen zur Lösung der Probleme im Zusammenhang der internationalen Interdependenz können als öffentliche Güter angesehen werden, die ein wichtiges Komplement zum internationalen Handel sind. Die Abwesenheit solcher Gesetze und wirtschaftlicher Rahmenordnungen kann zur Unterbrechung des seriösen internationalen Handels z.B. durch Trittbrettfahrer führen.¹²⁶ Angesichts der allgemeinen Unmöglichkeit, die Zusammenarbeit der voneinander unabhängigen, inländischen Staatsführungen zu erzwingen, kann das Trittbrett-

¹²² Vgl. Roland Vaubel, A Public Choice View of International Organization, in: Roland Vaubel and Thomas D. Willett (Hrsg.), *The Political Economy of International Organizations: A Public Choice Approach*, Oxford, 1991, S. 28.

¹²³ Vgl. Jagdish Bhagwati und T. N. Srinivasan (1969), Optimal intervention to achieve non-economic objectives, in: *The Review of Economic Studies*, Vol. 36, S. 27. Falls sie nicht auf dem Preissystem gelöst wird, ist die Intervention einer internationalen Organisation nur dadurch bedeutsam, dass sie den inländischen Regierungen ermöglichen, ihren Bürgern Steuerabgaben aufzuerlegen. Ebd. S. 29.

¹²⁴ Vgl. William D. Nordhaus, Nach Kyoto: Alternative Mechanismen zur Kontrolle der Erderwärmung, in: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Vol. 51, Heft 10, 2001, S. 619.

¹²⁵ Ebd. S. 620. Siehe zum ausführlichen Vergleich zwischen dem mengenregulierenden System und dem preisregulierenden System, Ebd. S. 211–213.

¹²⁶ Vgl. Bruno S. Frey, A.a.O., S. 9.

fahrerproblem überwunden werden, wenn Voraussetzungen für die Zusammenarbeit gestellt werden können, in welchen die zwei folgenden Gebiete eine zentrale Position belegen:¹²⁷

1. Internationale finanzielle Bereitstellung (international monetary arrangement) und
2. Internationale öffentliche Eigentumsressourcen (international common property resources).

Die internationale finanzielle Bereitstellung, die durch die jeweiligen Behörden der beteiligten Länder eingeleitet wird, kann den Handelspreis der Schadstoffemission stabilisieren, wenn sie vorteilhaft für alle Beteiligten ist.¹²⁸ In diesem Management ist es notwendig, nicht nur die Pareto-Superiorität dieser Bereitstellung, sondern auch die Gewinne und die Kosten der einzelnen beteiligten Länder zu berücksichtigen.

Für die internationalen öffentlichen Eigentumsressourcen sind internationale Konventionen und Regeln notwendig. Aber natürlich ist die Schwierigkeit gegeben, Übereinstimmung darüber zu erzielen, wie diese Regeln aussehen sollten, weil kein Land gezwungen werden kann, diese Regeln zu akzeptieren. Die einzige allgemein akzeptable Regel ist diejenige, bei der der Gesamtgewinn so hoch ist, dass dieser zwischen allen mitbeteiligten Ländern lukrativ verteilt werden kann. Dann finden es auch alle Länder vorteilhaft, der Regel zuzustimmen.

Angesichts dieser Komplexität der länderübergreifenden Umweltverschmutzung betrachten wir die obengenannten Maßnahmen bezüglich der dynamischen Reaktionen der Länder. Wie gesagt, muss die inländische Steuerstruktur, die diese beiden Voraussetzungen erfüllen soll, vor der dynamischen Reaktion betrachtet werden. Solange die Kosten und der Gewinn der beteiligten Länder im Zeitlauf gemeinsam berücksichtigt werden müssen, müssen die zukünftigen Effekte der gewählten Politik in die gegenwärtigen Politikentscheidungen eingeschlossen werden. Bei der internationalen finanziellen Bereitstellung ist die Berücksichtigung der dynamischen Reaktion unvermeidbar. Eigentlich muss sie als eine dynamische Preisentscheidung angesehen werden, in der die Anreizmöglichkeit zur Abweichung von dem Vertrag zu beseitigen ist. Allerdings ver-

¹²⁷ Ebd. S. 10–11.

¹²⁸ Tommaso Monacelli (2001), *New International Monetary Arrangements and the Exchange Rate*, in: <http://fmwww.bc.edu/EC-P/WP517.pdf>, S. 7.

langt die inländische und internationale Politik für die optimale Lösung länderübergreifender Umweltprobleme ihre eigene Durchsetzungskraft, um die Abweichungsmöglichkeit in einem internationalen politischen Vertrag zu vermeiden.¹²⁹ Wir haben schon die inländisch optimale Lösung in dem obigen Abschnitt betrachtet, und erfahren, dass die Emissionsreduktion, die anhand der Höhe des inländischen Schadens ermittelt wird, durch die inländische Kompensation ermöglicht wird und zusätzlich durch den internationalen Handel der Politik für Emissionsreduktion verstärkt wird, sodass ein optimaler Preis festgesetzt werden kann. Dieses Ergebnis wird durch den folgenden Ansatz von Hoel (1997) betont:¹³⁰

„In a competitive economy without any distortions (except for the environmental externality) there is no need for internationally coordinated tax setting: when the government of each country sets environmental taxes to maximise the utility levels of the country's consumers, we get a Pareto-optimal allocation of emissions and capital across countries.“

Dieses Ergebnis ist von Mühlenkamp gut illustriert worden.¹³¹ Seine Grafik zeigt, dass die Steigung der Indifferenzkurven des Landes 1 die Steigung der Transformationskurve minus die Steigung der Indifferenzkurven des Landes 2 ist. Es besagt, dass der Nutzen des Landes 1 einerseits durch die Emissionsreduktion des Landes 2 und andererseits durch die Schadstoffemission steigt. Um diese potenzielle Konfliktsituation zu beenden, müssen die Länder ihre Anstrengungen der Umweltverbesserung untereinander kompensieren, damit sie ihre jeweilige Politik optimieren können.¹³² Wir haben gesehen, dass öffentliche Ausgaben, die durch Besteuerung finanziert werden, zur Verminderung der internationalen Umweltverschmutzung notwendig sind. Internationale Arrangements sind notwendig, um die Wohlfahrt einer Wirtschaft pareto-optimal zu gestalten. In einem solchart arrangierten System müssen die privaten Kosten (die Steuern) mit dem privaten Nutzen verbunden werden. Aber bei der länderübergreifenden Umweltverschmutzung ist die optimale Emissionsreduktion nicht erreichbar. Wie gesehen, ist die optimale internationale Steuerpolitik ohne wechselseitige Geldübertragung unmöglich. Die einseitige Besteuerung auf die Schadstoffemission kann zu uneffizienten Er-

¹²⁹ Vgl. William D. Nordhaus, a.a.O., S. 622.

¹³⁰ M. Hoel (1997), International coordination of environmental taxes, in: C. Carraro und D. Siniscalco (Hrsg.), *New directions in the economic theory of the environment*, Cambridge, S. 108.

¹³¹ Siehe zur graphischen Darstellung, Holger Mühlenkamp (1994), A.a.O., S. 148.

¹³² Vgl. Dietmar Wellisch (1999), *Finanzwissenschaft I: Rechtfertigung der Staatstätigkeit*, München, S. 77–78.

gebnissen führen.¹³³ Darüber hinaus können wir noch ein Problem erkennen, nämlich dass alle Varianten der Umweltpolitik zwei gegensätzliche Effekte auf den Nutzen haben: Die Reduktion der inländischen Schadstoffemission verursacht die Emissionszunahme im Ausland. Dieses Ergebnis beweist, dass es keine internationale Politik gibt, die besser als der freie Handel der Institutionen ist,¹³⁴ welche anhand des Wirtschaftszustandes jedes einzelnen Landes ihre Entscheidungen treffen. Durch die von dem freien Handel der Institutionen betroffenen Länder kann ein Optimum erreicht werden, bei dem die Gleichgewichtsmenge der Schadstoffemission und ein optimaler Preis für die Emissionsreduktion ermittelt wird, indem die betroffenen Länder die Reaktion des Partners berücksichtigen und ihre Preise dynamisch regulieren.

2. Internationale marktwirtschaftliche Lösungen

Solange die länderübergreifende Umweltverschmutzung durch den freien internationalen Handel geregelt wird, kann sie als ein Allgemeingut angesehen werden. In einem offenen Wirtschaftssystem kann eine Wirtschaft dann von einer anderen (mit dem billigsten Emissionspreis) die Emissionsreduktion einkaufen, während sie in einem geschlossenen Wirtschaftssystem den inländischen Schaden dadurch verkleinern kann, dass sie die Emissionsreduktion zu einem vorgegebenen Emissionspreis bzw. einem inländischen Umweltsteuersatz in derselben Wirtschaft verwirklichen. Solange der Schaden länderübergreifend ist, kann dieser Emissionshandel mit einem bestimmten Preis, der im Schnittpunkt der Grenzvermeidungskosten in dem Verkaufsland und der Grenzschaadenskosten in dem Einkaufsland bestimmt wird, die Emission am effizientesten reduzieren, woraus ein fixierter Preis der Emission in der internationalen Beziehung entstehen kann, sodass die optimale Allokation der Ressourcen erreicht wird.¹³⁵ Unter dieser An-

¹³³ Vgl. Ralph Turvey (1963), On Divergences between Social Cost and Private Cost, in: *Economica*, Vol. 30, S. 312.

¹³⁴ Vgl. Jagdish Bhagwati, V. K. Ramaswami und T. N. Srinivasan (1969), Domestic distortions, tariffs, and the theory of optimum subsidy, in: *Journal of Political Economy*, Vol. 77, S. 1005. Vgl. Manfred C. Kemper und T. Negishi (1969), Domestic distortions, tariffs and the theory of the optimum subsidy, in: *Journal of Political Economy*, Vol. 77, S. 1011. Vgl. Jagdish Bhagwati, und V. K. Ramaswami (1963), Domestic distortions, tariffs, and the theory of optimum subsidy, in: *Journal of Political Economy*, Vol. 71, S. 45.

¹³⁵ Vgl. Y. J. Yoon (1999), Political Management of Commons and Anti-commons, Center for Study of Public Choice George Mason University, Fairfax, VA 22030, S. 5.

nahme sind die Länder, die trotz ihrer eigenen Umweltpolitik unter der länderübergreifenden Umweltverschmutzung leiden oder höhere Preise für die Emissionsreduktion haben, bereit, für die Emissionsreduktion der Länder zu zahlen, in denen der Schaden nicht so ausgeprägt oder der Emissionspreis niedriger ist.

2.1. Grundmodell

Jedes Land will seine Nutzenfunktion $U_i(C(q_{i1}), C(q_{i2}), S(x))$ maximieren, die durch den Konsum der Güter und die Reduktion des Schadens ermittelt wird. Unter diesem System wird die optimale Menge der Schadstoffe x durch die inländische Produktionsmaximierung bestimmt und im internationalen Markt vorgegeben. Daher erfordert die Gewinnmaximierung die folgende Voraussetzung für jedes Land:

$$F_i(q_{i1}^*, q_{i2}^*, l_i^*; x_i) - p(x_i - \alpha_i x); \quad x = x_1 + x_2, \quad i = 1, 2. \quad (15)$$

Die Produktionsfunktion F hängt von den Produktmengen q_{i1}^* und q_{i2}^* ab, die wiederum von der in einem Land vorhandenen Arbeitsmenge und der Schadstoffemission abhängig sind. Hier ist p der Weltmarktpreis der Schadstoffemission, x_i ist die Schadstoffemission in Land i , und $\alpha_i x$ ist die Anfangsverteilung in Land i von den vorgegebenen Schadstoffemissionsmengen der Welt. Die Bedingungen für die Nutzenmaximierung sind daher:

$$f_{xi} = p - \alpha_i; \quad x = \sum x_i. \quad (16)$$

$$u_{xi} \geq f_{xi} \quad \text{Falls } u_{xi} > f_{xi}, p_i - \alpha_i > p - \alpha_i, p_i > p, \quad (17)$$

$$\text{Falls } u_{xi} < f_{xi}, p_i - \alpha_i < p - \alpha_i, p_i < p.$$

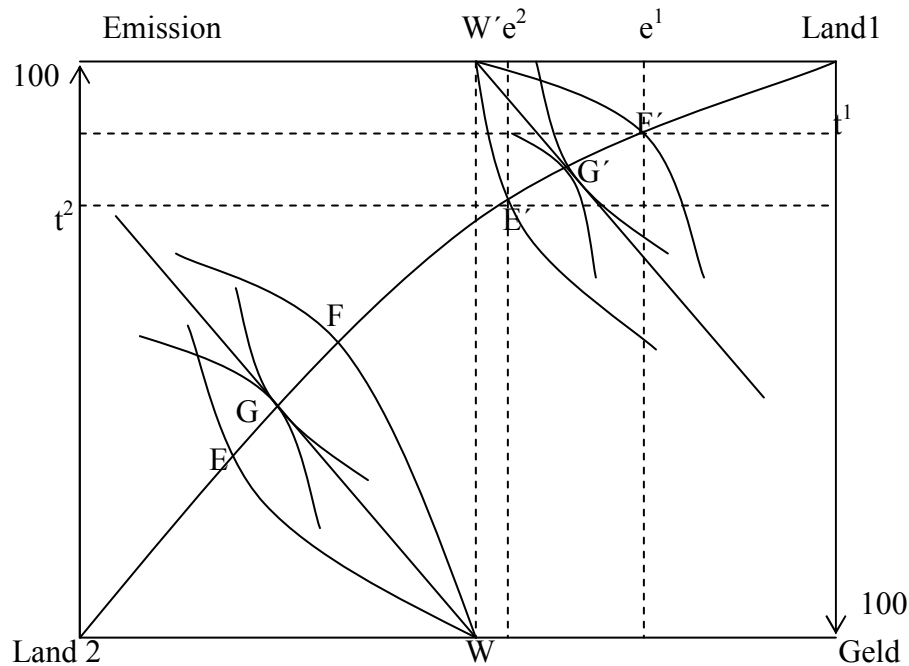
Hierbei wird x als konstant verstanden, weil x schon vorgegeben ist. Die Gleichung (16) zeigt, dass die optimale Produktion in Land i von dem vorgegebenen Weltpreis der Schadstoffemission und dem in diesem Land vorgegebenen Anteilsatz α_i der Schadstoffemission abhängig ist. Die Gleichung (17) zeigt, dass der Grenznutzen der Schadstoffemission größer oder kleiner als die Grenzproduktivität der Schadstoffemission ist. Aber dies hängt von der Größe des Weltpreises und des inländischen Preises der Emission ab, weil unter der Voraussetzung der Nutzen- und Produktionsmaximierung Grenznutzen den inländischen Preis und Grenzproduktivität den Weltpreis bedeuten. Mit dieser Gleichung (17) kann man die folgenden zwei wichtigen Ansätze erhalten: Wenn

Wenn die in einem Land verlangte Schadstoffreduktion höher ist als die Emissionsreduktion, die unter einem Weltpreis der Schadstoffemission ermittelt wurde, dann ist der inländische Emissionspreis höher als der Weltpreis. Wenn die vermeintliche Präferenz eines Landes an der Schadstoffemission unkorrekt angegeben wird, dann können der Weltpreis und der inländische Preis der Emissionsreduktion nicht identisch sein, weil der inländische Grenznutzen und die Grenzproduktivität der Welt nicht gleich sind. In diesem Fall können die beteiligten Länder den falsch vorgegebenen Weltpreis erkennen und ein Verfahren zur Korrektur der inländischen Nutzenmaximierung aufnehmen. Dieses Verfahren besteht im Außenhandel der Schadstoffemission, und der dadurch entschiedene Weltpreis spiegelt genau die Präferenz jedes einzelnen Landes wieder. Ein wichtiges Ergebnis ist die endgültige Allokation der zusätzlichen Schadstoffemission, die unabhängig von der Anfangsausstattung der Schadstoffemission ist.

2.2. Marktwirtschaftliche Lösung bei normaler Nutzenfunktion

In einer Gesellschaft mit Vertragsfreiheit und Privateigentum kann ein Teil des Vermögens unabhängig von der Zuordnung der Rechte ausgetauscht werden, bis die paretoeffiziente Allokation der Ressourcen erreicht wird. Im Gleichgewicht wird der Grenznutzen identisch mit den Grenzkosten, auch bei der Existenz der Externalitäten mit den sozialen Grenzkosten. Die oben erklärte und im letzten Kapitel illustrierte Situation kann man graphisch darstellen.¹³⁶ Es wird angenommen, dass die Länder 1 und 2 Treibhausgase bei der Produktion emittieren. Dazu nehmen wir an, dass beide Länder jeweils ein Realeinkommen von 100 Einheiten haben. Sie bevorzugen die Dimension „Geld“.

¹³⁶ Vgl. Hal R. Varian (2000), Grundzüge der Mikroökonomik, übersetzt von R. Buchegger, 5. Aufl., Wien, 2000, S. 555–559. Hauptthema ist hier die Präferenz zwischen Geld und Rauchen.



<Abb. 6> Präferenzen für Geld und länderübergreifende Umweltverschmutzung
 Quelle: Rudolf Richter und Eirick G. Furubotn (1999), Neueinstitutionenökonomie, Tübingen, S. 103.

Die Abbildung 6 zeigt eine mögliche Grundausstattung W' für unser Beispiel, wo die Schadstoffe beide Länder betreffen. Bei unserer oben getroffenen Annahme will das Land 2 angefangen von W' die weitere Schadstoffemission von $W'e^2$ mit einem Geldbetrag von $100 - t^2$ einkaufen, und Land 1 hat eine Bereitschaft zur Schadstoffemission von $W'e^1$ mit dem Geldbetrag von $100 - t^1$. Die Kurve zwischen E' und F' , die ein Intervall auf der Vertragskurve ist, gibt alle Pareto-Effizienzen an. Wenn sich ein Punkt G' , auf dem die Nachfrage identisch mit dem Angebot ist, findet, dann ist dieser Punkt ein Gleichgewicht. Dieser Zustand hat zwei Erklärungsmöglichkeiten:

1. In den Punkten von E' und F' haben beide Länder den jeweiligen Steuerzustand: t^2 ist größer als t^1 . Dann können sie untereinander ihre Steuerpolitik austauschen, wodurch ein Gleichgewichtspreis für die Schadstoffemission bestimmt wird.
2. Ein Land hat das Recht auf die Schadstoffemission in der Anfangsausstattung von W' , z.B. Land 2. Dieses Recht ist ein ausschließendes Gut, und das Land 2 kann die Verwendung der Schadstoffemission des Landes 1 verbieten. In diesem Zustand versucht Land 1 dieses Recht einzukaufen, um seinen Nutzen durch die Emissionsreduktion zu

verbessern. Bei diesem Abkommen kann Land 2 Nutzenverbesserung des Partnerlandes ermöglichen, indem es seine eigene Emissionsmenge reduziert.

Im neuen Gleichgewicht G' können beide Länder eine Nutzenverbesserung erlangen, wodurch der Nutzen der Welt maximiert wird.

Analog umgekehrt, wenn Land 1 das ganze Recht auf Schadstoffemission hat, dann wäre das inländische Gleichgewicht F in Land 1, und E in Land 2. In diesem Zustand ist das Land 2 bereit, für seine Ausweitung der Schadstoffemission zu zahlen. Solange die Zustimmung des Landes 1 wertmäßig kompensiert wird, können beide Länder eine Nutzenverbesserung im Gleichgewicht G erfahren, bei dem die Ressourcen in der Welt am effizientesten verteilt werden. Durch die Allgemeingültigkeit des Ansatzes von Arrow (1969) können wir sagen, dass, sofern es einen internationalen Markt für länderübergreifende Umweltverschmutzung gibt, so ein Konkurrenzgleichgewicht paretoeffizient sein wird.¹³⁷

Wenn wir für die Lösung dieses Problems annehmen, dass die Einkommensallokation, die durch den Außenhandel entsteht, keinen Einfluss auf die Bewertung der Umweltverschmutzung hat, können beide Länder eine quasi-lineare Nutzenfunktion haben. Für die „Nachfrageenthüllung nach den öffentlichen Gütern ist Quasilinearität eine notwendige Eigenschaft der Nutzenfunktion“,¹³⁸ die bei der Anreizkompatibilität unverzichtbar ist. Unser Modell zeigt, dass die Nutzenfunktion eines Landes aus privaten Gütern (z.B. Geld) und öffentlichen Gütern (z.B. länderübergreifende Umweltverschmutzung) besteht.¹³⁹ Da die kompensatorischen und äquivalenten Varianten beim quasilinearen Nutzen gleich sind, verlaufen die Indifferenzkurven parallel, und die Vertragskurve wird horizontal.¹⁴⁰ In dieser Situation bringt jede effiziente Lösung dieselbe Schadstoffmenge hervor, und nur die Ausstattung an privaten Gütern verändert sich. Daher

¹³⁷ Vgl. Kenneth J. Arrow (1969), *Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention*, in: National Bureau of Economic Research (Hrsg.), *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, Princeton, S. 49.

¹³⁸ Vgl. H. G. Monissen, *Verallgemeinerung einfacher quasilinearer Nutzenfunktionen*, in: *Jahrbuch und Nationalökonomie und Statistik*, Vol. 215, 1996, S. 1. Siehe zur Ableitung der quasilinearen Nutzenfunktion aus der Nachfragefunktion, Hal R. Varian, *Microeconomic Analysis*, 3. Aufl., London, 1992, S. 153–154.

¹³⁹ Vgl. Allen Feldman (1984), A.a.O., S. 108.

¹⁴⁰ Vgl. Hal R. Varian, *Grundzüge der Mikroökonomik*, übersetzt von R. Buchegger, 3. Aufl., München, 1995, S. 244.

liegt ein optimales Gleichgewicht in unserem Modell mit quasilinearer Nutzenfunktion immer auf der horizontalen Vertragskurve. Die effizienten Schadstoffmengen sind auf jeden Fall unabhängig von der Verhandlungsposition bzw. dem Rechtsbesitz für die Umweltverschmutzung. Im nächsten Abschnitt können wir mit der quasilinearen Nutzenfunktion beweisen, dass die optimale Emissionsmenge der Welt durch freien Handel erreicht werden kann, auch wenn viele behaupten, dass dies nur durch eine zentrale Planung möglich ist. Aber selbst die Ermittlung einer optimalen Emissionsmenge durch diese Behörde scheint a priori zum Scheitern verurteilt, da sie die oben veranschaulichten komplexen Zusammenhänge nur unzureichend erfassen kann.

2.3. Marktwirtschaftliche Lösung bei quasi-linearer Nutzenfunktion

Bei der quasilinearen Nutzenfunktion übt der Preis einen direkten Einfluss auf den Nutzen aus. Yoon zeigt, dass ein fixierter Preis eines öffentlichen Gutes entschieden werden kann, indem er gleichzeitig die Verwendungszertifikate und die Ausschlussrechte auf ein öffentliches Gut unter der quasi-linearen Funktion darstellt.¹⁴¹ Aber nach der Verallgemeinerung der quasi-linearen Funktion nach Monissen (1996) können wir einen fixierten Preis durch freien Emissionstausch erst dann erhalten, nachdem eine optimale inländische Ressourcenverteilung erfolgt ist. Wenn wir diese Nutzenfunktion nur als Beziehung zwischen dem privaten Gut und der Umweltbelastung beschreiben, kann der externe Effekt in eine Kosten-Nutzen-Analyse einbezogen werden,¹⁴² wo alle relevanten Kosten- und Nutzenkategorien in Geldeinheiten numerisch erfasst werden, um die Wohlfahrtswirkungen bzw. die Nettonutzen der untersuchten Projekte zu ermitteln.¹⁴³ Diese Umweltbelastung kann als öffentliches Gut der Welt angesehen werden.¹⁴⁴

Wir können eine einfache Kosten-Nutzen-Funktion bezogen auf die Welt skizzieren, welche aus dem Anfangsbestand des Realeinkommens g als privates Gut und dem Nut-

¹⁴¹ Vgl. Yong J. Yoon, A.a.O., S. 5.

¹⁴² Vgl. Hans G. Monissen (1990), Cournot-Nash-Gleichgewicht in der Theorie öffentlicher Güter, in WiSt Heft. 5, S. 223.

¹⁴³ Vgl. Holger Mühlenkamp (1994), A.a.O., S. 7.

¹⁴⁴ William Nordhaus definiert öffentliche Güter der Welt wie folgt: „These are goods, whose impacts spill around the world amongst different countries, rather than ones whose impacts are felt within national borders.“ William D. Nordhaus, A.a.O., S. 143.

zen u , der aus der Schadstoffemission x als öffentliches Gut erhalten wird, besteht.

$$U = u(x) + g, \quad \text{mit } u' > 0, u'' < 0. \quad (18)$$

Da wir ein Modell von zwei Ländern erstellt haben, können wir das Realeinkommen gemäß der reziproken Beziehung zwischen beiden Ländern aufteilen; $g_1 + g_2 = g$. Die Analyse fängt damit an, dass zur Reduktion des inländischen Schadens jedes Land ohne internationale Zusammenarbeit seinen Produzenten die geeignete Steuer auferlegt und daher über sein eigenes Emissionsniveau entscheidet, sodass die Reduktionsmenge der Emission sich verdoppelt.¹⁴⁵ Bei der Steuererhebung entscheidet kein Land allein, sondern immer in Bezug auf die Entscheidungen anderer Länder. Aber diese Entscheidung wird nicht kooperativ getroffen. Im Rahmen dieser Entscheidung wird ein Cournot-Nash-Gleichgewicht gebildet, in welchem die Schadstoffemissionen mit dem erwarteten individuellen Optimum wechselseitig kompatibel sind.¹⁴⁶ Daher haben die Beteiligten keinen Anreiz, ihr Verhalten zu revidieren, aber die Motivation zum Außenhandel, um die Nutzen des Schadstoffkonsums zu verbessern. Bei langfristig wiederholtem Handel unter vollständiger Konkurrenz können wir ein optimales Außenhandelsgleichgewicht erzielen, bei dem ein internationaler Preis für die Schadstoffemission festgelegt wird.¹⁴⁷

Wir nehmen an, dass Land 1 die Schadstoffemission des Landes 2 reduzieren will, um die Nachfrage nach einer reinen Umwelt in seinem Land zu erfüllen, sodass Land 1 eine Zahlungsbereitschaft zur Emissionsreduktion in Land 2 hat. Dann können die Nutzenfunktionen des Landes 1 und des Landes 2 wie folgt beschrieben werden:

$$U_1 = u(-x_1) + g_1 \quad \text{mit } u' > 0, u'' < 0, \quad (19a)$$

$$U_2 = u(x-x_1) + g_2 \quad \text{mit } u' > 0, u'' < 0. \quad (19b)$$

Diese Gleichungen zeigen, dass der Nutzen in Land 1 sich durch die Reduktion der Schadstoffe verbessert, und der Nutzen in Land 2 durch die Vergrößerung der nach dem Außenhandel verfügbaren Schadstoffemission von $x_2 = x - x_1$ ebenfalls. In diesen Glei-

¹⁴⁵ Vgl. Parkash Chander und Henry Tulkens (1992), theoretical foundations of negotiations and cost sharing in transfrontier Pollution problems, in: European Economic Review, Vol. 36, S. 389–390.

¹⁴⁶ Vgl. Richard Cornes und Todd Sandler (1986), The theory of externalities, public goods and club goods, Cambridge, S. 81. Vgl. D. C. Müller (1989), Public choice II : A revised edition of Public Choice, New York, S. 21.

¹⁴⁷ Vgl. Hans G. Monissen (1992), Rent-Seeking bei Cournot-Nash Verhalten: Graphische und numerische Illustrationen eines komplexen Phänomens, in: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, Vol. 209, S. 6.

chungen ist g_1 ein vor dem Handel der Emission gegebenes Realeinkommen x_1 in Land 1 und g_2 in Land 2. Der Wert der Schadstoffemission beträgt p_x . Wenn Land 1 eine bestimmte Präferenz an einer reinen Umwelt hat, dann reduziert Land 1 auf Kosten des Realeinkommens die Schadstoffemission um x_1 von der vorgegebenen Schadstoffmenge x . Wenn es Schadstoffemissionen einkauft, dann ist der Nutzen des Landes 1 unter der Nebenbedingung der Budgetrestriktion wie folgt:

$$\text{Max } U_1 = u(-x_1) + g_1 \quad \text{mit } u' > 0, u'' < 0, \quad (20a)$$

$$\text{N.B. } g_1 = p(x_1) + y_1 \quad y_1 = g_1 - p_x(x_1). \quad (20b)$$

Der Preis p in der Gleichung (20b) zeigt den international gehandelten Preis der Schadstoffemissionen. Nach dem Kauf der Schadstoffemission beträgt das Realeinkommen in Land 1 y_1 , weil die Emission mit dem Preis p_x gehandelt wird. Die Bedingung zur Nutzenmaximierung wird durch die folgende Lagrange-Funktion abgeleitet:

$$L = u(-x_1) + g_1 + \lambda[g_1 - p(x_1) - y]. \quad (21)$$

Das Differenzial dieser Funktion zeigt das Ergebnis im Aufsatz von Monissen, dass das folgende Tauschverhältnis zwischen der Schadstoffemission und dem privaten Gut, also dem Realeinkommen, erhalten wird, das von der Grenzrate von x abhängig ist:

$$p = u'(-x_1) \quad \text{mit } u'' < 0. \quad (22)$$

Diese Gleichung zeigt, dass der Grenznutzen der Emissionsreduktion der Preis für die optimale Schadstoffemission ist. Denn sie hat die Form einer quasilinearen Funktion und stellt die klaren und konstanten Prioritäten oder Präferenzen mathematisch dar.¹⁴⁸

2.4. Präferenzdeckung durch den marktwirtschaftlichen Lösungsansatz

Da der Weltpreis für die Schadstoffemission von dem Grenznutzen der Emissionsreduktion in Land 1 abhängt, gilt: je größer die Präferenz für eine gute Umwelt in Land 1, desto größer der Gewinn des Landes 2, der durch das Realeinkommen und den Tausch zwischen den Rechten auf Schadstoffemission und der Anfangsausstattung der Ressourcen in Bezug auf den Weltpreis entsteht.

¹⁴⁸ Vgl. John C. Harsanyi (1977), Rational behavior and bargaining equilibrium in games and social situations, London, S. 8.

Erstens muss geklärt werden, ob Land 1 seine Präferenz an der Emissionsreduktion genau aufdeckt. Wenn zwei relevante Spezifikationen der allgemeinen Nutzensfunktion (Quasilinearität und Abhängigkeit der Schadstoffemission von der Präferenz) berücksichtigt werden, dann wird die Präferenz aufgedeckt, weil unter der Quasilinearität der Preis für die optimale Schadstoffemission fixiert wird, und dieser Preis alle Informationen über die Präferenz der Beteiligten enthält.¹⁴⁹

Ein weiteres Problem ist das Reaktionsproblem. Oft behaupten Laien, dass die Emissionsreduktion der Schadstoffe im Rahmen der bisher diskutierten marktwirtschaftlichen Lösung fast unmöglich sei. Diese Behauptung versuchen sie durch teilweise egoistische Reaktionen von Staatsregierungen auf die Politik anderer Länder zu belegen. Wenn aber die weltweite Schadstoffmenge durch inländische Wirtschaftszustände entschieden und damit auf dem Markt frei gehandelt würde, dann könnte das optimale Gleichgewicht erreicht werden, in dem die globalen sozialen Grenzkosten und der inländischen Grenznutzen der Schadstoffemission identisch sind. In diesem Zustand entspricht das optimale Emissionsniveau der Summe der optimalen Emissionsmengen aller Länder. Aus den Gleichungen (20a) und (20b) können wir die Präferenzdeckung und die damit verbundene wirtschaftspolitische Reaktion betrachten. Bezeichnen wir jetzt r_i als die a priori vorgegebenen subjektiven Parameter für Präferenzen an der Schadstoffemission in einem Land i . Dann können wir die Nebenbedingung aus Gleichung (20b) wie folgt beschreiben:

$$g_1 = p_x(x_1(r_1, r_2)) + y_1, \text{ also} \quad y_1 = g_1 - p_x(x_1(r_1, r_2)). \quad (23)$$

Diese Gleichung zeigt, dass eine falsche Aufdeckung der Emissionpräferenz in einem Land einen Verlust auslöst, solange der Nutzen von dem internationalen Emissionspreis und dem inländischen Realeinkommen abhängt, und der Emissionspreis die Präferenzen des Landes und der anderen Länder reflektiert.

Bei der Berücksichtigung der Reaktion einer egoistischen Staatregierung kann die folgende Gleichung aus Gleichungen (19a) und (19b) erstellt werden:

¹⁴⁹ Vgl. R. Windisch, A. a. O., S. 123. Feldman behauptet, dass diese Information ignorierbar ist, und Windisch belegt diese Ignorierbarkeit der Informationskosten durch den Clarke-Pivot-Mechanismus. Vgl. A. Feldman, A. a. O., S. 127. Vgl. R. Windisch, Das Anreizproblem bei marktwirtschaftlicher Koordinierung der Nutzung knapper Umweltressourcen, in: Lothar Wegehenkel (Hrsg.), Marktwirtschaft und Umwelt, Tübingen, 1981, S. 125–127. Vgl. Kenneth J. Arrow (1963), A.a.O., S. 17.

$$x_1 = x_1(x_2), \quad (24a)$$

$$x_2 = x_2(x_1). \quad (24b)$$

Unter einem nicht-kooperativen Gleichgewicht des Nash-Typs versuchen die Länder nur ihren Nutzen zu maximieren. Dann entsteht das Cournot-Nash-Gleichgewicht in einem Schnittpunkt zwischen beiden Gleichungen (24a) und (24b), in dem $x_1 = x_2$ ist. In diesem Gleichgewicht sind die Emissionsmengen x_1 und x_2 mit der erstrebten inländischen Optimierung wechselseitig kompatibel, und kein Akteur hat einen Anreiz, sein Verhalten zu revidieren.¹⁵⁰ Dieses Gleichgewicht weist eine pareto-inferiore Allokation auf. Wenn diesem Gleichgewicht aber in einem Tausch-Prozess unter vollständiger Konkurrenz gefolgt wird, dann kann jedes Land ein optimales Gleichgewicht erzielen, welches sich in den Gleichungen (13a) und (13b) zeigt. Unter diesem Prozess können die jeweiligen Präferenzen für die Emissionsreduktion aufgedeckt werden, um einen international optimalen Emissionspreis festzusetzen, weil der Handel der Schadstoffemission unter diesem Preis den jeweiligen Nutzen verbessert.

3. Außenhandel der Emissionen

Seitdem das Problem der länderübergreifenden Umweltverschmutzung als ein Schwerpunktthema in der internationalen Wirtschaft berücksichtigt wird, wird es auch als eine Ursache der Verschlechterung des Umweltniveaus eines Landes betrachtet. Dieser oberflächliche Gesichtspunkt beschwört oft einen Protektionismus in den Industriestaaten herauf. Die modernen Protektionisten reklamieren den „fairen internationalen Handel“ und behaupten, dass die Unterschiede zwischen den Ländern bezüglich ihrer inländischen Institutionen und Politik vornehmlich harmonisiert werden sollten. Aus dieser Perspektive scheint die Beschleunigung der Industrialisierung, die man auf eine Steigerung der Produktion und des Konsums zurückführt, die Umwelt zu verschlechtern. Im Gegensatz zu dieser protektionistischen Sichtweise halten die meisten Ökonomen optimale Allokation der Umweltressourcen für die effiziente Umweltpolitik, die die Umweltprobleme in der Wirtschaft einschließt.¹⁵¹ Auch Bhagwati (1994) kritisiert diese Sichtweise scharf und beurteilt die Wichtigkeit der Diversifikation der inländischen Po-

¹⁵⁰ Siehe zur graphischen Darstellung und zur numerischen Lösung, Hans G. Monissen, A.a.O., S. 226.

¹⁵¹ Vgl. Eberhard Feess (1998), A.a.O., S. 1.

litik und Institutionen für die möglichen multilateralen Gewinne folgendermaßen:¹⁵²

„However, it (fair trade) is evident that the belief that harmonization of domestic policies and institutions is generally essential prior to free trade is based on the erroneous notion that, without such harmonization, trade will cease to be a mutual-gain phenomenon and will instead lead to predation. Economic analysis can readily confirm that this is a false notion, in general. Diversity of domestic policies, institutions and standards is generally compatible with gainful free trade.“

Unter der Voraussetzung, dass ein Land auf seiner Seite die inländisch optimale Steuer auf die Treibhausgase als Innenpolitik zur Umweltverbesserung erhebt,¹⁵³ sodass der Steuersatz beispielsweise für das anthropogenes Kohlendioxid in jedem Land unterschiedlich ist, können wir den Außenhandel der Schadstoffemissionen beschreiben. Falls die Geschädigten die Emissionsminderung kaufen wollen, kann die Beziehung zwischen Grenzscha-den und Grenzkosten der Emission in dem Verhältnis zwischen der Nachfrage nach Emissionsreduktion und dem Angebot betrachtet werden.¹⁵⁴ Dazu werden die reziproken Nachfragekurven der Beteiligten, die ein internationales Preisverhältnis entstehen lassen, und die Produktionssubstitutionskurve, die mit der Sozialindifferenzkurve zusammenhängt, betrachtet.¹⁵⁵

3.1. Graphische Darstellung des Emissionsaußenhandels

3.1.1. Internalisierung und Außenhandel globaler externer Effekte

Bei länderübergreifenden Umweltproblemen übt die Summe der Emissionen in allen Staaten einen Einfluss auf die Umweltverschmutzung der gesamten Welt aus. Aber nur die eigene Schadensbeurteilung spielt eine Rolle bei der Entscheidung über die Höhe

¹⁵² Jagdish Bhagwati (1994), Free Trade: Old and New Challenges, in: the Economic Journal, Vol. 104, S. 240.

¹⁵³ Vgl. Louis De Alessi (1998), Reflections on Coase, Cost, and Efficiency, in: James M. Buchanan und B. Monissen (Hrsg.), The Economists Vision: Essays in modern economic perspectives; for Hans G. Monissen on the occasion of his sixtieth birthday, Frankfurt/Main, S. 93

¹⁵⁴ Siehe zur Erklärung über die Beziehung zwischen Grenzrate der Substitute und Grenzrate der Transformation, Akira Takayama, International Trade, New York, S. 219.

¹⁵⁵ Siehe zur Erklärung über reziproke Nachfrage und Produktionssubstitutionskurve, John S. Chipman (1965), A survey of the theory of international trade; Part 2, The Neo-classical Theory, in: Econometrica, Vol. 33, S. 685 und 688.

der Schadstoffemissionen oder des Preisniveaus in einem Staat, da bei der länderübergreifenden Umweltverschmutzung die Größe des Schadens für jeden Staat und die Präferenz bei der Schadensreduktion unterschiedlich sind.

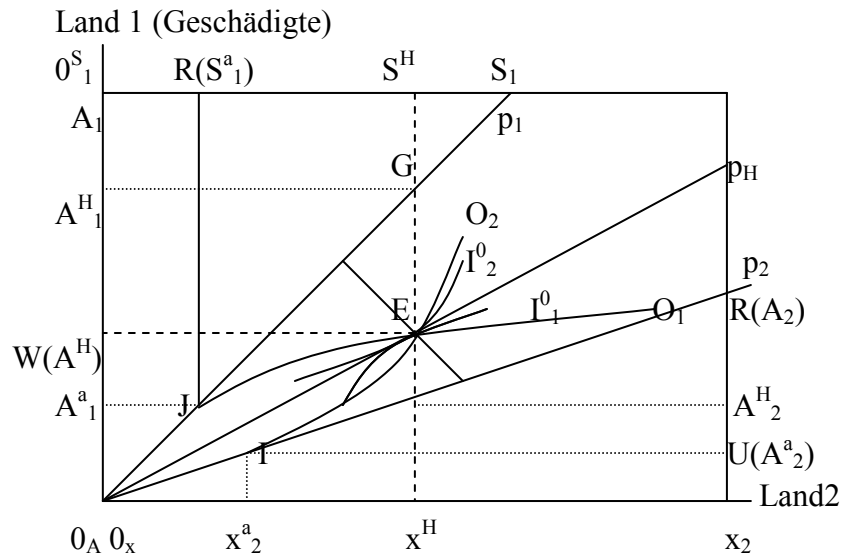
Aufgrund des Internalisierungsmodells von Meade (siehe Abbildung 2) kann ein Modell des internationalen Handels der Schadstoffemissionen zwischen den Geschädigten und Profitierenden formuliert werden, um weltweit ein optimales Niveau zu erzielen. Beispielsweise müssen bei der Regulierung der länderübergreifenden Umweltverschmutzung die wirtschaftlichen Interessen beider souveränen Länder betrachtet werden.¹⁵⁶

Unter der Annahme eines Autarkiezustandes und der Nichtbesteuerung von Schadstoffemissionen emittiert Land 2 die Kohlendioxidmenge x^a , und Land 1 leidet darunter, so wird sein Schaden als S^a bezeichnet. Beide Länder haben ihre eigenen reziproken Nachfragen. Die Grenzrate der Substitution des Landes 1 zwischen Emissionsminderung und Geld ist positiv und wird immer größer, dagegen ist die Grenzrate der Substitution des Landes 2 zwischen den Schaden und Geld zwar positiv, wird aber immer kleiner. Im Schnittpunkt beider reziproken Nachfragekurven (Abbildung 7) kann ein Gleichgewicht erreicht werden, wo der Grenzscha-den und die Grenzkosten der Emissionsreduktion bzw. die Grenzrate der Substitution und die der Transformation gleich sind.¹⁵⁷

Der Preis des Landes 2 dafür, die Emissionsmenge bis zum inländischen Optimum x^a_2 zu reduzieren, ist $x_2 A^a_2 / 0_x x^a_2$ (also = p_2), und der des Landes 1 für die Schadenreduktion S^a_1 ist $0_A A^a_1 / 0^S_1 S^a_1$ (= p_1). Die Reduktion der Emission für Land 2 bedeutet grundsätzlich eine Schadensreduktion für Land 1. Unter der Voraussetzung, dass eine Staatsregierung die Verpflichtung eingeht, die eigene Sozialwelfarefunktion zu maximieren, hat Land 1 eine Zahlungsbereitschaft von der Geldmenge $0_A A^H$ für eine zusätzliche Emissionsreduktion in Land 2. Dann entsteht das internationale Preisverhältnis $0_A A^H / 0_x x^H_2$ (= p_H). In diesem Gleichgewicht kann Land 1 mehr Schadensreduktion durch Laissez-faire-Außenhandel als durch eigene Umweltpolitik, und Land 2 einen höheren Preis für die Emissionsreduktion erzielen; $p_1 > p_H > p_2$.

¹⁵⁶ Vgl. William D. Nordhaus (2000), Global Public Goods, in: Wilhelm Krull (Hrsg.), Debates on Issues of Our Common Future, Göttingen, S. 143. Nordhaus kommt zu folgender Feststellung: „They (Germany and United States) have developed good mechanisms for dealing with economic and most environmental problems, either through market mechanisms or through collective national decisions. But there is no similar market mechanism for dealing effectively with what are known as global public goods.“ Ebd. S. 143.

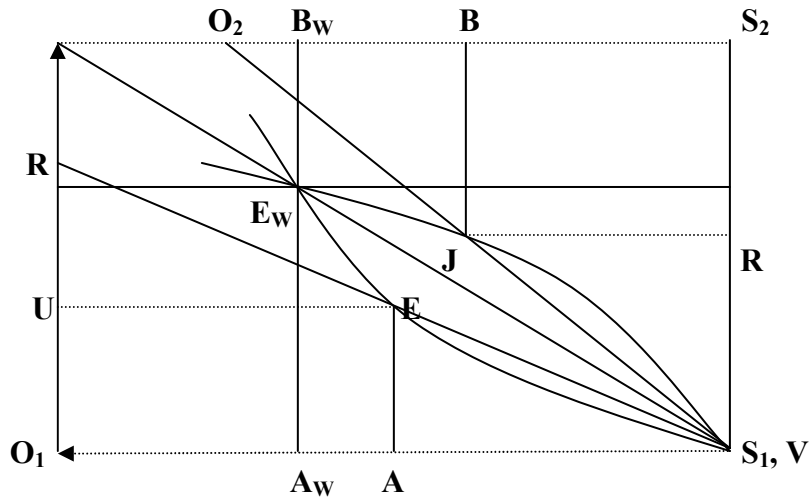
¹⁵⁷ Vgl. Paul A. Samuelson (1954), A.a.O., S. 387. Samuelson hat gezeigt, dass der optimalen Allokation des externen Effektes die folgende „Samuelson-Bedingung“ zugrunde liegt: $(MRS_{x,q12})_1 + (MRS_{x,q22})_2 = MRT_{x,q2^*}$.



<Abb. 7> Internalisierung internationaler externer Effekte

Zur Verallgemeinerung nehmen wir an, dass nun beide Länder Schadstoffe emittieren. Dann verursacht die Schadstoffemission des Landes 1 im Inland den Schaden O_1S_1 und in Land 2 den Schaden O_2S_2 (siehe Abbildung 8). Jedes Land kann auf der Basis des Zustandes seiner Wirtschaft und Umwelt die Höhe des Steuersatzes für die Schadstoffemission (z.B. den Preis der CO_2 -Emission) festsetzen. Sollte ein Land von der Schadstoffemission profitieren, und ein anderes geschädigt werden, so können sie untereinander ihre Emissionsmenge aushandeln, weil der Emissionspreis bei einem Profitierenden niedriger als der bei einem Geschädigten ist. Nach der Theorie des komparativen Handelsvorteils können die Länder, die dadurch nur profitieren, auch untereinander handeln, wenn ihre Emissionspreise unterschiedlich sind. Indem der geschädigte Staat die Emissionsmenge des Profitierenden einkauft, kann er die Kosten der Emissionsreduktion verkleinern, und die Emissionsreduktion des profitierenden Staates kann dadurch zumindest kompensiert werden, sodass ein Gleichgewicht zwischen Geschädigtem und Profitierendem erreicht werden kann. Die folgende Abbildung 8 zeigt, dass die Gesamtmenge der Schadstoffemission der Welt ohne politische Regulation die Summe der inländischen Schaden $O_1S_1 + O_2S_2$ ist.

Nach dem Modell von Meade ist das Gleichgewicht in Staat 1 E, wo der inländisch optimale Umweltsteuersatz EA und die inländisch optimale Reduktion der Emissionsmenge AS_1 ist, und dagegen das in einem anderen Staat 2 J, wo die Grenzkosten VR zur Reduktion des Schaden JR sind.



<Abb. 8> Außenhandel der Umweltpolitik

Dann ist der inländische relative Preis des Staates 2 VR/JR für die Emissionsreduktion teurer als der internationale Preis $E_W A_W / V A_W$, und der inländische relative Preis des Staates 1 EA/AS_1 niedriger als der internationale Preis $E_W A_W / V A_W$. Daraus folgt $VR/JR > E_W A_W / V A_W > EA/AS_1$. Falls nur Innenpolitik betrieben wird, beträgt die Gesamtreduktionsmenge der Schäden $AS_1 + BS_2$. Aber Land 2 kann durch den internationalen Handel der Emissionsreduktion mit Land 1 den Schaden stärker und effizienter reduzieren, als durch autarke Strategien.

Egal ob dieses oben beschriebene Problem mit Hilfe einer zentralisierten internationalen Organisation gelöst werden soll oder durch bilaterale Verhandlungen, auf alle Fälle muss ein Konsens bestehen sowie ausreichende Kenntnisse über das hier entwickelte marktwirtschaftliche Außenhandelsmodell.¹⁵⁸

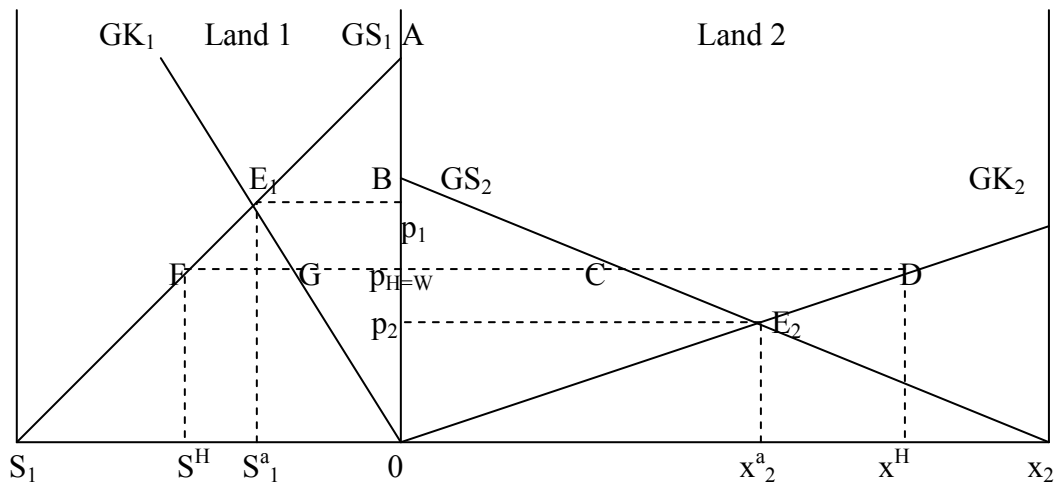
3.1.2. Effekte des Außenhandels der Externalität

Der Handelsgewinn in beiden Ländern ist in der folgenden Abbildung 9 illustriert. Die Steigungen des Grenzschadens GS und der Grenzkosten GK in Land 1 sind steiler als

¹⁵⁸ Vgl. Roland Vaubel (1991), A Public Choice View of International Organization, in: Roland Vaubel und Thomas D. Willett (Hrsg.), The Political Economy of International Organizations: A Public Choice Approach, Oxford, S. 30.

die in Land 2. Daher sind die Effekte der Emissionsminderung in Land 1 sehr groß und in Land 2 eher klein.

Wie in der Abbildung 7 gesehen, ist der Preis in Land 1 also hoch und in Land 2 niedrig. Daraus kann man die Abbildung 9 skizzieren, in der die Ermittlung der inländischen Preise dargestellt wird.



<Abb. 9> Gewinne aus dem Handel von Schadstoffemissionen

Land 1 kann den Schaden noch um FG durch den Preis $p_{H=W}$ reduzieren, sodass der Handelsgewinn sich im Vergleich zum Gewinn, der vor dem Betreiben des Außenhandels erzielt wurde, von AE_10 auf AE_1FG0 um E_1FG vergrößert. Dabei reduziert Land 2 mehr Schadstoffemission mit einem erhöhten Preis, sodass der Handelsgewinn sich von BE_20 auf $BCD0$ um CDE_2 steigert. Diese Abbildung zeigt außerdem, dass man den Effekt der Preissenkung in Land 1 auf die inländische Schadstoffemission und den Effekt der Preiserhöhung in Land 2 auf den Schaden in demselben Land nicht berücksichtigen muss, da der Schaden in Land 1 nicht nur aus der inländischen Schadstoffemission entsteht, und der Außenhandel eine Schadensreduktion in Land 2 verursacht. Das nach dieser Art illustrierte Gleichgewicht ist nicht nur ein pareto-optimales, sondern auch ein Kerngleichgewicht.

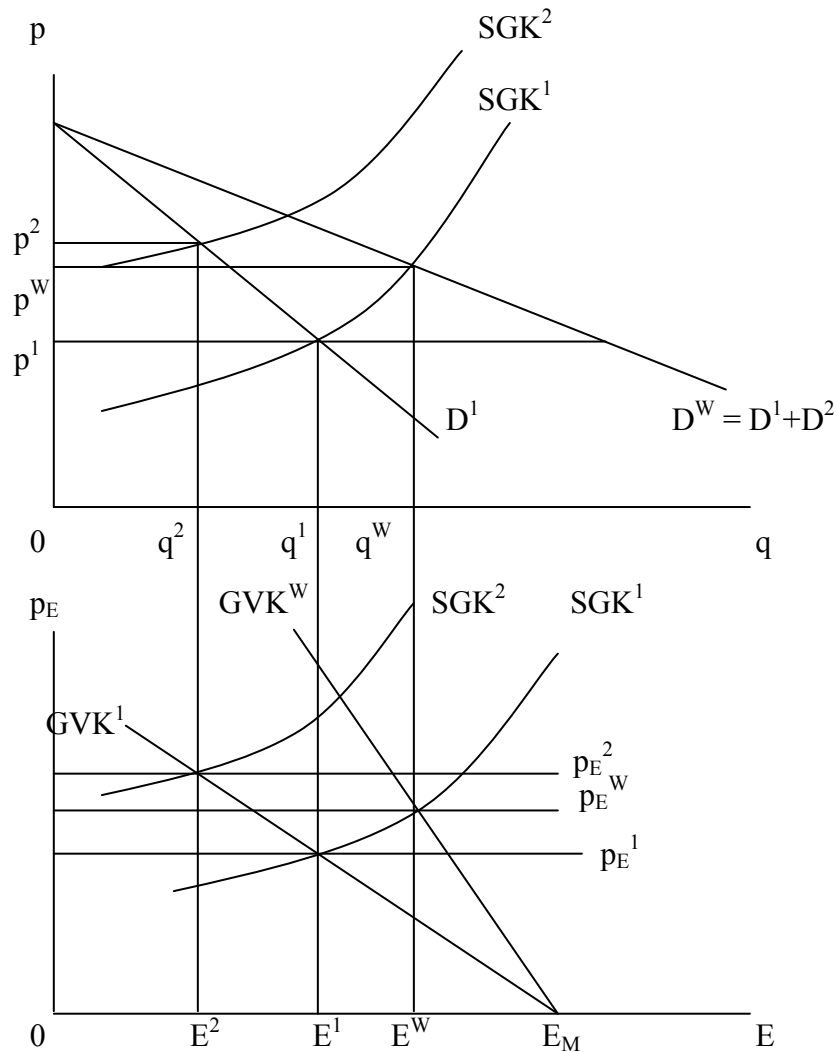
Bei der internationalen Kooperation zur Emissionsreduktion entsteht ein Gefangenendilemma, aber im internationalen Handel ist die Möglichkeit der Entstehung dieses Di-

lemmas nicht gegeben.¹⁵⁹ Solange das in Abbildung 9 beschriebene Gleichgewicht kein kooperatives Nash-Gleichgewicht, sondern eine marktwirtschaftliche Lösung ist, ist es ein Kerngleichgewicht. Unter der Annahme einer nutzenmaximierenden Regierung versucht jedes Land, die Schadstoffemission bis zum inländisch optimalen Niveau zu reduzieren. Daher können wir voraussetzen, dass es schon ein individuelles Gleichgewicht, bestehend aus einer vernünftigen Umweltpolitik, in jedem Land vor dem Betreiben des Außenhandels gibt. Wie gesehen, versucht ein Land, das einen relativ hohen Anspruch an einer sauberen Umwelt hat, die Schadstoffemission eines anderen Landes, in dem der Preis für die Emissionsreduktion niedrig ist, zu kontrollieren (bzw. einzukaufen). Gegenüber diesem hat aber ein Partnerland auch einen Anspruch an ausreichender Kompensation für seine Emissionsreduktion. Wenn diese Ansprüche beider Länder für einen Handel geeignet sind, dann haben die beteiligten Länder keinen Anreiz zur Abweichung von einem Außenhandel ihrer Schadstoffemissionen.

Abbildung 10 zeigt, dass die sozialen Grenzkosten in Land 2 höher als die in Land 1 sind. Der Grund dafür liegt in der Emissionskapazität. Dass die sozialen Grenzkosten als SGK_2 in Land 2 höher als die sozialen Grenzvermeidungskosten in Land 1 sind, bedeutet, dass die Emissionskapazität in Land 2 kleiner als die in Land 1 ist, sodass Land 2 einen komparativen Nachteil für das Gut 1 hat, oder die Emissionssteuer in diesem Land höher als die in Land 1 ist. Dann ist in Land 2 der Preis des Gutes 1 p^2 , und die Produktmenge q^2 . In Bezug auf die Grenzvermeidungskosten wird die Emissionsmenge in Land 2 im Gleichgewicht mit E^2 und p_E^2 entschieden. Anders als in Land 2 hat Land 1 eine größere Emissionskapazität. Dann ist in diesem Land der Preis des Gutes 1 p^1 , und die Produktmenge q^1 .

Daraus entscheiden sich der Emissionspreis und die Emissionsmenge in einer Konstellation von (p_E^1, E^1) . Durch die Öffnung des Außenhandels vergrößert sich die Nachfrage nach dem Gut 1 von D^1 auf D^W , wodurch sich der Güterpreis von p^1 auf p^W erhöht.

¹⁵⁹ Im Kerngleichgewicht gibt es keine Möglichkeit für die Abweichung von Transaktionen. Siehe zur Unterscheidung zwischen dem pareto-optimalen Gleichgewicht und dem Kerngleichgewicht, P. S. Dasgupta und G. M. Heal (1979), *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge, S. 15.



<Abb. 10> Treffsicherheit bei der Öffnung des Außenhandels

Land 1 wird je nach Nachfragevergrößerung die Produktion steigern. Diese Änderung der Produktion lässt Land 1 mehr Schadstoffe emittieren. Durch die Öffnung des Außenhandels wird die Grenzvermeidungskostenfunktion von GVK^1 auf GVK^W verdoppelt, unter der Annahme, dass die Nachfrage in beiden Regionen gleich ist.

Dabei bewerten die Firmen in diesem Land die Emission mit einem höheren Preis. In dieser Abbildung zeigt E_M die maximal emittierbare Emissionsmenge. Dann wird ein neues Gleichgewicht mit dem Preis p_E^W und der Emissionsmenge E^W bestimmt. Anhand des absoluten komparativen Vorteils können wir annehmen, dass Land 2 nach erfolgtem Außenhandel auf die Produktion des Gutes 1 verzichtet, sodass auch kein Schadstoff mehr in Land 2 emittiert wird. Also kann in Abbildung 10 die Emission um $0E^2$ reduziert werden. Durch den Vergleich zwischen der Emissionserhöhung in Land 1 und der

Emissionsreduktion in Land 2 resultiert, dass die Emission in der Welt sich reduziert, solange die Emissionsreduktion in Land 2 größer als die Emissionserhöhung in Land 1 ist.

Der theoretische Grund für diese Ausgleichung der Emissionspreise in beiden Ländern liegt in dem **Theorem von der Ausgleichung der Faktorenpreise**, das als das zweite Theorem von Heckscher-Ohlin bekannt ist. Im Rahmen dieses Theorems kann man weiter argumentieren, dass die Umweltsteuer jedes Landes (der Umweltstandard jedes Landes) weltweit ausgeglichen wird, obgleich keine standardisierte Umweltsteuer für die optimale Emissionsverminderung der Welt festgelegt wird.

3.2. Dezentralisierung der Umweltpolitiken im Außenhandelsmarkt

Obwohl wir den Vorteil für den Außenhandel von Emissionen wirtschaftlich schon bewiesen haben, sollte dennoch die gesellschaftliche Rechtfertigung des Emissionshandels besprochen werden. In der ricardianischen außenwirtschaftlichen Welt ist nicht nur ein Verursacherland verantwortlich für länderübergreifende Umweltprobleme, sondern auch das Opferland, weil beide Länder durch Tausch der Güter, deren Produktion Schadstoffemissionen verursachen, einen Gewinn erzielen wollen. Also gibt es kein ökonomisches Verursacherprinzip in der Außenhandelsbeziehung. Daher kann das Effizienzprinzip als das einzige ökonomische Prinzip zur Internalisierung externer Effekte angesehen werden.¹⁶⁰

Bei Anwendung der marktwirtschaftlichen Methode kann das Problem der Zentralisierung gelöst werden, von dem in Bezug auf eine effiziente Durchsetzung internationaler Umweltpolitik immer wieder gesprochen wird. Wenn die Umweltsteuer oder das Emissionsrecht entsprechend der Emissionsmenge ohne Berücksichtigung der komplexen Wirtschaft- und Umweltzustände jedes Landes auf die beteiligten Länder verteilt wird, kann diese Steuer oder dieses Recht unterschiedlich für jedes Land ausfallen. In dieser Situation ergibt sich die Möglichkeit des Moral-Hazards, indem jedes Land die falsche Information über seine Präferenz für die Emissionsreduktion anzeigt.¹⁶¹ Um dieses Problem zu vermeiden, muss die marktwirtschaftliche Lösung, bei der sich die Politiken

¹⁶⁰ Vgl. Eberhard Feess (1998), Umweltökonomie und Umweltpolitik, 2. Aufl., München, S. 173–174.

¹⁶¹ Vgl. Karl-Göran Mäler (1991), Incentives in International Environmental Problems, in: Horst Siebert (Hrsg.), Environmental Scarcity: The International Dimension, Tübingen, S. 81.

der Regierungen vollkommen miteinander konkurrieren, bevorzugt werden. Nach dem Ansatz von Manfred Kemper (1993) lassen sich Mechanismen auf freiwilliger Basis bei der Verfolgung der Internalisierung finden: „Wann immer es möglich erscheint, sind in Gesellschaftsordnungen wie der unseren Mechanismen zur Lösung des Problems, die auf der freien Entscheidung von Individuen beruhen, dem staatlichen Eingreifen vorzuziehen.“¹⁶²

Aus diesen Gründen ist eine Umweltpolitik basierend auf dem Nutzerprinzip, das auf Kosten-Nutzen-Analyse beruht, zu verfolgen. Die Grundidee dafür besteht darin, dass ein politischer Entscheidungsträger beispielsweise die optimale Umweltpolitik in Bezug auf die optimalen Schadstoffmengen seines Landes bzw. innerhalb seiner Emissionskapazität festlegt und die Verantwortung für die Emissionsreduktion den Emissionsnutzern zuteilt, wodurch freier Handel auf dem Markt zugelassen wird, weil das Ziel der Umweltpolitik sein muss, den Verlust der Ressourcen durch die Privatisierung des Umweltverbrauchs zu minimieren.¹⁶³

In Bezug auf die ökologische Treffsicherheit¹⁶⁴ muss nicht nur von einer gezielten Reduktion der Schadstoffemission gesprochen werden, sondern auch die instrumentenspezifischen Voraussetzungen müssen deutlich werden, die den Informationsstand und die Entscheidungsflexibilität der Teilnehmer betreffen. Die Treffsicherheit einer zentralisierten Umweltpolitik für die Lösung eines länderübergreifenden Umweltproblems ist wegen der Aufdeckungsschwierigkeiten der Präferenzen der beteiligten Länder nicht erreichbar und wegen der Varianzlosigkeit der zentral entschieden inländischen Aufgaben für die Länder inakzeptabel.

3.3. Die regionale Umweltpolitik und die globale Umweltpolitik

Der Bericht von „President’s Council of Economic Advisers“ besagte, dass viele Umweltverschmutzungen, aber nicht alle, typisch lokal seien, und daher die Entscheidung des optimalen Umweltniveaus in diesem Fall wahrscheinlich effizienter sei, wenn sie

¹⁶² M. Kemper (1993), A.a.O., S. 17.

¹⁶³ Vgl. Alfred. Endres (1994), Umweltökonomie: Eine Einführung, Darmstadt, S. 103–106.

¹⁶⁴ Unter der ökologischen Treffsicherheit wird die Fähigkeit eines Instruments verstanden, die Einhaltung einer gewünschten Umweltqualität zu ermöglichen. Siehe dazu Eberhard Feess, A.a.O., S. 50.

nicht zentral sondern lokal getroffen würde, und beinhaltet außerdem, welche Form der Politik am effizientesten Informationen über Emissionskosten und Emissionsgewinne bieten kann. Bei dem Kommentar zu diesem Bericht ist Jerome Stein (1971) mit der Behauptung, dass die lokale Preisentscheidung uneffizient sein kann, auf einen Irrweg geraten. Er sagt, dass die Festlegung der Emissionsmenge durch eine regionale Regierung zu unterschiedlichen Mengen führt, sodass die daraus folgenden unterschiedlichen Preise für die gleiche Umweltverschmutzung die Produktions- und Konsumkonditionen für ein Pareto-Optimum verletzt, und deswegen die Preise (oder die Entscheidung über die Emissionsmenge, die in einer gegebenen Region erlaubt ist) durch eine föderative Regierung bestimmt werden sollte.¹⁶⁵ Diesem kann grundsätzlich zugestimmt werden, aber seine Analyse ignoriert den wesentlichen räumlichen Aspektunterschied der gleichen Umweltverschmutzung und versäumt den Unterschied zwischen dem Wunsch eines Preissetzers zur Vermeidung der Umweltverschmutzung und der Wunscherfüllbarkeit eines Preises.

Seine Analyse vernachlässigt auch, den relevanten kurzfristigen Zeitlauf vom langfristigen zu unterscheiden. Peltzman und Tideman (1972) behaupten, dass föderativ einheitliche Emissionsmengen nur in einem langfristigen Zeitlauf optimal sein können und besonders in einem kurzfristigen Zeitlauf nicht optimal sind, und weiter, dass eine langfristig effiziente Emissionsmenge unter regionaler Kontrolle sicher besser erreicht werden kann als unter globaler Kontrolle.¹⁶⁶

Der Irrtum von Stein entsteht bei der Beschreibung der Reduktionsmenge der emittierten Schadstoffe in Dollar. Sie soll im Zusammenhang mit meteorologischen und hydrologischen Konditionen und der Präferenzen der Mitglieder in einer Region beschrieben werden. Deswegen soll der Schaden aufgrund der Situation in jeder Region, beispielsweise der Produktion, des Konsums oder der Umweltkondition bzw. aufgrund der Lokalität bewertet werden.¹⁶⁷ Den Wert einer Einheit von Schaden als einen Dollar anzunehmen, verlangt unterschiedliche Steuerraten für die Reduktionsmenge, die von den Eigenschaften jeder Region abhängt.

Nach dem Argument von Nordhaus und Boyer (2000) kann die Welt in verschiedene Regionen eingeteilt werden, die durch gemeinsame politische und wirtschaftliche Ziele

¹⁶⁵ Vgl. Jerome L. Stein (1971), The 1971 Report of the President's Council of Economic advisers: Micro-Economic Aspects of Public Policy, in: American Economic Review, Vol. 61, S. 532.

¹⁶⁶ Vgl. Sam Peltzman und Nicolaus Tideman (1973), Local versus National Pollution Control: Note, in: American Economic Review, Vol. 62, S. 959.

¹⁶⁷ Vgl. Allen V. Kneese (1972), Pollution and Pricing, in: American Economic Review, Vol. 62, S. 958.

verbunden sind. Bei der Behandlung eines länderübergreifenden Umweltproblems muss auf die folgenden Fragen geantwortet werden:¹⁶⁸ Sollen die Umweltstandards durch regionale Regierungen innerhalb ihrer Grenzen bestimmt werden oder durch eine zentrale Umweltbehörde für alle Regionen? Bevor wir darauf antworten, sollten wir zuerst die Frage stellen, wie eine Region richtige Umweltpolitik betreiben kann. Es ist zu rechtfertigen, dass die regionalen Regierungen zu ihrer Gewinnmaximierung ihre eigenen Umweltstandards festlegen.¹⁶⁹

Um auf die Frage nach der Bestimmung des Umweltstandards zu antworten, werden wir verschiedene Situationen simulieren. Wenn wir zuvor Abbildung 11 betrachten, können wir die jeweiligen Effizienzen einer zentralen und einer dezentralen Politik veranschaulichen. Durch die Simulationen können wir die Effizienz beider Politikvarianten vergleichen. GVK_1 und GS_1 in Abbildung 11 zeigen jeweils die Grenzvermeidungskosten und den Grenzscha den der Schadstoffemission in der Region 1, und GVK_2 und GS_2 die Grenzvermeidungskosten und den Grenzscha den der Schadstoffemission in Region 2. E_n in dieser Abbildung bedeutet die Durchschnittsemissionsmenge, während E_1 und E_2 die jeweilige optimale Schadstoffemissionsmenge bedeuten.

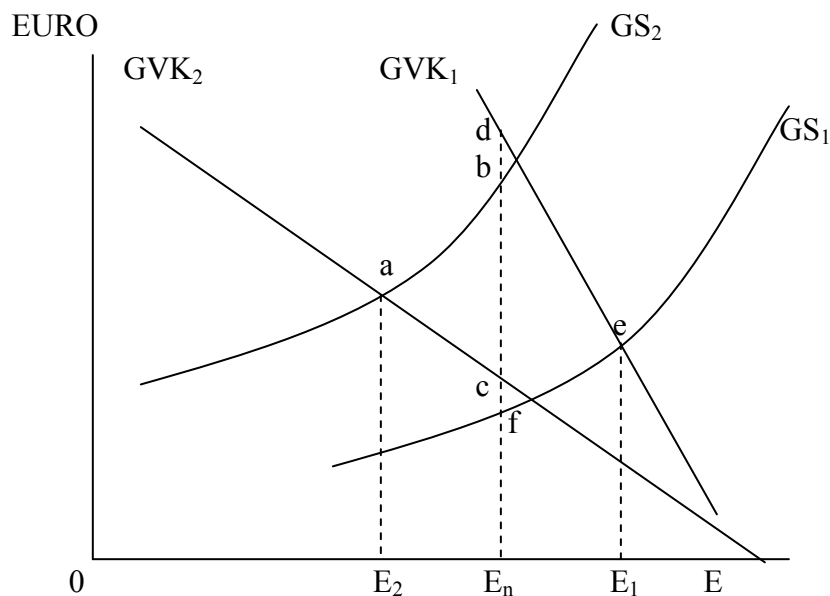
In diesem Fall ist die optimale Emission jeweils E_1 und E_2 . Diese verschiedenen Emissionsmengen könnte die Region 2 als ungerecht ansehen, weil sie ihre Schadstoffemission durch einen höheren Preis als die Region 1 reduzieren. Aber obwohl der Grenzscha den bei der gegebenen Emissionsmenge in der Region 2 größer ist, ist die Schadstoffemission in der Region 1 höher, solange die Grenzvermeidungskosten hier größer als die in der Region 2 sind.

Jetzt betrachten wir einen einheitlichen Umweltstandard bzw. eine Durchschnittsemissionsmenge E_n . Eine globale zentrale Umweltbehörde wird versuchen eine weltweit optimale Emissionsmenge vorzugeben.¹⁷⁰ Im Vergleich zwischen den für beide Regionen eigenen Umweltstandards erleidet Region 1 durch zentrale Umweltpolitik einen Nutzenverlust von fde , und die Region 2 einen von abc . Region 1 erleidet einen Gewinnverlust von $E_n de E_1$ durch die Emissionsreduktion und erhält dafür eine Schadensreduktion von $E_n fe E_1$ als Kompensation der Emissionsreduktion.

¹⁶⁸ Vgl. Dietmar Wellisch (1992), Dezentrale Umweltpolitik, Mobilität von Kapital, Haushalten und Firmen und grenzüberschreitende Schäden, in: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht, S. 433–458.

¹⁶⁹ Vgl. S. Peltzman und T. N. Tideman (1972), A.a.O., S. 959–963.

¹⁷⁰ Die Grenzvermeidungskosten und der Grenzscha den für die Emissionsreduktion durch zentrale Umweltpolitik können aus dem Gesamtnutzen und dem Gesamtscha den aller Regionen berechnet werden. Dann können wir ein global optimales Gleichgewicht im Schnittpunkt zwischen den hier erwähnten Grenzvermeidungskosten und Grenzscha den erhalten. Daraus wird global optimale Emissionsmenge bestimmt.



<Abb. 11> Grenzvermeidungskosten und Grenzscha-den in beiden Regionen

Quelle: Peltzman und Tideman, Local versus National Pollution control: Note, in: The American Economic Review, S. 960.

Da die Region 1 die Emission ausweiten kann, scheint die zentrale Steuerentscheidung für sie günstig zu sein, aber in Wirklichkeit erleidet sie wegen des hohen Grenzscha-dens auch Verluste. Die Firmen in dieser Region können mehr Gewinn erzielen, aber diese Region selbst leidet unter den erhöhten Schaden.

Weil der Effekt der Umweltpolitik von dem Grenzscha-den und den Grenzvermeidungskosten abhängt, müssen zusätzlich noch einige Elemente zur Analyse der Effekte der Umweltpolitik betrachtet werden: die Bevölkerungszahl, die Präferenzen und die Umweltkonditionen, von denen wiederum die Industriestruktur in einer Region abhängt. Die Analyse dieser Arbeit über die verschiedenen umweltpolitischen Strategien versucht diese Elemente in einer Simulation umzusetzen.

D. Naturwissenschaftliche Überlegung über die globale Erwärmung als länderübergreifendes Umweltproblem

1. Naturwirtschaftliche Analyse der globalen Erwärmung

Seit dem Interview mit Stephen Schneider, das zu Anfang dieser Arbeit schon Erwähnung fand, ist die naturwissenschaftliche und empirische Analyse des Treibhauseffektes ein wichtiges Thema geworden. Obwohl die Klimakatastrophe, die von Umweltschützern oder Umweltpolitikern als das Nebenprodukt der Industrialisierung angesehen wird, noch nicht eingetreten ist, haben wir zurzeit große Angst vor der Bedrohung einer übermäßigen Erwärmung. Der Grund solch einer Angst entsteht aus den fehlenden Methoden, die Kausalität der globalen Erwärmung zu beweisen. Deswegen wurden zu Anfang der Diskussion oft nur rein rhetorische Argumente ins Feld geführt. Aber durch die Verwendung reiner Rhetorik besteht die Gefahr, dass die Realität verdunkelt wird.¹⁷¹ In dieser Problemstellung ist es notwendig, zwischen Rhetorik und Realität zu differenzieren. Zur Lösung dieses Problems müssen Antwort darauf gefunden werden, 1. ob die globale Erwärmung eine echte Bedrohung für die Menschheit ist, 2. falls ja, wie wir dieses Problem lösen können, und 3. was dieses Problem verursacht. Diese Fragen können nicht separat betrachtet werden.

Mit Hilfe von Drohszenarien seitens einiger Politiker wird von den Interessenvertreter zwar versucht, eine weltweite Zusammenarbeit wie dem Kyoto-Protokoll zu erzwingen, doch kann niemand wissen, ob diese Zusammenarbeit wirklich zum Umweltschutz beitragen kann, gerade dann, wenn alle wissen, dass diese im Moment zu teuer ist. Damit wird lediglich das Einkommen der Welt neu verteilt, und zwar schlechter als zuvor. Durch derartige Drohszenarien und die dadurch hervorgerufenen realitätsfernen Vorstellungsassoziationen¹⁷² transformiert sich die unsichere naturwissenschaftliche in die un-

¹⁷¹ Vgl. Bjorn Lomborg (2001), *The skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World*, Cambridge, S. 27.

¹⁷² Siehe zur Begriffserklärung der Vorstellungsassoziation: David Hume (1907), *Eine Untersuchung über den menschlichen Verstand*, (Hrsg.) Raoul. Richter, Leipzig, S. 17.

sichere soziologische und wirtschaftswissenschaftliche Diskussion über die soziale und wirtschaftliche Wirkung der globalen Erwärmung.¹⁷³

Damit wir die globale Erwärmung möglichst realistisch verstehen, fassen wir in diesem Kapitel zunächst die naturwissenschaftlichen Forschungsergebnisse zusammen. Diese Überlegung basiert darauf, dass das Problem der globalen Erwärmung nicht nur ein soziologisches und moralisches, sondern eher ein klimatologisches und geophysikalisches Problem ist. Daher ist es bei der wirtschaftlichen Behandlung der globalen Erwärmung notwendig, die naturwissenschaftliche Kausalität dieser Erwärmung genau zu erklären, und dazu muss versucht werden, die aus den unterschiedlichen Ansichten über die Kausalität folgenden Ergebnisse der Politik zu prüfen. Je gefährlicher die vermuteten Endergebnisse der globalen Erwärmung für die Menschen sind, desto notwendiger ist die naturwissenschaftliche Genauigkeit des Vorhersagens über die Entwicklung der Erwärmung und die eventuellen Effekte einer bestimmten Vermeidungspolitik.

Die Naturwissenschaften geben uns ein eindeutiges Ergebnis. Die globale Erwärmung ist zwar ein länderübergreifendes Problem, aber die Ausmaße des Schadens sind, sowie auch die regionalen Temperaturanstiege verschieden sind, für jede Region unterschiedlich.

1.1. Hintergrund der globalen Erwärmung

Eigentlich wird mit dem Treibhauseffekt die Wirkung der atmosphärischen Gase gemeint, die das übermäßige Abstrahlen von Infrarotstrahlung auf die Erdatmosphäre verhindert. Durch diese natürliche Wirkung kann die Welt wie ein Treibhaus in einem bestimmten Temperaturbereich verbleiben. Skeptische Umweltschützer behaupten, dass diese durchschnittliche Temperatur der Atmosphäre sich wegen der anthropogenen Treibhausgase nachhaltig erhöht. Aber dieser Behauptung widersprach Michaels (1992), indem er darauf hinwies, dass bezüglich dieses nachhaltigen Treibhauseffekts eine wis-

¹⁷³ Vgl. William D. Nordhaus (1991), To slow or not to slow: The Economics of The Greenhouse Effect, in: The Economic Journal, Vol. 101, S. 930.

senschaftliche Übereinstimmung noch nicht erzielt wurde.¹⁷⁴ Das Erwärmungspotential von Kohlendioxid ist verglichen mit anderen Treibhausgasen (CH₄, N₂O, CFCs und CO₂) am größten.¹⁷⁵

Bei der Betrachtung der Effekte der Treibhausgase auf die globale Erwärmung wird die Verdopplung der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration im Vergleich mit der Vorindustriezeit oft als ein entscheidender Maßstab angewandt.

<Tabelle 2> Verschiedene Modelle der CO₂-Konzentrationsverdopplung¹⁷⁶

Modell		Inhalt	Ergebnis
Punkt-Erde		Die Erde wird als Punkt angesehen.	+ 3.6°C
Linien-Erde		Hier gibt es eine Linie zwischen Erde und Atmosphäre.	+ 4°C
GCMs*: Flächen- Erde	Land- Atmosphäre	Hier teilt man die Erde in 500 km ² große Segmente.	Von +1.9° bis + 5.2°
	LAO: Land- Atmosphäre- Ozean	Als weiterentwickeltes Land- Atmosphäre-Modell schließt dieses Modell den Ozean mit ein.	

* GCMs: General Circulatory Models.

Diese Tabelle zeigt, wie die Analyse über die globale Erwärmung entwickelt wurde. In der Anfangszeit der Forschung wurde die Erde als Punkt angesehen, wodurch nur die durchschnittliche Temperaturerhöhung der Welt ermittelt werden konnte. Im Linien-Erde-Modell wurden die Temperaturzonen der Atmosphäre durch eine virtuelle Linie unterteilt, und die Wechselwirkung zwischen den Temperaturen in den verschiedenen Sektoren betrachtet. Im Linien-Erde-Modell wurden die Temperaturzonen der Atmosphäre durch eine virtuelle Linie unterteilt, und die Wechselwirkung zwischen den Temperaturen in den verschiedenen Sektoren betrachtet. Die jüngste Forschung behauptet, dass die Temperaturen nicht nur horizontal wechselseitig wirken, sondern auch vertikal. Dazu ist das Flächen-Erde-Modell weiterentwickelt worden, in dem die Beziehung zwischen der Atmosphäre und dem Ozean mitberücksichtigt wird, weil die Trans-

¹⁷⁴ Vgl. Patrick J. Michaels (1992), *Sound and Fury*, in: *The Science and Politics of Global Warming*, Washington, DC: Cato Institute, S. 9.

¹⁷⁵ (CH₄: 20%, N₂O: 6%, CFCs: 14% und CO₂: 48% ...) Vgl. Bjorn Lomborg, A.a.O., S. 259, Roger Bate, Julian Morris und Wilfred Beckerman, A.a.O., S. 12, und Patrick J. Michaels, A.a.O., S. 13.

¹⁷⁶ Vgl. Roger Bate, Julian Morris und Wilfred Beckerman, A.a.O., S. 15–19.

formation der Luft zwischen Land und Ozean eine Veränderung der Temperatur verursacht.

Trotz seiner Weiterentwicklung unterliegt das LAO-Modell der Kritik, dass es immer noch extrem primitiv ist. Aber es stärkt uns in der Überzeugung, dass die regionale Sicht der globalen Erwärmung naturwissenschaftlich die richtige ist. Die topologischen Unterschiede jeder Region können in dieses Modell aufgenommen werden. Und da die Auswirkungen der Klimaveränderung in jeder Region anders sind, muss auch die jeweilige Umweltpolitik anders gestaltet werden.

1.2. Dynamische Klimaänderung: Vergangenheit und Zukunft

Die Wirkung der anthropogenen Schadstoffemission auf die globale Erwärmung darf nicht nur statisch betrachtet werden, sondern auch dynamisch. Der Grund dafür liegt darin, dass sich der negative Einfluss der anthropogenen Schadstoffemission auf lange Zeit auswirkt, da diese Schadstoffe langlebig sind. Daher ist es interessant, die Beziehung zwischen der atmosphärischen CO₂-Konzentration und der anthropogenen CO₂-Emission historisch zu betrachten.

1.2.1. Geschichte der Klimaveränderung

Die Forschungsergebnisse von Marland, Boden, Andrea, Brenkert und Johnston (1991) zeigen eine Steigerung der globalen CO₂-Konzentration von 280 ppmv (parts per million volume) auf 370 ppmv, während die globalen Kohlendioxidemissionen sich von fast null auf 5,5 Billionen Tonnen pro Jahr steigerten.¹⁷⁷ Nach den Ergebnissen von Mann (1999) gab es auf der Erde vom 15. bis zum 20. Jahrhundert zwei kleine Eiszeiten, welche aber kaum Auswirkungen auf das Klima hatten.¹⁷⁸

¹⁷⁷ Vgl. William F. Ruddiman, *Earth's Climate: Past and Future*, New York, 2001, S. 396. Vgl. Bjorn Lomborg, A.a.O., S. 260.

¹⁷⁸ Vgl. Michael E. Mann, Raymond S. Bradley, und Malcolm K. Hughes (1998), *Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries*, in: *Nature*, Vol. 392, S. 779–787, und Bjorn Lomborg, A.a.O., S. 261 – 262.

Aber die Temperaturveränderungen in den letzten 10.000 Jahren zeigen, dass die für Lebewesen optimale Zeit des Holozäns eine Temperatur zwischen 15 und 16 °C aufwies. Also ist es völlig unsicher, ob der heutige Temperaturanstieg - wie viele Skeptiker behaupten – sich quadratisch weiter entwickelt. Viel eher kann dieser Anstieg als das wiederkehrende Optimum des Holozäns angesehen werden.¹⁷⁹ Diese Betrachtung über die langfristige, zyklische Klimaveränderung macht es schwierig, einfach zu behaupten, dass die anthropogene Schadstoffemission die Temperatur verändert. Weitergehend können wir sagen, dass die Klimaveränderung sowohl im langfristigen Zyklus (700.000 Jahre)¹⁸⁰ als auch im mittelfristigen Zyklus (zwischen dem 6. und dem 20. Jahrhundert)¹⁸¹ nicht linear ist. Die Klimaveränderung im mittelfristigen Zyklus zeigt, dass sich die Erde während den letzten 200 Jahren in einer kleinen Eiszeit befand.

Die Prophezeiung hoher Temperaturen kann auf dem Forschungsirrtum basieren, ein Phänomen in einer Region, besonders in Städten unter Zuhilfenahme des Punkt-Erde-Modells als Phänomen der gesamten Welt zu behandeln (Urban Heat Island Effect)¹⁸² Außerdem gibt es im Gegenzug zur Zunahme der bodennahen Temperatur eine Abnahme der Temperatur in der unteren Stratosphäre.¹⁸³ Auch die Interdependenzen zwischen den Temperaturen der Ozeane und der Landmassen wurden kaum berücksichtigt.¹⁸⁴ Zudem zeigte sich in den jüngsten Forschungen eine deutliche Abnahme der Temperatur über den nordwestlichen Atlantik und über den mittleren Breiten des Pazifiks.¹⁸⁵

Von 1910 bis 2000 wies die Durchschnittstemperatur zweimal eine steile Zunahme auf: zwischen 1910 und 1940 von –0,45 auf 0,05 °C und zwischen 1975 und 2000 von –0,1 auf 0,4 °C. Der Klimatologe Stommel belegte schon 1961 die Instabilität der Temperatur dadurch, dass er auf kurze instabile Phasen in der thermohalinen Zirkulation hinwies.¹⁸⁶

¹⁷⁹ Vgl. Ulrich Cubasch und Dieter Kasang (2000), *Anthropogener Klimawandel*, Klett-Perthes, S. 11–13.

¹⁸⁰ Siehe dazu die Abbildung 4.12 und 4.13 von William J. Burroughs (2001), *Climate Change; A multidisciplinary Approach*, Cambridge, S. 92–93.

¹⁸¹ Siehe dazu die Abbildung 4.17 von William J. Burroughs, A.a.O., S.105. Durch diese Abbildung können wir erkennen, dass eine kleine Eiszeit zwischen dem 18. und 19. Jahrhundert stattfand.

¹⁸² Vgl. Roger Bate, Julian Morris und Wilfred Beckerman, A.a.O., S. 22.

¹⁸³ Vgl. Ulrich Cubasch und Dieter Kasang (2000), A.a.O., S. 9.

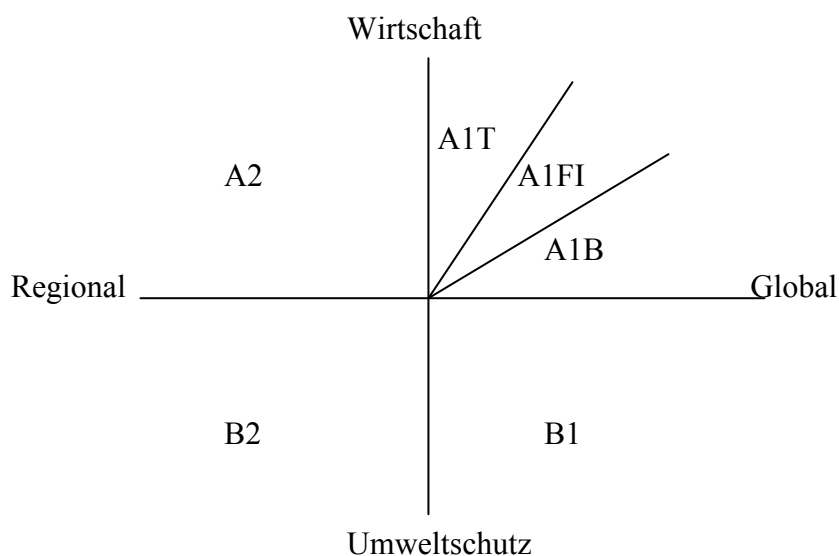
¹⁸⁴ Siehe dazu das Ergebnis der Forschung von Stommel (1961), Vgl. Walter A. Robinson (2001), *Modeling Dynamic Climate Systems*, Berlin, S. 171–172.

¹⁸⁵ Vgl. Ulrich Cubasch und Dieter Kasang (2000), A.a.O., S. 9.

¹⁸⁶ Vgl. Walter A. Robinson (2001), A.a.O., S. 168.

1.2.2. Kritik zu den Szenarien der Klimaänderung von IPCC

Bisher haben wir die Klimaveränderung in der Vergangenheit betrachtet. Jetzt betrachten wir die mögliche zukünftige Klimaveränderung. Solange über anthropogene Schadstoffemission diskutiert wird, ist die Reaktion der Menschheit auf Klimaveränderungen entscheidend. Aus diesem Grund müssen wir das folgende Schema des IPCC (Abbildung 12) kritisch betrachten. Die Umweltpolitik wird in vier verschiedenen Ausrichtungen dargestellt. Der Zeitrahmen erstreckt sich bis zum Jahr 2100.



<Abb. 12> Klassifikation auf die Kontrollszenarien der Emission

Das Kriterium zwischen A und B in Abbildung 12 liegt darin, ob die Politik am Umweltschutz oder an der Wirtschaft orientiert ist. In der Politikgruppe A wird das Wirtschaftswachstum betont, in der Politikgruppe B ein nachhaltiges Wachstum. Solange die Nachhaltigkeit Priorität besitzt, dürfen die Möglichkeit neuer technologischer Erfindungen und die Zeitpräferenz, welches wichtige Elemente des Wachstums sind, nicht außer Acht gelassen werden.

Das Kriterium zwischen 1 und 2 in Abbildung 12 ist die Regionalität. In der Politikgruppe 1 wird eine globale, zentralisierte Umweltpolitik bezogen. In diesen Szenarien wird angenommen, dass die globale Bevölkerung bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts sehr schnell anwächst und danach wieder abnimmt. In der Politikgruppe 2 wird eine regiona-

le, dezentralisierte Umweltpolitik bevorzugt, und die Bevölkerung in jeder Region wächst kontinuierlich.¹⁸⁷ Durch die falsche Definition der Kriterien, mit denen das IPCC die Effekte der globalen Erwärmung simuliert, werden ungenaue Ergebnisse erzielt: Die CO₂-Emissionen im B1-Szenario werden Mitte des nächsten Jahrhunderts am höchsten sein und danach zurückgehen. Die CO₂-Emissionen im B2-Szenario steigen kontinuierlich an. Dagegen nimmt die CO₂-Emission im A2-Szenario quadratisch zu, und die CO₂-Emissionen in A1 werden zum Ende des nächsten Jahrhunderts am höchsten sein. Das IPCC leitet daraus die folgenden Ergebnisse ab: 1. Bei einer Verdopplung der Kohlendioxidkonzentration variiert der Temperaturanstieg im Vergleich zur vorindustriellen Zeit in diesen Szenarien zwischen 2 und 4,5 °C.¹⁸⁸ 2. Die Menge des emittierten CO₂ variiert in den Szenarien zwischen 4,3 und 28,2 Gigatonnen pro Jahr, und die der atmosphärischen CO₂-Konzentration zwischen 500 und 1000 ppm. Anhand dieser Ergebnisse behauptet das IPCC, dass eine global zentralisierte Umweltpolitik am effizientesten ist.

Diese Arbeit aber behauptet das Gegenteil. Eine „wirtschaftliche Umweltpolitik“ muss eine Politik sein, die den Schaden als externen Effekt durch marktwirtschaftliche Lösungsstrategien internalisiert, und eine „regionale Umweltpolitik“, die die Schadstoffemission einer Region optimiert, sein. Wir können also eine regionale, wirtschaftliche Lösung, bei der regionale Umweltpolitiken international gehandelt werden, als optimale Umweltpolitik bezeichnen.

2. Naturwissenschaftliche Erklärung der globalen Erwärmung

Robinson (2001) meint, dass es der grundsätzliche Charakter des Klimas ist, sich jederzeit zu ändern. Diese Veränderung ergibt sich aus der internen, nichtlinearen Dynamik

¹⁸⁷ Vgl. Rajendra Pachauri (Review Editor), Technical Summary, in: Climate Change 2001: Mitigation, Bert Metz, Ogunlade Davidson, Rob Swab und Jiahua Pan (Hrsg.), Pub. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), Cambridge, S. 23. Die IPCC nimmt die Sicht der WECD (World Commission on Environment and Development) auf. Aus der Sicht der WECD bedeutet die nachhaltige Entwicklung eine Entwicklung, die das Bedürfnis der gegenwärtigen Generation erfüllt, ohne die Nachfragefähigkeit der zukünftigen Generation zu verletzen. Vgl. WCED (1987), Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development, New York, S 8, 23.

¹⁸⁸ Vgl. Robert T. Watson und Care Writing Team (2001), Summary for Policymakers, in: Climate 2001, Synthesis Report, IPCC, Cambridge, S. 10–11.

des Klimasystems und der Veränderung der externen Konditionen, die von der Natur selbst oder von den Menschen ausgelöst werden.¹⁸⁹

Ausgehend von diesem Grundsatz werden wir darüber diskutieren, wie sich die atmosphärische Konzentration von CO₂ auf die Klimaveränderung auswirkt. Die Beseitigungsmechanismen von CO₂ in der Atmosphäre und der Verzögerungsmechanismus der Temperatur sind nicht ignorierbare Faktoren bei der naturwissenschaftlichen Forschung über die Klimaveränderung.

Um den Mechanismus der CO₂-Beseitigung in der Atmosphäre zu erklären, betrachten wir zuerst das Modell Stommels. Dabei bezieht sich die thermohaline Zirkulation auf das planetarische Fließen des Ozeans, das durch die Differenzen zwischen den Dichten des Meeres in den unterschiedlichen Regionen entschieden wird. Die „Thermostattheorie“ spricht über chemische Reaktionen in Bezug auf die Reduktion von in der Atmosphäre akkumuliertem CO₂. Beide Theorien arbeiten grundsätzlich mit den gleichen Analysefaktoren: Temperatur und Ozeandichte. Reservoirs, die CO₂ enthalten, sind Atmosphäre, obere Meeresschichten und Tiefsee. Diese drei Reservoirs sind durch die Oberfläche der Ozeane (zwischen Atmosphäre und oberen Meeresschichten) und den Bereich, in dem die thermohaline Zirkulation stattfindet (zwischen den oberen Meeresschichten und Tiefsee), getrennt.

Um den Verzögerungsmechanismus der atmosphärischen Temperatur zu erklären, betrachten wir die Thermodynamiktheorie, welche die Rolle der absoluten Temperatur und Klimasensibilität auf die Veränderung der atmosphärischen Temperatur erklärt.

2.1. Wirkung von Kohlendioxid auf das Klima

Betrachten wir die Erklärung von Robinson (2001) über die Theorie der thermohalinen Zirkulation,¹⁹⁰ die uns ein gutes Erklärungsmodell für die unterschiedlichen Temperaturen in den verschiedenen Regionen gibt. Warmes Oberflächenwasser im Atlantik fließt nordwärts und wird dort stark abgekühlt. Abkühlung und Steigerung der Salinität erhöhen die Dichte und somit das spezifische Gewicht des Wassers. Durch

¹⁸⁹ Vgl. Walter A. Robinson (2001), A.a.O., S. 154.

¹⁹⁰ Vgl. Walter A. Robinson (2001), A.a.O., S. 167–172.

Wärmeverlust wird also das Absinken des Wassers bewirkt, und durch Eisbildung, bei der das Salz im umgebenen Wasser zurückbleibt, wird die Salinität erhöht. Das kalte Tiefenwasser strömt nun zurück Richtung Süden. Unterwegs vermischt es sich mit anderen Wassermassen und wird allmählich durch Konvektion wieder an die Oberfläche transportiert. Diese Beziehung zwischen Temperatur und Salzgehalt zeigt uns, warum eine temporär erhöhte Temperatur langfristig reduziert werden kann. Dafür sind zwei wichtigen Charakteristika anzuzeigen:

1. Der atmosphärische Konvektionprozess erhöht die Temperatur der oberen Meeresschichten schneller als den Salzgehalt. Die Veränderungsgeschwindigkeit des Salzgehaltes ist um ein Vielfaches langsamer als die der Temperatur.
2. Um die Dichte des Meerwassers zu bestimmen, ist der Salzgehalt viel wichtiger als die Temperatur. Besonders bei niedrigen Temperaturen ist die Abhängigkeit der Dichte vom Salzgehalt doppelt so hoch wie die von der Temperatur

Diese Ergebnisse belegen, dass die anthropogen erhöhte Temperatur sich wieder abkühlen wird, aber wegen der langsamen Reaktion des Salzgehaltes nur sehr schleppend voran geht. Stommels Modell zeigt, dass die Veränderung der atmosphärischen Temperatur im Bereich des Nordatlantiks die Temperatur des Oberflächenwassers fast nicht beeinflusst. Daher können wir sagen, dass Simulationen über die globale Erwärmung, welche die Schuld nur bei der Industrie bzw. den anthropogenen Schadstoffemissionen suchen, eine schwache theoretische Grundlage aufweisen.

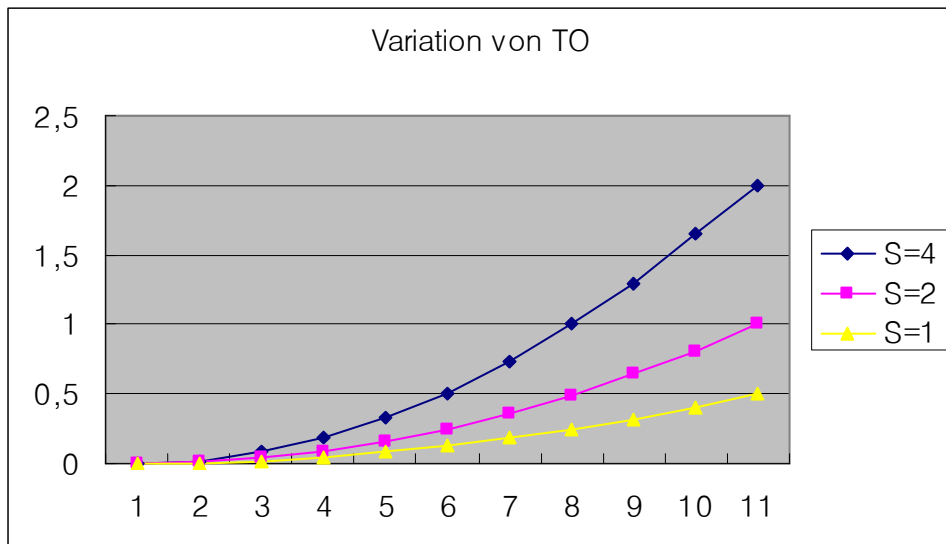
Der weltweite Temperaturdurchschnitt der Wasseroberfläche ist von 1860 bis 2000 von 13,5 auf 14,3 °C gestiegen. Dazwischen gab es starke Fluktuationen, die durch externe Variablen entstanden sind.¹⁹¹ Als interne Variable kann man sich den Wärmetausch zwischen den oberen Meeresschichten und der Tiefsee vorstellen. Dieser Austausch ist ein Ergebnis der Kombination von Verdunstung und Niederschlag. Es wird angenommen, dass die Gleichgewichtstemperatur der Wasseroberfläche von der jeweiligen Klimasensibilität abhängt. Je empfindlicher das Klima in einer Region ist, desto schwächer ist der Effekt des „Feedbacks“. Daher ist die Geschwindigkeit der Abkühlung der Temperatur umso langsamer.¹⁹² Stommel hat die Sensibilitäten in S = 1, 2 und 4 unterteilt. In Bezug auf Stommels Modell behauptet Robinson, dass es in der Anfangsphase der

¹⁹¹ <http://www.giss.nasa.gov/data/update/distemp>

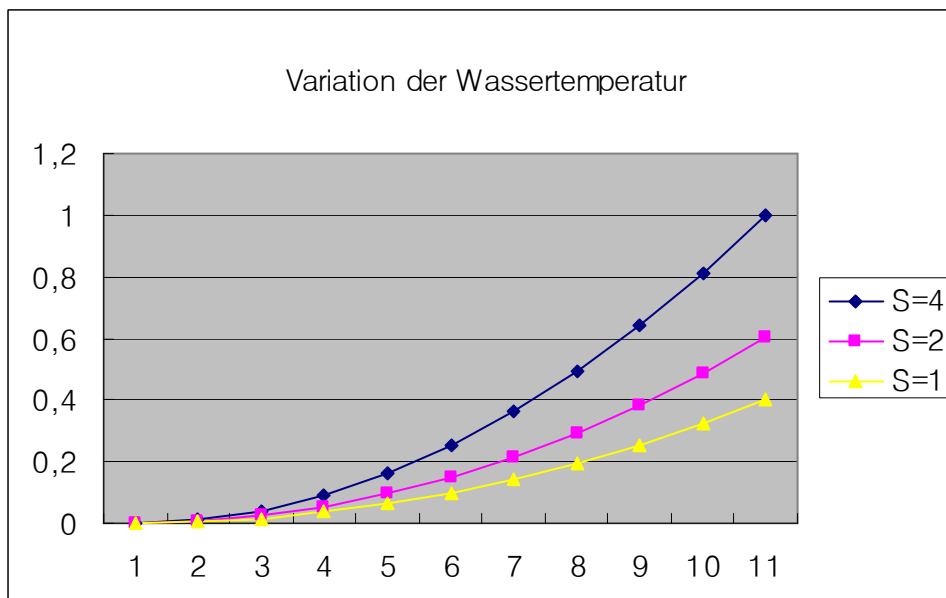
¹⁹² Vgl. Walter A. Robinson (2001), A.a.O., S. 182–184.

globalen Erwärmung schwierig ist, die Sensibilität des Klimasystems durch Temperaturaufzeichnungen zu prüfen.¹⁹³

Die Simulation von Robbison, die auf den Sensibilitäten von Stommel basiert, zeigt die folgende unterschiedliche Erwärmung der Wassertemperatur und der atmosphärischen Temperatur.



<Abb. 13a> Erwärmung der atmosphärischen Temperatur



<Abb. 13b> Erwärmung der Wassertemperatur

¹⁹³ Ebd. S. 184–186.

Die Zahlen auf der x-Achse in Abbildung 13 zeigen die Jahrzehnte, und die auf der y-Achse die Temperaturerhöhung. Betrachten wir die globale Erwärmung als externen Effekt. Sie wird durch die atmosphärische Temperatur im Gleichgewicht TO repräsentiert. Je nachdem wie groß die Sensibilität ist, wird TO als Reaktion auf eine externe Störung steigen. Bei diesem Modell wird angenommen, dass TO während der letzten 100 Jahre angestiegen ist, weil im 20. Jahrhundert die GHG-Konzentration gestiegen ist. Diese Simulation sagt voraus, dass die atmosphärische Gleichgewichtserwärmung zum Ende des 21. Jahrhunderts bei $S = 1, 2, 4$ jeweils $0,5, 1$ und 2 °C beträgt, und die Erwärmung der Wasseroberfläche jeweils $0,25, 0,5$ und 1 °C.

Diese von Robinson simulierten Temperaturvariationen sind den Ergebnissen der oben von IPCC simulierten Szenarien sehr ähnlich. Aber während die Simulationsergebnisse von IPCC Ergebnisse unterschiedlicher Umweltpolitiken sind, werden diese Variationen durch die unterschiedlichen Sensibilitäten ausgelöst. Bei dem regional wirtschaftlichen Szenario in der Simulation von IPCC liegt die erwartete Temperatur knapp unter 4 °C und beim umweltzentrisch globalen Szenario ungefähr bei $2,5$ °C.¹⁹⁴ Dagegen liegt die von Robinson gezeigte Temperaturerhöhung zwischen $0,5$ und $2,5$ °C. Die erwarteten Temperaturen sind nicht die Ergebnisse unterschiedlicher Politiken, sondern die vorhersehbare Verteilung der Temperaturen, die von der Klimasensibilität abhängt. Wir werden diese Ergebnisse zur Analyse der regional unterschiedlichen Erwärmungen aufnehmen, in der die Welt anhand der Klimasensibilität in drei Hauptregionen unterteilt wird.

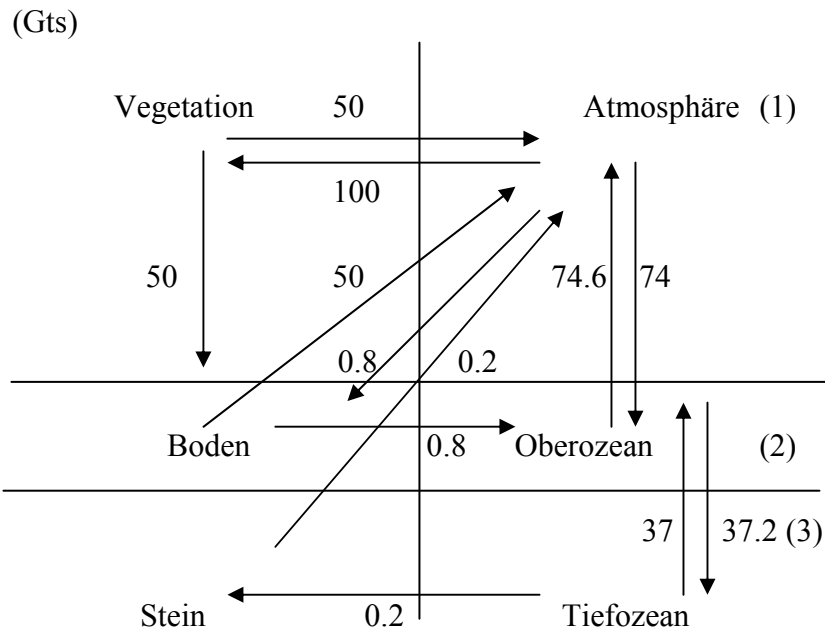
2.2. Beseitigung der atmosphärischen CO₂-Konzentration

In diesem Abschnitt betrachten wir die chemische Zusammenwirkung der drei Reservoirs: Atmosphäre, obere Meeresschicht und Tiefsee. Ruddiman (2001) hat die Erde als Thermostat angesehen. Er sagt, dass die weitere Bewohnbarkeit unseres Planeten durch die Thermostatfunktion des Globus ermöglicht wird. Dadurch erwärmt sich das Klima in Treibhaus-Ären, ohne seine Ozeane und Seen aufzuheizen, und in Eiszeit-Ären kühlt das Klima ab, ohne diese vollständig einzufrieren.¹⁹⁵ Eine verfeinerte Einteilung der

¹⁹⁴ Vgl. IPCC 2001, Climate Change 2001: Synthesis Report, S.11.

¹⁹⁵ Vgl. William F. Ruddiman, Earth's Climate: Past and Future, New York, 2001, S. 86.

Reservoirs ist: Atmosphäre, obere Meeresschicht, Tiefsee, Vegetation, Boden und Stein. Ihre jeweilige Kapazität beträgt 600, 610, 1.000, 1.560, 38.000, 66.000.000 Gigatonnen. Zum Verständnis über die Auswirkung des Kohlendioxids auf das Klima muss man danach fragen, wie Kohlendioxid sich zwischen den Reservoirs bewegt. Das Austauschverhältnis von CO₂ ist tektonisch wie folgt:



<Abb. 14> Kohlendioxidaustauschverhältnis

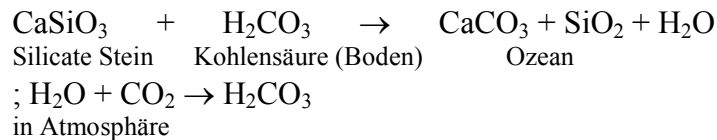
In Abbildung 14 werden die kleinen Reservoirs (Vegetation, Atmosphäre und obere Meeresschicht) und die großen Reservoirs (Boden, Sediment und Tiefsee) dargestellt. Da alle Reservoirs Kohlendioxid mit der Atmosphäre austauschen, hat jedes Reservoir die Fähigkeit, die atmosphärische CO₂-Konzentration zu ändern und das Klima zu beeinflussen. Die relative Wichtigkeit jedes Kohlen-Reservoirs ist je nach der Zeitskala unterschiedlich.¹⁹⁶

Jetzt betrachten wir die natürliche Verminderung von CO₂ in der Atmosphäre durch chemische Reaktion. Dem potenziellen Anstieg von CO₂ in der Atmosphäre wird eine Abfuhr entgegengesetzt, wodurch eine langfristige Steigerung des CO₂-Niveaus ver-

¹⁹⁶ Ebd. S. 91.

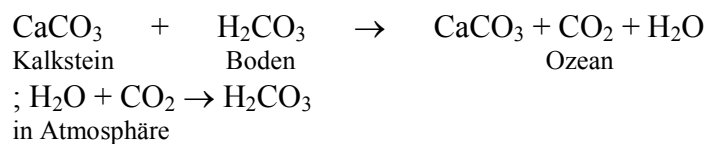
mieden wird. Diese chemische Reaktion hat zwei wichtige Formen: Hydrolyse und Auflösung.¹⁹⁷

Bei der Hydrolyse gibt es drei wichtige Bestandteile: das aus dem Stein gebildete Mineral CaSiO_3 , das aus dem Regen abgeführte Wasser H_2O und das aus der Atmosphäre abgeführte CO_2 .



Das Kohlendioxid in der Atmosphäre verbindet sich mit dem aus den oberen Meeresschichten verdunsteten Wasser, wodurch Kohlensäure gebildet wird, das wieder mit dem Silikatgestein verbunden und ionisiert wird. Dieses ionisierte Molekül wird durch die Flüsse wieder dem Meer zugeführt. Diese chemische Reaktion zeigt die Verminderung der atmosphärischen CO_2 -Konzentration und wie sie in die Tiefsee absinkt und in der Form von Gestein abgelagert wird.

Sie ist langsam aber kontinuierlich. 80 % von diesem ionisierten Stoff versinkt jährlich als Sediment im Ozean. Bei der Auflösung zeigt sich folgende Reaktion:

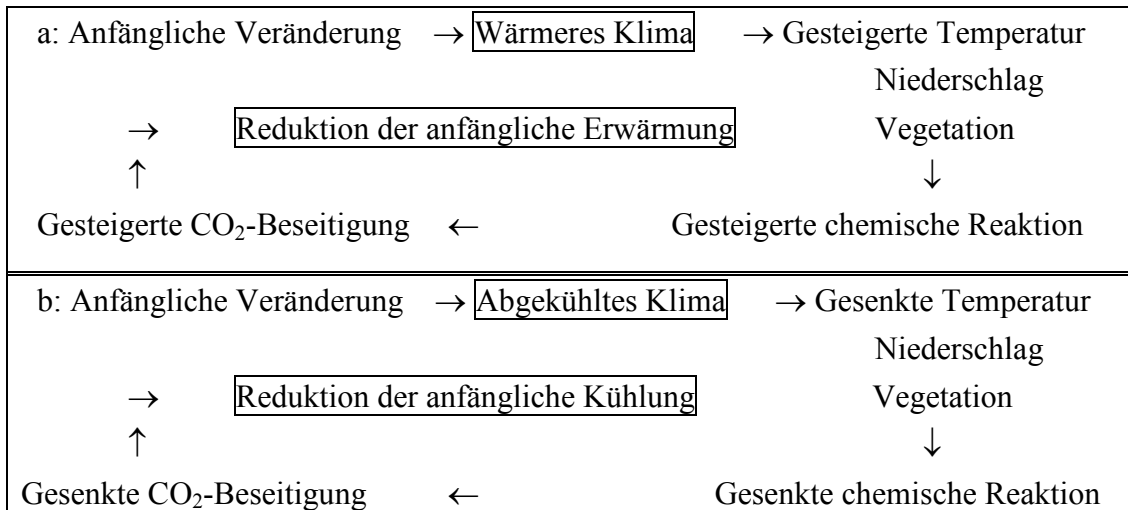


In diesem Fall steigt das CO_2 aus dem Ozean in die Atmosphäre. Während dieses Vorgangs sinkt wieder ein Teil des atmosphärischen Kohlendioxids als Sediment in die Tiefsee ab.

Diese zwei chemischen Reaktionen mildern also die langfristige Klimaänderung. In einem Zustand wärmeren Gesamtklimas können diese Reaktionen die Temperatur dadurch wieder fallen lassen, dass sie die Geschwindigkeit der Beseitigung des atmosphärischen CO_2 erhöhen. Im Falle eines gesamtkühleren Klimas kann die Temperatur dadurch erhöht werden, dass die Geschwindigkeit des CO_2 -Abbaus gesenkt wird. Die Geschwindigkeit wird durch die Verteilung der Treibhausgase in der Atmosphäre automatisch reguliert. Nach diesem Modell stellt das Treibhausklima das optimale Klima für eine warme, feuchte Erde mit üppiger Vegetation dar. Die Temperatur dieses Klimamo-

¹⁹⁷ Ebd. S. 69.

dells unterliegt jedoch immer gewissen Schwankungen.¹⁹⁸ Das bedeutet, dass eine langfristige CO₂-Erhöhung keine extreme Steigerung der Temperatur bewirkt. Die Abbildungen 15a und 15b zeigen diesen Prozess:¹⁹⁹



<Abb. 15> Erde als Thermostat durch chemische Reaktion

Dieses Ergebnis der klimatologischen Forschung über die langfristige Änderung der atmosphärischen CO₂-Konzentration zeigt, dass die Erde die Fähigkeit hat, als Thermostat das Klima auszugleichen.²⁰⁰ Diese chemische Reaktion wird mathematisch von Nordhaus (1991) wie folgt dargestellt:²⁰¹

$$\dot{M}(t) = \beta E(t) - vM(t) \tag{25}$$

Hierbei E = anthropogene Emission von CO₂,
 M = atmosphärische Konzentration von CO₂,
 β = atmosphärische Fraktion der anthropogenen Emission,
 v = Beseitigungsrate von CO₂ in der Atmosphäre.

Gleichung (25) zeigt die Steigerung der atmosphärischen Konzentration der anthropogenen Emission von CO₂ in Bezug auf die Selbstreinigungsfunktion der Natur. Die

¹⁹⁸ Die jüngeren naturwissenschaftlichen Aufsätze besagen, dass bei hoher Sensibilität die höchste Temperatursteigerung ungefähr 2 °C innerhalb von 100 Jahren beträgt.

¹⁹⁹ Vgl. William F. Ruddiman, A.a.O., S. 96.

²⁰⁰ Ebd. S. 93–94.

²⁰¹ Vgl. William D. Nordhaus (1991), To slow or not to slow: The economics of the greenhouse effect, in: *The Economic Journal*, Vol. 101, S. 922.

wichtigsten zwei Faktoren in diesem Mechanismus sind: 1. die global durchschnittliche Rate der chemischen Reaktion und 2. die Assimilationsfunktion der Atmosphäre. Ein Teil bzw. β -Prozent von den jährlich emittierten, anthropogenen CO_2 -Emissionen E wird in der Atmosphäre akkumuliert. Die Atmosphäre hat die Fähigkeit, einen Teil v der von Natur und Mensch in die Atmosphäre emittierten CO_2 -Konzentration M zu assimilieren.

2.3. Verzögerung des Temperaturanstiegs

Grundsätzlich hängt der Temperaturanstieg von der Wärmestrahlung, und deren Stärke wiederum von den atmosphärischen Treibhausgasen und der Klimasensibilität ab.²⁰² Dabei werden die verschiedenen Elemente (Bewölkung, Niederschlag, Verdunstung, Windgeschwindigkeit, andere Treibhausgase usw.)²⁰³ berücksichtigt, die mit dem Atmosphäre-Ozean-Modell noch zu verbinden sind. Damit können wir zu der thermostatischen Wirkung der Erde zurückkehren. Die atmosphärische Konzentration von CO_2 steigert zunächst die Temperatur in der Atmosphäre und sinkt dann wieder durch die Reaktion der Erde.

Im Gegensatz zum auf geologischen Zeitskalen ablaufenden natürlichen atmosphärischen Treibhauseffekt mit seinen Regulationsmechanismen läuft der anthropogene Treibhauseffekt in extrem kurzer Zeit ab. Der anthropogene Treibhauseffekt kann nur als ein Nebeneffekt des natürlichen Treibhauseffektes angesehen werden. Dieser atmosphärische Wärmestau wird durch die Einstrahlung der Sonne angetrieben. Die Sonnenstrahlung, die vom Erdboden absorbiert wird, beträgt 239 W/m^2 , und deren globale Mitteltemperatur ist $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ (239 W/m^2 ; 255 K).²⁰⁴ Aber eine weitere Bestrahlung, die durch die aufgeheizten Treibhausgase entsteht, beträgt etwa 150 W/m^2 . Hierdurch ist die durchschnittliche Temperatur $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ (389 W/m^2 ; 288 K).²⁰⁵ Die Beobachtung

²⁰² Vgl. William J. Burroughs, A.a.O., S. 260.

²⁰³ Solche Elemente verstärken die Unsicherheit der klimatologischen Simulation.

²⁰⁴ Auf der Atmosphäre erreichbare kurzweilige Sonnenstrahlung: $S = 239$ (70 % der kurzweiligen Sonnenstrahlung); kurzweilige Sonneneinstrahlung = 342 (ein Viertel der gesamten Sonnenstrahlung); gesamte Sonneneinstrahlung = 1367. Denn nach dem Planckschen Strahlungsgesetz hat ein schwarzer Körper, der eine Leistung von 239 W/m^2 abstrahlt, eine Temperatur von -18°C .

²⁰⁵ Vgl. Ulrich Cubasch und Dieter Kasang (2000), A.a.O., S. 37. Damit absorbiert die Erdoberfläche insgesamt 389 W/m^2 - und die werden bei der tatsächlichen mittleren Erdoberflächentemperatur von

durch Satelliten zeigt, dass die effektive planetarische Temperatur für Erdinfrarotstrahlung im Weltraum der Temperatur eines Schwarzkörpers entspricht. Die Menge der Erdstrahlung besteht aus dem von der Atmosphäre in den Weltraum abgestrahlten Anteil von 150 W/m^2 , dem direkten von 90 W/m^2 und dem von der Oberfläche und dem Albedo²⁰⁶ abgestrahlten Anteil von 103 W/m^2 . Das zeigt, dass die Abstrahlung etwa der Einstrahlung entspricht, sodass sich die Temperatur der Erdatmosphäre nur langsam verändert. Dieses Phänomen kann als Albedo-Effekt bezeichnet werden. Durch diesen Effekt wird die Temperatur der Erdatmosphäre in einem bestimmten Bereich gehalten. Dieser Temperaturbereich wird als Klimagleichgewicht definiert.

Der Anstieg von CO_2 in der Atmosphäre verursacht eine Instabilität des Klimagleichgewichts. Natürlich ist die Größe der Instabilität räumlich und zeitlich unterschiedlich. Dabei müssen wir die jeweilige Klimasensibilität berücksichtigen. Fast alle naturwissenschaftlichen Forschungsergebnisse belegen, dass wir versuchen müssen, die dynamische Beziehung zwischen der anthropogenen CO_2 -Konzentrationen und der globalen Erwärmung richtig zu regeln, um dieses Phänomen in die wirtschaftliche Analyse einzuführen. Diese Beziehung, die theoretisch auf dem **Fourierschen Gesetz** (1822)²⁰⁷ in der Thermodynamiktheorie basiert, hat Nordhaus (1991) mathematisch wie folgt erklärt:²⁰⁸

$$\dot{T}(t) = \lambda \{dM(t) - T(t)\} \quad (26)$$

Hierbei λ = Verzögerungsparameter der Temperatur nach der Wärmestrahlung,
 d = Klimasensibilität aufgrund der Radioaktivität in jeder Region.

Diese Gleichung zeigt die Veränderung der Temperatur (in Bezug auf die in der Atmosphäre konzentrierten Kohlendioxide), die mit der Klimasensibilität verbunden ist. In dieser Arbeit wird die Beziehung zwischen Temperaturanstieg und Klimasensibilität erklärt werden.

+15 °C abgestrahlt - das wird wieder durch das Plancksche Strahlungsgesetz beschrieben. Die Erdoberflächentemperatur ist zugleich die bodennahe Lufttemperatur.

²⁰⁶ Die faktische Temperatur der Erde wird nicht nur durch die Strahlung auf die Oberfläche beeinflusst, sondern auch durch die kühleren atmosphärischen Gase und Wolkenspitzen. Vgl. Stephen H. Schneider (1992), Introduction to climate modeling, in: Kevin E. Trenberth (Hrsg.), Climate System Modeling, Cambridge, S. 11.

²⁰⁷ Siehe zur Erklärung <http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeleitung>.

²⁰⁸ Vgl. William D. Nordhaus (1991), A.a.O., S. 924.

2.3.1. Klimagleichgewicht im Rahmen des null-dimensionalen Modells

Ein Wärmestrahlungsgleichgewicht für die Erde wird durch die Übereinstimmung der Menge der kurzwelligen Sonnenenergie S und der Menge der Erdstrahlungsenergie F erreicht. Also haben wir für das Gleichgewicht die folgende Gleichung:

$$S = F \quad (27a)$$

$$S = Q(1 - \alpha_p), \quad (27b)$$

$$F = \sigma T_p^4. \quad (27c)$$

Hierbei gilt: $Q = S_0/4 =$ ein Viertel der gesamten Sonneneinstrahlung,

$\alpha_p =$ höchste, atmosphärische, planetarische Albedo,

$\sigma =$ Stefan-Boltzmann-Konstante,²⁰⁹

$T_p^4 =$ Schwarzkörpertemperatur der Erdatmosphäre in K.²¹⁰

Die Erde wird einer Sonnenstrahlung auf der Fläche des Erdquerschnitts πr^2 ausgesetzt. Diese weist insgesamt eine Oberfläche von $4\pi r^2$ auf. Das Verhältnis der Flächen beträgt 1:4. Die Solarkonstante ist deswegen durch 4 zu teilen. Im Mittel fällt also eine Strahlung von 342 W/m^2 auf die Erdoberfläche. Die Übertragung dieses Strahlungsgleichgewichts schließt im einfachen Klimamodel das folgende Stefan-Boltzmann-Gesetz²¹¹ ein:

$$Q(1 - \alpha_p) = \sigma T_p^4. \quad (28)$$

Dann können wir die Beziehung zwischen der gesamten Sonnenenergie und der Schwarzkörpertemperatur im Gleichgewicht wie folgt beschreiben:

²⁰⁹ Die Stefan-Boltzmann-Konstante ist eine modifizierte Naturkonstante, basierend auf der Boltzmann-Konstante. Der numerische Wert der Naturkonstante ändert sich nicht.

²¹⁰ Jeder Körper, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt liegt, sendet Wärmestrahlung aus. Ein Schwarzkörper ist ein idealisierter Körper, der alle auf ihn treffende Strahlung vollständig absorbieren kann (Absorptionsgrad = 1). Die Strahlungsleistung eines Schwarzkörpers ist also proportional zur vierten Potenz seiner absoluten Temperatur. Siehe zur Erklärung <http://de.wikipedia.org/wiki/Stefan-Boltzmann-Konstante#Stefan-Boltzmann-Gesetz>.

²¹¹ Das Stefan-Boltzmann-Gesetz gibt an, welche Strahlungsleistung P ein Schwarzkörper der Fläche A und der absoluten Temperatur T emittiert. Es wird mit der Stefan-Boltzmann-Konstanten σ beschrieben. Siehe zur Erklärung <http://de.wikipedia.org/wiki/Stefan-Boltzmann-Konstante#Stefan-Boltzmann-Gesetz>.

$$4S(1 - \alpha_p) = \sigma T_p. \quad (29)$$

Hier repräsentiert die Albedo das Verhältnis zwischen der Erdwärme für die absolute Temperatur und der Sonneneinstrahlung am äußersten Rand der Atmosphäre. Nehmen wir an, dass das Klimasystem durch den Anstieg des atmosphärischen Kohlendioxids instabil wird, dann wird das anfängliche Gleichgewicht (27) nicht mehr null sein. Die Nettostrahlung $N = S - F$ ist wie folgt:

$$\Delta N = \Delta S - \Delta F. \quad (30)$$

Durch diese Instabilität des Klimasystems verändert sich die Oberflächentemperatur. Indem wir die obige Gleichung wie folgt umformulieren, können wir die Veränderung der Temperatur ΔT_s der Oberfläche erhalten:

$$\Delta T_s \left[\frac{\Delta F}{\Delta T_s} - \frac{\Delta S}{\Delta T_s} \right] = -\Delta N \quad (31)$$

Die Gleichung (31) zeigt die Beziehung zwischen der Veränderung der global durchschnittlichen Oberflächentemperatur $\Delta F/\Delta T$ und der der anfänglichen Sonnenstrahlung $\Delta S/\Delta T$. Da wir annehmen, dass die kurzwellige Sonnenstrahlungsmenge sich nicht verändert, können wir weiter annehmen, dass $\Delta S/\Delta T$ null ist.

2.3.2. Klimasensibilität in Bezug auf Wärmestrahlung

Der Sensibilitätsparameter d_p wird in der Relation zwischen der Albedo und der Stefan-Boltzmann-Konstante aus Gleichung (29) wie folgt bezeichnet:

$$d_p = \frac{1 - \alpha_p}{\sigma} = \frac{T_p}{4S}. \quad (32)$$

Wenn es keine Nebenstrahlung gibt, dann ist der Sensibilitätsparameter gleich eins: $d_p = 1$. Die Klimasensibilität in einer Region hängt deutlich von der Albedo ab. Wie oben gesehen, beträgt die Menge der Solarenergie S in dem System 240 W/m^2 . Dann kann der Sensibilitätsparameter d_p bei der natürlichen planetarischen Temperatur bzw. der Schwarzkörpertemperatur 255K berechnet werden: $d_p = \frac{T_p}{4S} = 255/(4 \cdot 240) = 0,2656$ KW/m^2 . Aber mit der Nebenstrahlung aus den aufgeheizten Treibhausgasen ist die nicht

rückgekoppelte²¹² Klimasensibilität $d_{NF} = \left[\frac{T_s}{4F} \right] = 288/(4 \cdot 240) = 0,3 \text{ KW/m}^2$.

Diese Gleichung zeigt, dass die nicht rückgekoppelte Klimasensibilität im Vergleich zur natürlichen planetarischen Klimasensibilität nicht sehr hoch ist: $d_{NF} \approx 0,3 \text{ K} > d \approx 0,26$. Hierbei bedeutet 288 K die durchschnittliche Oberflächentemperatur.²¹³ Die durch empirische Untersuchungen abgeleitete Veränderung der Temperatur zeigt, dass sie durch zwei Faktoren, Sensibilität d_s und planetarische Albedo α_p , entschieden wird:

1. Die empirischen Daten von F und T_s können benutzt werden, um die folgende Klimasensibilität abzuleiten:

$$F = 1,55 T_s - 212. \quad (33)$$

Das Differenzial von Gleichung (33) gibt uns die Klimasensibilität $d_s = 0,645 \text{ KW/m}^2$. Die empirischen Daten von F müssen unabhängig von den Faktoren sowie der Menge an H_2O und der Bewölkung sein. Aber die Daten von S schließen die anthropogenen Treibhausgase mit ein.

2. Die planetarische Albedo α_p hängt von der Temperatur T_{ss} in der Stratosphäre ab. Dadurch kann die Albedo wie folgt angegeben werden:

$$\alpha_p = \begin{cases} 0,3 & T_{ss} > 270\text{K} \\ 0,3 - 0,4 \frac{T_{ss} - 270}{40} & 230 \leq T_{ss} \leq 270\text{K} \quad 214 \\ 0,7 & T_{ss} < 230\text{K} \end{cases} \quad (34)$$

Dieses Ergebnis zeigt, dass die atmosphärische Temperatur und auch die Klimasensibilität von der Albedo abhängen. Je höher die Albedo ist, desto niedriger die Temperatur, und in Bezug auf Gleichung (32), desto kleiner die Klimasensibilität. Aus den Gleichungen (27a) und (33) ist die folgende Beziehung zu skizzieren:

$$Q(1 - \alpha_p) = S = F = 1,55 T_s - 212; Q = 335 \text{ K}. \quad 215 \quad (35)$$

Aus dieser Gleichung (35) können die wärmste Gleichgewichtstemperatur (wenn $\alpha_p = 0,3$, dann $T_s = 288 \text{ K}$) und die kälteste Gleichgewichtstemperatur (wenn $\alpha_p = 0,7$, dann $T_s = 201,6 \text{ K}$) erhalten werden. Dieses Modell zeigt ein Phänomen, das als ~~Multigleichgewicht~~, also als die Existenz verschiedener Klimazustände bekannt ist.²¹⁶

²¹² Hierbei bedeutet „nicht rückgekoppelt“, dass die eingestrahlte Sonnenenergie nicht wieder ausstrahlt.

²¹³ Siehe zur Berechnung der durchschnittlichen Erdtemperatur die folgenden Gleichung (39).

²¹⁴ Vgl. Stephen H. Schneider (1992), A.a.O., S. 13.

²¹⁵ Die Sonnenenergie in der Atmosphäre verliert 7 K, bis sie den Erdboden erreicht.

gewicht, also als die Existenz verschiedener Klimazustände bekannt ist.²¹⁶

Das geophysikalische Ergebnis über die direkte Erwärmung bei einer Verdopplung von CO₂ in der Atmosphäre im Vergleich mit der vorindustriellen Zeit ist ein Wärmeanstieg von 4,1 W/m², der als G bezeichnet wird. Der Anstieg der anthropogenen, atmosphärischen Emission bedeutet den Anstieg von ΔF, und daraus folgend den von -ΔN: $G = -\Delta N = 4.1 \text{ W/m}^2$.

Somit können wir den Rückkopplungsparameter 1/d berechnen, der eine reziproke Funktion der Klimasensibilität d ist. Der Klimasensibilitätsparameter d entscheidet das Ausmaß der Klimaveränderung aufgrund einer anfänglichen Perturbation. Er zeigt die Stabilität des Klimagleichgewichtspunktes und gibt wichtige Informationen für die Simulation des Klimasystems. Also können wir die Veränderung der Oberflächentemperatur ΔT_s in Bezug auf die Wärmestrahlung G bei der Verdoppelung von CO₂ mit der Klimasensibilität d berechnen:

$$\Delta T_s = d \cdot G. \quad (36)$$

Da diese direkte Wärmestrahlung G 4,1 W/m² beträgt und die Klimasensibilität 0,645, ist die Erhöhung der Temperatur durch die Verdopplung von CO₂ $\Delta T_s = 0,645 \cdot 4,1 = 2,64 \text{ K}$.²¹⁷

Beim Vergleich mit dem Klimasensibilitätsgrad bei der gegenwärtigen, durchschnittlichen Temperatur $d_{NF} = \text{ca. } 0,3$ können wir beweisen, dass der Temperaturanstieg bei der Verdoppelung von CO₂ in der Atmosphäre von 2,64 K im Vergleich mit dem Temperaturanstieg ohne anthropogene Treibhausgase von 1,23 K ungefähr um 1,4 °C größer ist.

²¹⁶ Vgl. Jeffrey T. Kiehl (1992), Atmospheric general circulation models, in: Kevin E. Trenberth (Hrsg.), Climate System Modeling, Cambridge, S. 323–325.

²¹⁷ U. Siegentahler zeigt die einfach regulierte Gleichung für das null-dimensionale Modell; $\Delta F/F = 4\Delta T/T$, aber er verwendet kein in der Naturwissenschaft allgemein anerkanntes Ergebnis, also nicht 4,1 W/m², sondern 4,4 W/m² bei der Verdopplung von CO₂. Bei seiner Analyse steigt die Temperatur direkt durch die Verdopplung von CO₂ um 1,2 K und durch den Rückkopplungseffekt, der daraus entsteht, noch um weitere 1,2 K, sodass bei der Erwärmung die Wasserdampfkonzentration in der Atmosphäre zunimmt, die noch zusätzlich den Treibhauseffekt verstärkt. Hierzu wurde vermutet, dass die hohe Albedo von Schnee und Eis noch eine weitere positive Rückkopplung bewirkt. In diesem Fall wird von Siegentahler ein Temperaturanstieg um 2,4 K vorhergesagt. Vgl. U. Siegentahler (1985), CO₂-Anstieg und Klimaveränderung, in: Claus Fröhlich (Hrsg.), Das Klima, Seine Veränderungen und Störungen, Basel, S. 21. Dagegen wird von den gegenwärtigen Forschern behauptet, dass die Temperatur bei der Verdopplung von CO₂, eingeschlossen des Effektes der Wasserdampfkonzentration, sich um 2,5 K steigert, und dass der Albedoeffekt einen positiven Rückkopplungseffekt von ungefähr 0,6 °C mit sich bringt, aber die Bewölkung einen negativen Rückkopplungseffekt von ungefähr -1,85 °C verursacht. Vgl. William F. Ruddiman, A.a.O., S. 410. In dieser Arbeit ist diese negative Rückkopplung nicht berücksichtigt worden. Nach der Behauptung von Ruddiman beträgt der gemischte Effekt aller negativen und positiven Rückkopplungen einen Temperaturanstieg um 1,25 °C.

Jetzt kann erklärt werden, wie die Beziehung zwischen der CO₂-Akkumulation und der Steigerung der Wärmestrahlung aussieht. Eine abstrakte Funktion der Wärmestrahlung G(t) kann in Bezug auf Treibhausgase wie folgt illustriert werden:²¹⁸

$$G(t) = \eta \left\{ \log \left[\frac{M_{AT}(t)}{M_{AT}^{PI}} \right] / \log(2) \right\} + O(t) \quad (37)$$

$$O(t) = -0,1965 + 0,13465 \cdot t; \quad t < 11 \\ = 1,15 \quad \quad \quad t > 10.$$

Hierbei gilt: O(t) = Gesamteffekt der Treibhausgase ohne CO₂ auf Temperatur,
M(t) = in Atmosphäre akkumuliertes CO₂.

Der Temperaturanstieg, der durch die anderen Treibhausgase verursacht wird, liegt gegenwärtig bei 1,15 °C und wird als unverändert angenommen. Diese Gleichung soll zeigen, dass die Temperatur bei einer Verdopplung des akkumulierten CO₂ um 4,1 °C steigt. Dafür wird der Wert von η als 2,95 angenommen.

Diese Gleichung kann wiederum mit der Veränderung der Temperatur durch diese Wärmestrahlungsindizes und der empirisch überprüften Klimasensibilität verbunden werden. Dann erhalten wir wieder Gleichung (36).

2.4. Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration und Klimaänderung

In den Augen laienhafter Umweltschützer wird oft die Wirtschaft als der Grund für die Akkumulation von CO₂ in der Atmosphäre angesehen, indem sie behaupten, dass ein wirtschaftliches Wachstum nur durch verstärkte CO₂-Emission ermöglicht wird. Aber dann ist die Menschheit an sich als Verursacher für die übermäßigen Treibhausgase anzusehen, weil sie als Reaktion auf die Knappheit der natürlichen Ressourcen, unabhängig von der Industrialisierung, allein zum Überleben Schadstoffe emittiert.

Ein wichtiges naturwissenschaftliches Forschungsergebnis ist, dass die Natur über eine Selbstreinigungsfähigkeit der Atmosphäre verfügt, und der gesamte Planet als Thermostat fungiert, um den Wärmeverkehr zwischen der Atmosphäre und dem Ozean zu regulieren. Dabei können wir sagen, dass noch nicht bewiesen ist, ob die anthropogenen Schadstoffemissionen wirklich die Hauptursache für die Klimaveränderung ist. Obwohl

²¹⁸ Vgl. William D. Nordhaus (2000), A.a.O., S. 22.

wir die korrekte Beziehung zwischen der Klimaveränderung und der anthropogenen Schadstoffemission noch nicht erforscht haben, beginnen wir unsere Diskussion über die wirtschaftlichen Effekte der anthropogenen Schadstoffemission mit der Annahme, dass die durchschnittliche globale Erwärmung bei der Verdopplung des in der Atmosphäre akkumulierten CO₂ 4,1 °C beträgt. Trotz dieser Feststellung ist der wirtschaftliche Effekt der globalen Erwärmung noch unsicher, er kann negativ oder positiv ausfallen.²¹⁹

Liegt ein konkretes Ergebnis in der naturwissenschaftlichen Forschung über die Klimaveränderung als Reaktion der Erde bei der atmosphärischen Akkumulation von CO₂ vor, kann gesagt werden, dass ein Teil davon durch die Selbstreinigung der Erde beseitigt wird. Vielleicht sollten die Funktionen der Erde als Thermostat und der Wärmeverkehr zwischen Atmosphäre und Ozean auch noch bei der Berechnung des Temperaturanstiegs als negative Rückkoppelungsfaktoren berücksichtigt werden, jedoch nehmen wir die atmosphärische Selbstreinigung als den einzigen Wirkungsfaktor an, weil vermutet wird, dass die Korrelation zwischen den drei Faktoren sehr stark ist.

Bei der oben erklärten Selbstreinigungsfähigkeit der Atmosphäre können wir auf der einen Seite sagen, dass je mehr die atmosphärische Konzentration von CO₂ zunimmt, desto stärker sich die Selbstreinigung der Natur beschleunigt, auf der anderen Seite jedoch, dass die Kapazität der Selbstreinigung eine Obergrenze hat. Die oben skizzierte Gleichung (25) zeigt die Beziehung zwischen der anthropogenen CO₂-Emission und der Selbstreinigung der Atmosphäre. Sie hat gezeigt, dass ohne Berücksichtigung der Naturreaktion die atmosphärische Konzentration von CO₂ eine einfache lineare Funktion der Schadstoffemission ist, jedoch bei der Berücksichtigung der Atmosphärenreaktion mit der Relation zwischen beiden Variablen eine komplizierte nicht lineare Eigenschaft aufweist.

Betrachten wir die Beziehung zwischen der globalen Erwärmung und der anthropogenen CO₂-Emission. Da die anthropogenen Emissionen sich positiv auf die Wärmestrahlung auswirken, kann dargestellt werden, dass auch die Wärmestrahlung sich dynamisch entwickelt. Wir können die Klimasensibilität nicht nur beim Temperaturanstieg für die Verdopplung der Konzentration von CO₂ verwenden, sondern auch bei der Temperatur-

²¹⁹ Hierbei können wir nicht einfach sagen, dass die Steigerung von CO₂ in der Atmosphäre oder die daraus folgende Temperatursteigerung der Grund für den Schaden ist, sondern dieser muss als Gewinnelement angesehen werden, indem sie die Feuchtigkeit der Biosphäre, Wassereffizienz für Pflanzen, Gesundheit usw. anbietet. Vgl. Fred S. Singer (1999), *Hot Talk, Cold Science: Global Warming's Unfinished Debate*, 2. Ed., Oakland, S. 23.

variation als Urban-Erwärmungseffekt, der besagt, dass die Temperatur je nach Naturzustand und Urbanisierung in einer Region unterschiedlich ist.

Bisher haben wir von dem Temperaturanstieg der Oberfläche und dem der Atmosphäre bei der Veränderung der Temperatur gesprochen. Aber der Temperaturanstieg in der Stratosphäre ist kaum wahrzunehmen, während der an der Oberfläche deutlich ausfällt. Dieser Unterschied entsteht aus extern natürlichen Gründen, beispielsweise Solarvariation oder Vulkanausbrüche. Als extern natürliche Gründe können wir extern anthropogene Gründe, beispielsweise die Veränderung von Aerosol und Ozon, und als interne Gründe, beispielsweise Distribution der Bewölkung und des Wasserdampfs betrachten.²²⁰

²²⁰ Ebd. S. 10–17.

E. Intertemporale Umweltpolitik

1. Einführung

Durch den Einblick in die naturwissenschaftliche Analyse über die globale Erwärmung haben wir einige Grundlagen für die wirtschaftswissenschaftliche Analyse über dieses Problem erkennen können. Erstens sind die in der Atmosphäre konzentrierten Schadstoffe langlebig, zweitens sind sie durch die Assimilationsfunktion der Atmosphäre verdünnt und drittens ist die Erwärmung als Endergebnis der Schadstoffkonzentration in der Atmosphäre nicht von den global durchschnittlichen abhängig, sondern von den regionalen Klimasensibilitäten, die wieder je nach Albedo der jeweiligen Regionen unterschiedlich sind. Diese naturwissenschaftlichen Analysefaktoren unterliegen den dynamischen Wirtschaftsanalysen über den aus der Erwärmung resultierenden Schaden und die daraus entstehende Umweltpolitik. Bei der Entscheidung für eine dynamische Umweltpolitik sollen nicht nur die naturwissenschaftlichen Analysefaktoren berücksichtigt werden, sondern auch die wirtschaftlichen:

1. Gewinn aus der Produktion, wenn die Schadstoffemission als ein Produktionsfaktor angenommen wird.
2. Zeitpräferenz der Umweltpolitik in Bezug auf Schadensreduktion und auf entstehende Kosten.

Die Berücksichtigung dieser Faktoren ermöglicht es, die Umweltpolitik auf intertemporale Ebene zu erweitern. Wir haben gesehen, dass die optimale Menge der Emissionsreduktion in einem Gleichgewicht, bei dem die Grenzschadenskosten und die Grenzvermeidungskosten gleich sind, bestimmt wird, sodass ein optimaler Preis sich bildet. Weiterhin haben wir über regionale Umweltpolitik gesprochen. Bei unterschiedlicher regionaler Umweltpolitik wurden verschiedene Präferenzen aufgrund des Realeinkommens und des Klimazustandes jeder Region berücksichtigt. Um gegenwärtig die Endergebnisse einer intertemporalen Politik in den verschiedenen Generationen vergleichen zu können, muss die Zeitpräferenz bedacht werden. Bezüglich dieser Zeitpräferenz können wir sagen, dass die Grenzschadenskosten im Zeitlauf konstant, aber die Grenzvermeidungskosten abhängig von der jeweiligen Zeitpräferenz sind. Wenn die Zeitpräferenz im Kal-

kül des optimalen Emissionspreises eingeschlossen wird, könnte dieser neu entschieden werden, aber unterschiedlich für jede Region. Diese Preise können sich durch den Außenhandel der Emission einem internationalen, optimalen Preis annähern. Da wir die abstrakte Präferenz der nächsten Generation nicht berechnen können, können wir die Zeitpräferenz nur als ein Ergänzungsmittel für die Abschreibung oder Inflation, also als einen Zinssatz betrachten. In der marktwirtschaftlichen Umweltpolitik sollten die Entscheidungen dynamisch getroffen werden, unabhängig von nachhaltigem Wachstum, das durch den Umweltschutz bedingt ist, sondern abhängig von dem Wirtschaftswachstum, in dem die umwelttechnische Bedingung als ein negativer Wachstumsfaktor berücksichtigt wird.²²¹

Solange eine bestimmte Erwärmung, die durch sogenannte Immission²²² verursacht wird, als eines der Elemente der Lebensqualität angesehen werden kann, könnten alle Komplikationen aus dem Definitionsproblem der nachhaltigen Entwicklung entstehen, wenn dieses Element sich als ein besonderes, unverzichtbares Sozialziel²²³ spezifiziert und alle anderen Ziele diesem Ziel untergeordnet werden. Diese Aspekte und die daraus folgende Politik gehen auf den bekannten Ansatz von T.R.Malthus zurück. Faktisch beinhaltet das Kyoto-Protokoll diese Aspekte, indem es das Ziel setzt, die gegenwärtigen und zukünftigen Schadstoffemissionen auf dem Emissionsniveau von 1990 für die nächste Generation zu fixieren.

Wenn wir die Sozialwohlfaht als eine Funktion der Lebensqualität darstellen und daher die Umweltbelastung und die dadurch bedingten Schäden in die Wohlfahrtsfunktion einsetzen können,²²⁴ dann stellt sich die wichtige Frage, ob diese Sozialwohlfahtsfunktion das besondere Sozialziel der Nachhaltigkeit erfüllt, unter dem jene Lebensqualität sich nicht vermindern darf. Die Antwort ist „Nein“, weil es keine Möglichkeit für eine noch so kleine Reduktion der Schadstoffemission ohne Einbuße an Lebensqualität gibt. Nordhaus (1992) hat dieses Problem gezeigt, indem er die Erde als ein Raumschiff betrachtet, das begrenzte Lebensmittelvorräte hat. Wenn wir in dieser Situation das beson-

²²¹ Vgl. Wilfred Beckerman, A.a.O., S. 482.

²²² Die Immission bedeutet die Akkumulation der emittierten Schadstoffe. Siehe zur Erklärung, Dieter Cansier (1993), Umweltökonomie, Jena, S. 5.

²²³ Die Elemente des Sozialziels enthalten ein reales Pro-Kopf-Einkommen, Gesundheit und Ernährung, Ressourcenerhalten, Erziehung, eine gerechte Einkommensverteilung und grundlegende Freiheiten usw. Vgl. David W. Pearce und Anil. Markandya (1990), Sustainable Development, in: Economics and Environment in the Third World, Worcester, S. 3.

²²⁴ Vgl. Dieter Cansier (1993), A.a.O., S. 312.

dere Sozialziel der Nachhaltigkeit aufstellen, werden die Leute im Raumschiff ab sofort keine Lebensmittel mehr verbrauchen dürfen. Wenn wir dies auf das Umweltproblem übertragen, müsste die Weltbevölkerung sofort aufhören, die Schadstoffe, die auf der Seite der Produktion als Produktionsfaktor angesehen werden, zu emittieren. Er hat die intertemporale Ressourcenallokation als Lösung dieses Problems vorgestellt. Bei dieser Lösung soll nur ein bestimmter Prozentsatz aller Ressourcen während eines Zeitraums verbraucht werden, dieser Prozentsatz wird auf den nächsten Zeitraum übertragen, sodass sich der gesmate Verbrauch der Ressourcen verzögert. Genauso soll mit der Emissionsreduktion von Treibhausgasen verfahren werden. Anhand dieser Regel kann die Schadstoffemission stationär verteilt werden. Nur mit einer Umweltpolitik dieser Art der Nachhaltigkeit kann das Wirtschaftswachstum in Bezug auf die Emission nicht negativ ausfallen. Aber eine nachhaltige Umweltpolitik, die den Ausstoß von Treibhausgasen fixieren will, kann das Überleben der Menschheit nicht garantieren. Aus der logischen Überlegung über das nachhaltige Wachstum, dass jede Generation die Kapazität der Atmosphäre und Wirtschaftszustände am besten selbst bemessen kann, sodass die emittierbare Schadstoffmenge in jeder Generation unterschiedlich ist, folgt, dass die jeweilige Lebensqualität, die mit den intertemporal unterschiedlichen Emissionsmengen verbunden ist, auf unterschiedlichen Wachstumspfaden liegt. Dann können wir einen Weg finden, auf dem der Erwartungswert unserer Lebensqualität maximiert wird.²²⁵ Daher können wir sagen, dass der optimale Verbrauch der Emission sich auf die optimale Wachstumsrate beschränkt.²²⁶

2. Optimale Zahlungsbereitschaft im Falle der Klimaveränderung

Solange von der wirtschaftlichen Auswirkung der Schadstoffemission gesprochen wird, verlangt die Diskussion über die intertemporal optimale Umweltpolitik vor allem das Verständnis über die allgemeine Gleichgewichtswachstumstheorie, die die Produktion

²²⁵ Vgl. William C. Nordhaus, A.a.O., 1992, S. 226–229.

²²⁶ Nach Hicks wird als echtes Einkommen (ein echtes nachhaltiges Einkommen im Sinne von Cansier) die produzierte Gütermenge verstanden, die in einer Periode maximal konsumiert werden kann, ohne dass zukünftige Konsummöglichkeiten eingeschränkt werden. Durch weitere Interpretation der Idee der Nachhaltigkeit ist es möglich, nur auf die produzierten Konsumgüter abzustellen. Vgl. Dieter Cansier (1993), A.a.O., S. 315–316.

in Bezug auf die Schadstoffemission, den Konsum und die Entscheidung über einen optimalen Wachstumspfad beinhaltet. Auf der Grundlage dieser Theorie kann das Ramsey-Cass-Koopmans-Modell betrachtet werden.²²⁷ Bei diesem Modell ist die Wohlfahrtsfunktion eine Funktion der Zeitvariablen. Es wird angenommen, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt eine neue Technik, die das Problem der globalen Erwärmung lösen kann, erfunden wird. In diesem Modell ist eine Kernannahme das Gleichgewichtswachstum der Ressourcen, unter dem die durch anthropogene Schadstoffemission verursachte Veränderung der Umweltbedingung, hier Temperatur genannt, der Veränderung des realen Wertes der Wirtschaftsaktivität entspricht.

2.1. Konsumoptimum bei Gleichgewichtswachstum

Nehmen wir an, dass die in der Atmosphäre akkumulierten Treibhausgase Schaden verursachen, dann ist der auf die Schadstoffe bezogene Konsum das von diesem Schaden subtrahierte Produktionseinkommen, sodass wir den Pro-Kopf-Konsum wie folgt darstellen können:²²⁸

$$c(t) = y^* e^{gt} (k[E^*] - \phi[T^*]) \quad (38)$$

Hierbei gilt: $c(t)$ = Pro-Kopf-Konsum in Periode t ,
 y^* = konstantes Pro-Kopf-Einkommen,
 g = Wachstumsrate des Einkommens,
 $y = y^* e^{gt}$ = Output vor dem Klimaproblem,
 $k[E^*]$ = Produktionskosten aufgrund des Produktionsfaktors „Emission“
 E^* = Gleichgewichtsemissionsmenge in der Periode t ,
 $\phi[T^*]$ = Schaden bei der in Periode t gegebenen Temperatur,
 T^* = Temperatur im Gleichgewichtswachstum.

Anhand unserer Annahme, dass durch die Erfindung einer neuen Technologie kein Schaden ab diesem Zeitpunkt mehr entsteht, können wir die soziale Wohlfahrtsfunktion aus der Konsumfunktion wie folgt skizzieren:

²²⁷ Vgl. David Romer (2001), *Advanced Macroeconomics*, 2. Aufl., Boston, S. 48.

²²⁸ Vgl. William D. Nordhaus (1991), *A.a.O.*, S. 925.

$$W(t) = \int_0^{\tau} u[c(t)] \cdot e^{-\rho t} dt + \int_{\tau}^{\infty} B \cdot e^{-\rho t} dt. \quad (39)$$

Hierbei gilt: ρ = reale Diskontrate,²²⁹
 τ = Lösungszeitpunkt
 B = der in jeder Periode erwartete, gleiche Anstieg der Wohlfahrt nach Erfindung der schadenvermeidenden Technologie.

Solange die soziale Wohlfahrtsfunktion eine Funktion der Zeit ist, soll sie die Summe der Nutzen aller Perioden sein, die durch die reale Diskontrate in der Gegenwart bewertet wird. Der erste Summand in der rechten Gleichung von (39) ist die Summe des in jeder Periode erwarteten Nutzens bis zum Lösungszeitpunkt τ . Der zweite Summand in dieser Gleichung bezeichnet eine Situation nach der Erfindung der neuen Technologie, sodass ein bestimmtes Einkommen in Bezug auf die Schadstoffemission hergestellt wird, und daher der gleiche Anteil des Gesamteinkommens in jeder Periode konstant konsumiert wird. Da die Nutzenfunktion eine momentane Funktion des Konsums ist: $u[c(t)] = c(t)/(1-\alpha)$, kann man Gleichung (39) als Wohlfahrtsfunktion mit der momentanen Nutzenfunktion wie folgt neu beschreiben:

$$W_j(t) = \int_{t=0}^{\tau} \frac{c_j(t)^{1-\alpha}}{1-\alpha} e^{-\rho t} dt + \int_{\tau}^{\infty} B \cdot e^{-\rho t} dt. \quad (40)$$

Hierbei gilt: α = der Index der konstant relevanten Risikoaversion.

Da der optimale erwartete Konsumpfad durch die Wachstumsrate g bestimmt wird, können wir ihn wie folgt beschreiben:

$$c(t) = c_0 \cdot e^{gt}. \quad (41)$$

Durch das Einsetzen der Gleichung (41) in (40) erhalten wir die folgende Wohlfahrtswachstumsfunktion:

$$W_j(t) = \frac{c_0^{1-\alpha}}{1-\alpha} \int_0^T e^{[g(1-\alpha)-\rho]t} dt + B \int_T^{\infty} e^{-\rho t} dt. \quad (42)$$

Wenn wir annehmen, dass die Wahrscheinlichkeit für die Erfindung der neuen Technik

²²⁹ Je größer die Diskontrate, desto kleiner ist der Wert des zukünftigen Konsums im Vergleich zum gegenwärtigen.

konstant im Lauf der Zeit zunimmt, dann können wir die intertemporale Wohlfahrtsfunktion mit dem Wahrscheinlichkeitsindex π als Form der folgenden Bernoulli-Funktion skizzieren:²³⁰

$$\max_{c(t)} \Phi = \int_0^{\infty} W(t)f(t)dt; \quad f(\tau) = \pi e^{-\pi\tau}. \quad (43)$$

Hierbei gilt: π = Wahrscheinlichkeit in jeder Periode für die Erfindung einer neuen Technologie,
 $f(t)$ = Wachstumsfunktion dieser Wahrscheinlichkeit.

Indem wir Gleichung (42) in Gleichung (43) einsetzen, können wir die Zielfunktion erhalten, in der wir den zweiten Summanden von Gleichung (42) nicht mehr zu berücksichtigen brauchen.

$$\max_{c(t)} \Phi = \int_0^{\infty} \pi e^{-\pi t} \left[\frac{c_0^{1-\alpha}}{1-\alpha} e^{[g(1-\alpha)-\rho]t} \right] dt. \quad (44)$$

Diese Funktion ist eine Wohlfahrtsfunktion, die die Wahrscheinlichkeit für die Erfindung der neuen Technologie und die Nutzenänderung durch die Schadstoffemission beinhaltet.

2.2. Diskontrate und Wachstumsrate

Da die im Kapitel D erwähnten naturwissenschaftlichen Indizes im wirtschaftlichen Bereich als gegeben angesehen werden können, ignorieren wir sie in diesem Abschnitt. Sie sollen in einem späteren Abschnitt wieder betrachtet werden. Eine langfristig angelegte Politik sollte bei ihren Entscheidungen jedoch immer wirtschaftliche und kontrollierbare

²³⁰ In Bezug auf Gleichung (43) kann man erkennen, dass diese Wohlfahrtsfunktion eine Bernoulli-Nutzenfunktion ist:

$$E_j = \sum_{i=1}^m u(c_{ij})f_i(t).$$

Bei der Bernoulli-Nutzenfunktion, die eine subjektive Nutzenfunktion ist, gibt es eine für jeden Entscheidungsträger charakteristische Funktion. Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon (1993), 13. Aufl., Wiesbaden.

Indizes, wie z.B. die gesellschaftliche Diskontrate ρ , berücksichtigen.

Um die Diskontrate ρ zu definieren, betrachten wir die intertemporale Konsumausgabe mit der Zielfunktion (44). Sie hängt von der realen Rate der Kapitalrente ab, d.h., wenn man eine Investition in Periode 0 in Höhe von einer Einheit tätigt, dann erhält man in Periode 1 die Kapitalrente $e^{R(t)}$ mit dem Kapitalrentensatz R . Diese Rate kann durch eine empirische Untersuchung in Bezug auf den Kapitalrentensatz bestimmt werden. Damit kann man eine im Zeitlauf konstante Integralfunktion des Zinssatzes beschreiben: $R(t) = \int_{t=0}^{\infty} r(t)dt$. Ebenfalls kann man sagen, dass der Wert einer Einheit des Outputs in Periode t aufgrund des Outputs in Periode 0 $e^{-R(t)}$ sei. Dann kann die intertemporale Konsumausgabe mit der Gleichung (41) wie folgt beschrieben werden:

$$A = \int_{t=0}^{\infty} e^{-R(t)} [c_0 e^{gt}] dt. \quad (45)$$

Da unser Ziel die Maximierung der Wohlfahrtsfunktion, Gleichung (44), unter der Konsumausgabe, Gleichung (45), ist, können wir die Bedingung für die Wohlfahrtsmaximierung durch die Lösung der folgenden Lagrange-Funktion erhalten:

$$L = \int_0^{\infty} \pi e^{-\pi t} \left[\frac{c_0^{1-\alpha}}{1-\alpha} e^{[g(1-\alpha)-\rho]t} \right] dt - \lambda \int_{t=0}^{\infty} e^{-R(t)} [c_0 e^{gt}] dt. \quad (46)$$

Der optimale Konsum in Periode t muss bestimmt werden. Die Bedingung erster Ordnung für optimalen Konsum in Periode t ist:

$$\pi c_0^{-\alpha} e^{[g(1-\alpha)-\rho-\pi]t} - \lambda c_0 e^{-R(t)} e^{gt} = 0. \quad (47)$$

Wenn wir annehmen, dass der Konsum in der Gegenwart c_0 maximiert ist, dann muss das gegenwärtig mögliche Einkommen $\pi \cdot c_0^{-\alpha}$ dem erwarteten Gegenwartskonsum $\lambda \cdot c_0$ entsprechen: $\pi \cdot c_0^{-\alpha} / \lambda \cdot c_0 = 1$. Solange wir die Integralfunktion des Kapitalrentensatzes als konstant annehmen; $R(t) = \int_{t=0}^{\infty} r(t)dt$, können wir die folgende Bedingung des optimalen Konsums in der Gegenwart in das intertemporale Wohlfahrtswachstumsmodell integrieren:²³¹

$$r = \pi + \rho + \alpha g. \quad (48)$$

²³¹ Vgl. William D. Nordhaus (1992), A.a.O., S. 225.

Unter der Annahme, dass keine Ungleichheit zwischen den Generationen existiert, $\alpha = 1$, und die Erfindung einer neuen Technologie ignoriert wird, sodass deren Wahrscheinlichkeit null ist; $\pi = 0$, ist der Kapitalrentensatz mit der Summe der Diskontrate und der Wachstumsrate identisch: $r = \rho + g$.²³² Unter dieser Bedingung kann die gegenwärtige Generation ihren Konsum optimieren. Schließlich kann man sagen, dass das Kontrollieren der Diskont- und Wachstumsrate für ein nachhaltiges Wachstum bei bestehenden Klimaproblemen wichtig ist. Besonders bei der jetzigen Politik, deren Effekte erst zu späteren Zeitpunkten sichtbar werden, ist die Berücksichtigung der Auswirkung der Diskontierung dominant.²³³

Die Diskontrate als die reine Rate der Zeitpräferenz kann durch konstante Zinssätze bestimmt werden, sodass man sie als eine Funktion von Zinssatz i ansehen kann: $\rho = 1/(1+i)^t$.²³⁴ Eigentlich müssen die Nutzenverluste, die durch den gegenwärtigen Konsumverzicht für öffentliche Projekte entstehen, genau durch die Nutzenverbesserung kompensiert werden, die durch den zusätzlichen Konsum in der Zukunft entsteht. Bei Politikentscheidungen müssen diese gegenwärtigen Nutzenverluste kleiner als die erwartete zukünftige Konsumverbesserung sein. Dies bedeutet, dass die gegenwärtigen Grenznutzen größer als die zukünftigen Grenznutzen sind, sodass die Grenzrate der Substitution zwischen dem Grenznutzen der gegenwärtigen Generation und dem der zukünftigen größer eins ist: $\partial U'_t / \partial U'_{t+1} > 1$. Die Tangente der gesellschaftlichen Differenz zwischen den Grenznutzen der Generationen kann durch die soziale Zeitpräferenz ρ skizziert werden: $\partial U'_t / \partial U'_{t+1} = 1 + \rho$. Im Gleichgewicht entspricht die Tangente der Grenzrate der Transformation zwischen den Generationen, was den Unterschied zwischen der Bruttoproduktivität des gegenwärtigen Investments und der des zukünftigen bedeutet und eins plus Nettokapitalproduktivität bzw. Kapitalrente r ist: $1 + r$. Daher können wir die Gleichung $1 + r = 1 + \rho$ erhalten.²³⁵ Zur Bewertung einer öffentlichen Politik müsste man genau den Anlagezins finden, bei dem die Laufzeit und das Risiko dem der öffentlichen Politik entsprechen.

²³² Vgl. David Romer (2001), A.a.O., S. 54–55. Vgl. Ludwig von Mises (1996), *Human Action: A Treatise on Economics*, Chicago, S. 485.

²³³ Vgl. Robert L. Bradley Jr (2003). *Climate Alarmism Reconsidered*, The Institute of Economic Affairs, London.

²³⁴ Vgl. William D. Nordhaus (2000), A.a.O., S. 15. Wenn eine Gesellschaft zwischen den Steigerungen der heutigen Wohlfahrt und der zukünftigen Wohlfahrt nicht differenziert, können wir sagen, dass die reine Rate der gesellschaftlichen Zeitpräferenz ρ -Prozent pro Jahr ist.

²³⁵ Zur graphischen Ableitung von der sozialen Zeitpräferenz und der Rate der Kapitalrente siehe: Holger Mühlhamp (1994), A.a.O., S. 177–182.

2.3. Optimale Emission aufgrund optimalen Konsums

Betrachten wir noch einmal Gleichung (44), dann kann sie wie folgt vereinfacht werden:

$$\max_{c(t)} \Phi = \frac{\pi c_0^{1-\alpha}}{(1-\alpha)} \left[\frac{1}{g(1-\alpha) - \rho - \pi} \right]. \quad (49)$$

Wir nehmen an, dass die Anfangsemissionsmenge $E(0)$ gegeben ist, und die Änderung der Emissionsmenge in einer bestimmten Periode von der Konsummenge in derselben Periode abhängt, solange die Ausgabe für die Emissionsreduktion die Reduktion des Konsums bedeutet: $-\dot{E}(t) = -c(t)$. Durch die Integralfunktion der Zeit können wir die Emissionsfunktion mit dem optimalen Konsumpfad (41) wie folgt beschreiben:

$$E(t) = \int_0^{\infty} c_0 e^{gt} dt = c_0/g. \quad (50)$$

Da $c_0 = g \cdot E(t)$ ist, kann die Zielfunktion mit dem Ergebnis der Gleichung (49) wie folgt beschrieben werden:

$$\Phi = \frac{(g \cdot E(t))^{1-\alpha}}{(1-\alpha)} \left[\frac{1}{[g(1-\alpha) - \rho - \pi]} \right]. \quad (51)$$

Da der optimale Konsum, der die Wohlfahrt im ewigen Zeithorizont maximiert, durch die optimale Wachstumsrate entschieden wird, können wir die Bedingung für das Wohlfahrtsmaximum dadurch ableiten, dass wir Gleichung (48) nach der Wachstumsrate differenzieren:

$$g^{-\alpha} \cdot E(t)^{1-\alpha} \left[\frac{1}{[g(1-\alpha) - \rho - \pi]} \right] (1 - g \left[\frac{1}{[g(1-\alpha) - \rho - \pi]} \right]) = 0. \quad (52)$$

Dann ist die Wachstumsrate der Emission, die die Wohlfahrt im ewigen Zeithorizont maximiert, wie folgt:

$$g = -(\rho + \pi)/\alpha. \quad (53)$$

Aus den Gleichungen (50), (52) und (53) können wir folgende abnehmende Emissionsfunktion erhalten:

$$\dot{E}(t) = -\frac{\rho + \pi}{\alpha} E(t). \quad (54)$$

Solange die Emissionsänderung der Konsumreduktion entspricht; $-\dot{E}(t) = -c(t)$, ist die letzte Bedingung für die optimale Emission wie folgt:²³⁶

$$c(t) = -\frac{\rho + \pi}{\alpha} E(t). \quad (55)$$

Diese Gleichung zeigt eine Konsumregel, in der eine Konsumreduktion als die Kompensation der Emissionsreduktion dargestellt wird. Je größer die reine Zeitpräferenzrate und die Wahrscheinlichkeit für neue Techniken sind, desto größer ist die gegenwärtige Konsumreduktion aufgrund der gegenwärtigen Emissionsreduktion, sodass die Ausgaben für die Emissionsreduktion eine umso kleinere Bedeutung deswegen haben, weil die von der gegenwärtigen Umweltpolitik ausgelöste, größere Konsumreduktion unter dem Vorhandensein einer größeren Zeitpräferenz eine kleinere zukünftige Nutzensteigerung verursacht. Ebenfalls kann die größere Wahrscheinlichkeit für eine neue Technik die Ausgaben für die Umweltpolitik kurzfristig unsinnig machen, sodass die gegenwärtigen Ausgaben für die nächsten Generationen ein wertloser Aufwand sein können.

2.4. Optimale Zahlungsbereitschaft in Bezug auf die Naturreaktion

Aus den zwei nicht-homogenen Linienfunktionen (Gleichungen (25) und (26)) haben wir die Relevanz zwischen der Veränderung der Temperatur und der anthropogenen Schadstoffemission im physiktheoretischen Bereich erklärt. Es wird angenommen, dass das atmosphärische CO₂ sich dem Assimilationsindex v angleicht, während der Prozentsatz β von den anthropogenen Schadstoffen $\dot{E}(t)$ jährlich in der Atmosphäre akkumuliert wird. Die folgende Differenzfunktion der Temperatur, die aus der komplexen Integralfunktion der Gleichung (26) abgeleitet wird, kann durch den Differenzwert der Schadstoffemission dargestellt werden.²³⁷

²³⁶ Vgl. David Romer (2001), A.a.O., S. 37.

²³⁷ Zur Erklärung siehe Anhang 1.

$$\Delta T = \lambda d\beta \frac{\Delta E(t)}{(\lambda - v)} (e^{-vt} - e^{-\lambda t}). \quad (56)$$

Da die Schadstoffemission in der Anfangsperiode $t=0$ das Einkommen erhöht, aber in den nächsten Perioden $t > 0$ einen Einkommensverlust verursacht, weil sie die Temperatur ab der nächsten Periode verändert, können wir die gegenwärtige Erhöhung des Einkommens (mit der Abschreibung des zukünftigen Schadens), die auf der Schadstoffemission beruht, wie folgt diskret beschreiben:

$$\begin{aligned} \Delta c(t) &= y^* k'[E^*] \Delta E; & \text{falls } t = 0, \\ \Delta c(t) &= -y^* e^{-gt} \phi'[T^*] \Delta T; & \text{falls } t > 0. \end{aligned} \quad (57)$$

Wir haben oben gesehen, dass die Steigerung der Temperatur ΔT eine Funktion der Emission ist. Wenn wir zur Vereinfachung der Diskussion annehmen, dass der anfängliche Konsumpfad mit der Steigerung der Schadstoffemission, d.h. die Emission im intertemporalen Sinne, optimal ist, dann muss der Wert der Emissionssteigerung auf dem unendlichen Zeitpfad null sein, damit bei der optimalen Emission der zukünftige Verlust schon in die gegenwärtigen Produktionskosten internalisiert wird. Diese intertemporale Internalisierung können wir in der folgenden Beziehung zwischen Grenzgewinn und Grenzscha den beschreiben.

$$y^* k'[E^*] \Delta E = \int_0^{\infty} [y^* e^{gt} \phi'(T^*) \Delta T] e^{-rt} dt. \quad (58)$$

Die linke Seite in Gleichung (58) bedeutet, dass der Schaden proportional zur Wachstumsrate steigt, und die Politik für die Beseitigung des Schadens proportional zur realen Kapitalrentenrate r in der Gegenwart diskontiert wird. Indem wir die Differenzfunktion der Temperatur (56) in die linke Seite der Gleichung (58) einsetzen, erhalten wir die folgende Gleichung:

$$\begin{aligned} y^* k'[E^*] \Delta E &= y^* \phi'(T^*) \lambda d\beta \frac{\Delta E(t)}{(\lambda - v)} \left[\frac{1}{(v + r - g)} - \frac{1}{(\lambda + r - g)} \right] \\ &= y^* \phi'(T^*) d\beta \Delta E \psi. \end{aligned} \quad (59)$$

Hierbei gilt:
$$\psi = \frac{\lambda}{(v + r - g)(\lambda + r - g)}.$$

Durch Vergleich der linken und rechten Funktionen in Gleichung (59) können wir den Grenzwert $k'[E^*]$ erhalten, der eine Zahlungsbereitschaft für die Emissionsreduktion als

die Bedingung einer optimalen Ressourcenallokation bzw. einer optimalen Schadstoffemission zwischen den Generationen darstellt:²³⁸

$$k'[E^*] = \phi'(T^*)d\beta\psi. \quad (60)$$

Hierbei gilt:

- ψ = Gegenwartswert
- λ = Verzögerungsparameter der Temperatur in Bezug auf die Radioaktivität,
- d = Sensibilität der Temperatur,
- $\phi'[T^*]$ = Grenzscha-den unter Gleichgewichtswachstum,
- β = in Atmosphäre akkumulierter Anteil anthropogener Emission,
- v = Beseitigungsrate von CO₂ in der Atmosphäre.
- r = reale Rate der Kapitalrente,
- g = Wachstumsrate.

Betrachten wir wieder Gleichung (48), so können wir den Gegenwartswert ψ mit der Diskontrate neu beschreiben. Dann wird die optimale Zahlungsbereitschaft im wirtschaftlichen Sinne als eine Funktion der Diskontrate und der Wahrscheinlichkeit für eine neue Technik der Problemlösung angenommen, wenn keine Ungleichheit zwischen den Generationen vorhanden ist.

$$k'[E^*] = \phi'(T^*)d\cdot\beta\cdot\psi; \quad \text{Hierbei } \psi = \frac{\lambda}{(v + \rho + \pi)(\lambda + \rho + \pi)}. \quad (60')$$

3. Einbeziehung der Erwärmung in den Wirtschaftssektor

Mit dieser Modellstrukturierung sollen zwei Indizes erklärt werden: Erstens der Verbindungsindex zwischen Wirtschaft und Erwärmung, und zweitens der Emissionspreis. Bei der naturwissenschaftlichen Analyse der Erwärmung wird gezeigt, dass die Veränderung der Temperatur mit der atmosphärischen Akkumulation des Kohlendioxids in physikalischem und geographischem Zusammenhang steht. Aber die physikalische Erklärung dieser Relevanz ist noch nicht ausreichend, um das daraus folgende Ergebnis in

²³⁸ Vgl. William D. Nordhaus (1991), A.a.O., S.924–926.

den wirtschaftlichen Modellen anzuwenden. Daher wird gefordert, die von den Naturwissenschaften hervorgehobene Kausalität als ein in der Wirtschaft anwendbares Instrument umzuformulieren.²³⁹

Dann stellt sich die wichtige Frage, wie der aus der Erwärmung folgende Schaden zu berechnen ist, der im naturwissenschaftlichen Sinne je nach Klimasensibilität unterschiedlich für jede Region ist. Dazu kann gesagt werden, dass die optimale Schadstoffmenge je nach wirtschaftlichem Zustand einer Region kleiner oder größer sein kann als die gegenwärtig emittierte Schadstoffmenge. Um dieses Problem zu lösen, muss die Beziehung zwischen der Steigerung der globalen Temperatur und der Veränderung des Einkommensverlustes in jeder Region aufgezeigt werden. Wenn wir annehmen, dass die Schadenssteigerung quadratisch proportional zur Temperaturerhöhung ist, dann kann man folgende Schadensfunktion $D(t)$ erhalten:²⁴⁰

$$D_j(t) = \theta_{1j}T(t) + \theta_{2j}T(t)^2. \quad (61)$$

Hierbei gilt: $D(t)$ = Schaden aus Klimaveränderung,
 θ_1 = durch Bevölkerungszahl gewichteter Wirkungsindex,
 θ_2 = durch Output gewichteter Wirkungsindex.

In dieser Funktion zeigt das tief gestellte j eine der drei Regionen an, die wie bereits erwähnt durch die Einteilung der Welt nach der Klimasensibilität hervorgehen. Dann kann man den Schaden in beiden Fällen als einen Prozentsatz des Bruttoinlandsprodukts in die Wirtschaft internalisieren. Der Unterschied zwischen dem durch Temperaturanstieg veränderten Einkommen und dem unbegrenzt erwarteten Einkommen kann als Schaden angesehen werden. Durch die Schadensfunktion ist die folgende Verbindungsfunktion zwischen der Wirtschaft und der Erwärmung berechnet:

$$\Omega = 1/[1+D(t)]. \quad (62)$$

Diese Gleichung zeigt: Je kleiner der Schaden aus der Erwärmung, desto stärker nähert sich der Verbindungsindex 1 an, sodass man durch die Verbindungsfunktion indizieren kann: je kleiner dieser Index, desto größer der Einfluss des Temperaturanstiegs auf die Wirtschaft.

²³⁹ Vgl. Gary W. Yohe (1997), First principles and the economic comparison of regulatory alternatives in global change, in: Ferenc L. Toth (Hrsg.), Cost-Benefit Analyses of Climate Change: The Broader perspectives, Basel, S. 18.

²⁴⁰ Vgl. William D. Nordhaus und Joseph Boyer (2000), Warming the World: Economic Models of Global Warming, MIT Press, S. 23.

Zweitens ist der intertemporale und regionale Emissionspreis zu berücksichtigen. In den letzten Kapiteln haben wir gesehen, dass die global optimale Allokation der Emission erreicht werden kann, wenn der Emissionspreis durch internationalen Handel festgelegt wird. Die Emissionsallokation ist schon pareto-optimal für die Generationen, solange diese marktwirtschaftliche Umweltpolitik auf der intertemporalen Wohlfahrtsfunktion basiert. In dieser Arbeit werde ich nicht über die Wahrscheinlichkeit der Erfindung einer neuen Technik sprechen, denn, falls solch eine Technik entstehen sollte, dann wäre das übergreifende Umweltproblem in dieser Form gar nicht mehr vorhanden.

Wenn wir die emittierbare Schadstoffmenge mit der Einkommenswachstumsrate identifizieren und eine angemessene Reaktion auf alle länderübergreifenden Umweltprobleme annehmen, dann könnten die globale und regionale Wirtschaft wahrscheinlich ohne irgendeinen Verlust ihres Realeinkommens weiter auf dem Wachstumspfad verbleiben. Aber der Versuch, alle globalen Umweltprobleme sofort zu lösen, würde die Wirtschaft mit einem Schlag ruinieren. Daher wird ein umsichtiger Vergleich zwischen den verschiedenen politischen Strategien und deren Konsequenzen gefordert. Dieser Vergleich muss nicht nur beständig zwischen den Generationen erfolgen, sondern auch zwischen den Regionen. Aus dieser Anforderung heraus soll das dynamische Modell auf die regionale Ebene ausgeweitet werden.

Anhang 1. Temperaturanstieg bei einmaliger Schadstoffemission

Die Steigerung der Schadstoffakkumulation in der Atmosphäre: $\dot{M}(t) = \beta E(t) - vM(t)$

Integralindex: e^{vt}

Die Differenzialfunktion ist $e^{vt}dM + e^{vt}[vM - \beta E]dt = 0$.

Lösung

1. Integralfunktion von M $F(M, t) = \int e^{vt}dM + z(t) = Me^{vt} + z(t)$

2. Diffenzial von F nach t $\frac{\partial F}{\partial t} = Mve^{vt} + \frac{dz}{dt}$

Da $e^{vt}[vM(t) - \beta E(t)] = N = \frac{\partial F}{\partial t} = Mve^{vt} + \frac{dz}{dt}$ ist, ist $\frac{dz}{dt} = -\beta E(t)e^{vt}$

3. Integral von z $z = -\int \beta E(t)e^{vt}dt$

4. Einsetzen in 1 also, $F(M, t) = Me^{vt} - \int \beta E(t)e^{vt}dt$

Allgemeine Form: $Me^{\int vdt} = \beta \int E(t)e^{\int vdt}dt + A$

$$M = e^{-vt} \beta \int E(t)e^{vt}dt + e^{-vt}A$$

Die Steigerung der Temperatur: $\dot{T}(t) = \lambda \{dM(t) - T(t)\}$

Integralindex: $e^{\lambda t}$

Die Differenzialfunktion ist $e^{\lambda t}dT + e^{\lambda t}[\lambda T(t) - d\lambda M(t)]dt = 0$.

Lösung

1. Integral von T $F(T, t) = \int e^{\lambda t}dT + z(t) = Te^{\lambda t} + z(t)$

2. Differenzial von F nach t $\frac{\partial F}{\partial t} = T\lambda e^{\lambda t} + \frac{dz}{dt}$

Da $e^{\lambda t}[\lambda T(t) - \lambda dM(t)] = N = \frac{\partial F}{\partial t} = T\lambda e^{\lambda t} + \frac{dz}{dt}$ ist, ist $\frac{dz}{dt} = -d\lambda M(t)e^{\lambda t}$

3. Integral $z = -\int d\lambda Me^{\lambda t}dt$

4. Einsetzen in 1, also $F(T, t) = \int e^{\lambda t} dT + z(t) = Te^{\lambda t} - \int d\lambda M(t)e^{\lambda t} dt$

Allgemeine Form: $Te^{\int \lambda dt} = d\lambda \int M(t)e^{\int \lambda dt} dt + c .$

$$T = e^{-\int \lambda dt} [B + d\lambda \int M(t)e^{\int \lambda dt} dt]$$

$$\dot{M}(t) = \beta E(t) - vM(t)$$

$$\dot{T}(t) = d\lambda M(t) - \lambda T(t)$$

$$dM/dt + vM(t) = \beta E(t)$$

$$dT/dt + \lambda T(t) = d\lambda M(t)$$

$$M = e^{-vt} [M(0) - \beta E(t)/v + \int \beta E(t)e^{vt} dt]$$

$$T = e^{-\lambda t} [T(0) - dM(t) + d \int M(t)e^{\lambda t} dt]$$

$$M = e^{-vt} [-\beta E(t)/v + \int E(t)e^{vt} dt]$$

$$T = e^{-\lambda t} [-dM(t) + d \int M(t)e^{\lambda t} dt]$$

Betrachten wir einmalige Schadstoffemission in Periode t $\Delta E(t)$, dann ist die Steigerung der Schadstoffakkumulation in der Atmosphäre wie folgt:

$$\Delta M = e^{-vt} \beta \Delta E(t).$$

Setzen wir diese Akkumulation in die Temperaturfunktion ein, dann erhalten wir die Änderung der Temperatur wie folgt:

$$\begin{aligned} \Delta T &= e^{-\lambda t} [d\beta \Delta E(t) \int e^{-vt} e^{\lambda t} dt] \\ &= e^{-\lambda t} d\beta \Delta E(t) \int_0^t e^{(v-\lambda)\tau} d\tau \\ &= e^{-\lambda t} d\beta \Delta E(t) [e^{(v-\lambda)t}/(\lambda - v) - e^{(v-\lambda)0}/(\lambda - v)] \\ &= e^{-\lambda t} d\beta \Delta E(t) [e^{(v-\lambda)t}/(\lambda - v) - 1/(\lambda - v)] \\ &= e^{-\lambda t} d\beta \Delta E(t) [e^{(v-\lambda)t} - 1]/(\lambda - v) \end{aligned}$$

$$\Delta T = d\beta \Delta E(t) \frac{e^{-vt} - e^{-\lambda t}}{\lambda - v}$$

F. Simulation des länderübergreifenden Umweltproblem

1. Einführung der Simulation in der Umweltwirtschaft

Da die Antwort auf die Frage, ob die von den Umweltschützern prophezeite Zerstörung des Treibhauseffekts durch übermäßige Emission anthropogener Treibhausgase richtig ist, naturwissenschaftlich noch nicht belegt werden kann, können wir uns nur durch eine Simulation ansehen, in welcher Größenordnung die Erwärmung ausfällt. Die Simulation im naturwissenschaftlichen Bereich kann auch auf den Wirtschaftsbereich übertragen werden und zwar in einer Weise, indem der Einfluss der simulierten Erwärmung auf das Realeinkommen in einer Region untersucht wird. Da wir wissen, dass sich die Schadstoffemission einerseits auf die Produktion positiv auswirkt, dass sie aber andererseits das Realeinkommen reduziert, können wir auch die Effekte der Umweltpolitik in einer Region vorhersehen und dazu den Effekt des internationalen Handels der Emissionsmengen, die durch die regionale Umweltpolitik, besonders durch den inländischen Emissionspreis entschieden wird.

Die theoretischen Erklärungen über das länderübergreifende langfristige Problem der Erwärmung und die Politik zur Problemlösung werden in einer dynamischen Simulation verbunden, die die Antwort auf die Frage gibt, welches Endergebnis die Veränderung eines Anfangswerts einer Variablen verursacht, oder auf welche Ursache ein vorliegendes Problem zurückzuführen ist. Im Allgemeinen kann man sagen, dass die Erdatmosphäre ein Aufnahmemedium für emittierte Schadstoffe ist. Der Meinung der Naturwissenschaftler zufolge hat der Treibhauseffekt einen dynamischen Zyklus im Zeitablauf, und alle Lebewesen auf der Erde überleben durch die Anpassung an die Temperatur, die sich langfristig zyklisch bewegt. Für Menschen kann die Anpassungsstrategie zur marktwirtschaftlichen Methode führen, bei der die Erdatmosphäre als knappes Gut angesehen wird. Mit der Knappheit der atmosphärischen Kapazität ist in dem vorliegenden Modell auch die natürliche Reduktion von CO₂ parallel zur Anreicherung in der Atmosphäre zu berücksichtigen. Dieser Ansatz ist darauf zurückzuführen, dass das Problem der Entscheidung des Knappheitspreises für die atmosphärische Assimilation aus der Schwächung der Assimilationsfähigkeit und dem technischen Standpunkt be-

leuchtet werden soll. Da es selbstverständlich ist, dass eine Verbesserung der Assimilationsgeschwindigkeit durch technische Entwicklung ermöglicht wird, brauchen wir nicht die technische Entwicklung außerhalb der Assimilationsleistung zu behandeln. Die Wiederherstellung der atmosphärischen Assimilationsfähigkeit bedeutet eine Senkung des Knappheitspreises.

Auf der anderen Seite wird die durch die Reduktion der Schadstoffemission verursachte Einkommensreduktion als Opportunitätskosten der Schadensreduktion betrachtet. Und zwar in dem Sinne, dass bei der Reduktion der Schadstoffemission zwar der Schaden vermindert wird, aber dass trotzdem andere Produktionsfaktoren statt der Schadstoffe im Produktionsprozess eingesetzt werden sollten, denn sonst würde sich das Gesamteinkommen wegen der Produktionssenkung verkleinern und darüber hinaus ein Rücklauf der Wirtschaftsentwicklung ausgelöst werden. Die Reduktion der Schadstoffemission verursacht die Reduktion anderer Produktionsfaktoren deswegen, weil sie bei der Produktion zusammenwirken. Daraus folgt, dass die Produktionsreduktion in einer Gesellschaft zur Reduktion des Produktionsfaktors, der sogenannten Schadstoffe, kostbarer ist als die Ergänzung durch einen anderen Faktor.

Die sich an der Umwelt orientierenden Lobbyisten appellieren auf allen Weltgipfeln, etwas gegen die globale Erwärmung zu unternehmen, und demnach das Kyoto-Protokoll zur Reduktion der Schadstoffemission durchzusetzen. Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet, kann ihr Aufruf nur unter der Voraussetzung folgerichtig sein, dass diese Politik nicht nur weniger kostet als die technische Entwicklung zur Wiederherstellung der atmosphärischen Assimilationsfähigkeit, sondern auch die Kosten dieser Politik verglichen mit der Kapitalrente günstiger sind. Auch wenn wir die Forderungen eines solchen Arrangements erfüllt hätten, sollten wir aber klar sagen, dass sich die Kosten diese Umweltpolitik ständig erhöhen werden.

2. Überblick über die Simulation

Die Emission der Treibhausgase ist ein wichtiger Produktionsfaktor in dem Sinne, dass fast alle Güter durch Schadstoffemission hergestellt werden. Demzufolge kann die Schadstoffemission einerseits eine Klimaveränderung auslösen, die sich auf Treibhausgase zurückführen lässt, und auf der anderen Seite zu Wirtschaftswachstum in einer Ge-

sellschaft führen. In diesem Sinne ist folgendes richtig: Die übermäßige Reduktion der Schadstoffemission ist mit erheblichen Kosten verbunden, sodass die Kosten einer solchen Reduktion viel höher sein können als nur die, die sich auf Umweltfaktoren beziehen (z.B. auch gesellschaftliche Faktoren etc.). Dass diese Kostenbedingungen in entsprechende Preissignale umgesetzt werden, ist im Sinne der Informations- und Lenkungsfunction des Preises, wie schon oben erwähnt, äußerst wünschenswert. Denn je besser die veränderten Knappheiten in Relativpreisänderungen umgesetzt werden, desto flexibler reagiert die Wirtschaft auf strukturelle Anpassungszwänge.

Um den damit angesprochenen Zusammenhang systematisch zu analysieren, wird zuerst ein Modell konstruiert, das diese scheinbar gegeneinanderstehende Beziehung zwischen der Klimaveränderung und dem Wirtschaftswachstum darstellt, und danach die Umweltpolitik in dieses Modell einsetzt. Doch geht es in diesem Kapitel nicht um die Kalkulation der Effizienz der Umweltpolitik an sich, sondern darum, die für die jeweilige Region relativ effiziente Umweltpolitik aufzuzeigen. In Bezug auf die Nutzung der in der vorliegenden Arbeit abgeleiteten Werte ist folgendes zu bedenken: Sie funktionieren nicht als für alle Regionen anwendbare reale Werte, sondern symbolisch, um den komparativen Vorteil des internationalen Handels zur effizienteren Allokation der Schadstoffemission zu zeigen.

Bei der Beschließung der Umweltpolitik zielt jede Region auf eine Reduktion des in der Atmosphäre akkumulierten CO₂ und somit auf eine Abschwächung des möglichen Schadens und katastrophaler Folgen sowie auf die Maximierung ihres daraus entstehenden Nettoeinkommens ab. Zumal jede Region eigene wirtschaftliche und geographische Charakteristika aufweist, ist die Entscheidung darüber von ihrem Pro-Kopf-Einkommen und ihrer Klimasensibilität abhängig. Anhand des Einkommensniveaus sind die Regionen in drei Bereiche zu gliedern: Hohes Einkommensniveau HE, mittleres Einkommensniveau ME und geringes Einkommensniveau NE. Anhand der Klimasensibilität KS sind die Räume in Regionen mit geringer Sensibilität (0,5), mittlerer Sensibilität (1) und hoher Sensibilität (1,5) einzuteilen.

Parallel dazu sind die unsicheren intertemporalen Auswirkungen der Umweltpolitik zu bedenken, die die wirtschaftspolitische Entscheidung nun doch erschweren, weil die jetzigen Anstrengungen zur Vermeidung der globalen Erwärmung nicht in der gegenwärtigen, sondern erst in den nächsten Generationen sichtbar werden. Wie bereits erwähnt, wird in dieser Simulation versucht, nicht nur die wechselseitigen Wirkungen zwischen

den Schadstoffemissionen und der Klimaveränderung zu diagnostizieren, sondern auch den sich auf die Klimaprobleme beziehenden Charakter mittel- und langfristigen wirtschaftlichen Wachstums zu erfassen. Die Klimaveränderung durch die aus allen Regionen emittierten Treibhausgase wirkt sich als ein global negativer externer Effekt auf den ganzen Planeten und gleichmäßig auf alle Regionen aus.

Zur Simulation dieser angesprochenen Zusammenhänge wird die POWERSIM-Software verwendet, die eine einfache Durchführung der dynamischen Simulation ermöglicht. Um die aus der Simulation resultierenden Werte der Variablen periodisch (bzw. pro Jahrzehnt) anschaulich aufzuzeigen, wurde EXCEL benutzt. Mit diesen Programmen wurde einerseits die Diagnose der Emissionswirkung auf die Wirtschaft, und andererseits die Prognose der globalen Erwärmung und des Wirtschaftswachstums durchgeführt. Die Ergebnisse der in der Umweltwirtschaft eingeführten Umweltpolitik wurden visualisiert. Alle Variablen in diesem Modell sind für jeweils ein Jahr formuliert, werden aber über einen Zeitraum von zehn Jahren dargestellt. Daher werden alle Werte der Variablen am Anfang der Periode gemessen. Diese Arbeit beschreibt jeden Sektor der Simulation.

2.1. Wirtschaftsektor

In Bezug auf die dynamische Analyse der Wirtschaft mag man überzeugt davon sein, dass die Zusammenhänge zwischen den Wirtschaftsfaktoren in dem gegenwärtigen Gleichgewicht beleuchtet werden, indem die Wirkung einer gegenwärtigen Wirtschaftspolitik auf die zukünftige Wirkung veranschaulicht wird. Da das Ziel dieser Simulation eine Veranschaulichung der Grundlage für die Gewinn-Kosten-Analyse in Bezug auf die Klimapolitik ist, betrachten wir das Einkommenswachstum, das nur als eine Exponentialfunktion von der Zeit und der Schadstoffemission festgestellt wird, um den Effekt der Emissionsreduktion zu berechnen. Demzufolge wird das Verhältnis zwischen dem Gewinn aus dem Kapital und dem aus der Schadstoffemission betrachtet.

Da die Emissionsmenge dieses anthropogenen Treibhausgases positiv von dem Produktionsniveau der Regionen abhängt, ist sie anhand der Produktionsstruktur (z.B. der Energieintensität und Kohlendioxid sparender Technologie) in jeder Region unterschied-

lich. Wenn wir zur Einfachheit annehmen, dass das Wirtschaftswachstum „eine streng monoton wachsende Funktion von Zeit“²⁴¹ ist, können wir sagen, dass jede Region zu einem Zeitpunkt in der unterschiedlichen Phase auf ihr mit der unterschiedlichen Wachstumsrate.

Einige Wissenschaftler und die meisten Lobbyisten, die sich mit dem Umweltproblem der globalen Erwärmung beschäftigen, meinen, dass der Schaden sich auf einer monoton steigenden Funktion der Schadstoffemission quadratisch erhöht. Ihre Meinung basiert auf der Bevölkerungstheorie von Malthus (1798). Aber wie das Wachstum der Bevölkerung sich durch das Wachstum der Produktion eingeschränkt hat, kann das Wachstum des Schadens sich auch durch die Produktion beschränken, weil die Wachstumsrate der Schadstoffemission stark mit der Wirtschaftswachstumsrate zusammenhängt.

In diesem Modell ist das quadratische Wachstum nicht aufgenommen, aber eine monoton steigende Beziehung zwischen Schaden und Temperatur wird angenommen. Die durch Produktion emittierten Treibhausgase beeinflussen als ein negativer externer Effekt durch das Klimazyklussystem wieder die Wirtschaft bzw. das Einkommen. Die akkumulierten atmosphärischen Treibhausgase verursachen einen Temperaturanstieg, der sich unterschiedlich auf jede Region auswirkt. Der Unterschied hängt von der Klimasensibilität ab. Solange die Wirkung der anthropogenen Kohlendioxide als länderübergreifender Schaden zu betrachten ist, kann man sagen, dass zwar die Schadstoffemission von der Wirtschaftswachstumsrate einer Region abhängig ist, der Schaden aber nicht. Dazu kann außerdem bemerkt werden, dass der daraus folgende Schaden sich nicht auf das Einkommensniveau der Region bezieht, sondern auf die Bevölkerung. Dann kann man zwei Integralfunktionen der Zeit, welche die Schadstoffemission als einzige unabhängige Variable haben, nämlich die Schadensfunktion und die Produktionsfunktion erhalten. Indem man das Einkommen in einer simulierten Periode einer betrachteten Region von dem Schaden in der gleichen Periode derselben Region subtrahiert, kann man den Nettogewinn der Schadstoffemission als eine Integralfunktion der Zeit berechnen, die die Effekte der verschiedenen Politik vergleichbar macht.

²⁴¹ Siehe zur Erklärung, Knut Sydsæter und Peter Hammond (2004), *Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler: Basiswissen mit Praxisbezug*, München, S. 222–225.

2.2. Klimasektor

Die Hauptquellen der atmosphärischen Konzentration von CO₂ sind die Verbrennung fossiler Energieträger und die Rodung von Wäldern, das sogenannte Kohlendioxid aus der Industrialisierung und der Naturnutzung. In dieser Simulation wird diese Assimilationsleistung der Natur für eine Integralfunktion von Kohlendioxidakkumulation gehalten, aber wir nehmen an, dass diese Funktion eine streng monoton wachsende Funktion ist, weil diese Leistung immer schneller auf die Akkumulation von CO₂ reagiert und dann ab irgendeinem Zeitpunkt nicht mehr steigt. Nach dem konservativen Bericht von IPCC betrug die anthropogene Emission von CO₂ im Jahre 1990 ca. 5,5 Gigatonnen (Gt), aber das in der Atmosphäre verbliebene CO₂ ca. 3,5 Gt pro Jahr. Das Kohlendioxid, das in diesem Zusammenhang in der Atmosphäre akkumuliert ist, hat einen Umfang von rund 836 Gt. Ohne Betrachtung der Assimilation der Atmosphäre steigert sich die atmosphärische Konzentration von CO₂ quadratisch, aber in diesem Modell wird gezeigt, dass sie keinen einfachen Wachstumspfad hat.

Da die atmosphärische Akkumulation des Kohlendioxids die Assimilationsfähigkeit der Natur beeinflusst, wird in dieser Simulation angenommen, dass die Assimilation schon fungiert und sich mit der Akkumulation verstärkt. Aber wegen des Charakters der Akkumulation schwächt sich die Funktion, je näher die Akkumulation an ihre Grenze gelangt. Demzufolge erhalten wir die reale atmosphärische Konzentration des äquivalenten Kohlendioxids.

Wie oben erwähnt entstehen die unterschiedlichen Klimasensibilitäten, welche die regionale Reaktion des Klimas auf die Veränderung der Temperatur indizieren, aus den für alle Regionen unterschiedlichen Albedos. Bei der Verdopplung der atmosphärischen Konzentration von CO₂ steigt die atmosphärische Temperatur in Regionen mit der Klimasensibilität 1 um durchschnittlich 4,1 °C.

Zusammengefasst haben wir bisher die Beziehung zwischen dem Gewinn aus der Schadstoffemission und den daraus folgenden externen Kosten betrachtet. Also kann man den Nettogewinn, der durch die Schadstoffemission entsteht, berechnen. Da alle Variablen Funktionen der Zeit sind, ist der Nettogewinn auch eine Integralfunktion der Zeit. Aus der in dieser Arbeit formulierten Simulation können wir den Grenzscha-den der Schadstoffemission erhalten, der eine Basis für die Grenzkosten der Schadstoffemissionsverminderung ist. Dadurch können wir den Gegenwartswert langlebiger Schä-

den oder zukünftige Auswirkungen der Umweltpolitik berechnen. Da man diese Grenzkosten als den Preis für die Emissionsreduktion ansehen kann, ist die für jede Region optimale Emission von CO₂ bei optimaler Umweltpolitik zu entscheiden. Weiterhin kann darauf geantwortet werden, ob die global zentrale Kontrolle, besonders das Kyoto-Protokoll, effizient ist oder eine regional dezentrale Kontrolle, insbesondere eine Politik zur regionalen Entscheidung der regional optimalen Preise und den Außenhandel der Emissionsreduktion. In diesem Modell haben die globalen Variablen keine Bedeutung, sondern die Summe der regional bewerteten Variablen.

Das Ergebnis dieser Simulation zeigt, dass die Regionen durch den Handel mit Emissionen einen Handelsgewinn erzielen. Dieser Handel erfüllt grundsätzlich das Kompensationsprinzip, dass die Regionen, die einen Gewinn durch die Emissionsreduktion haben, die Emission reduzierenden Regionen für den Verlust, der durch die Emissionsreduktion entsteht, ausgleichen. Wenn bei einer Klimapolitik die Regionen für den Verlust aus der Emissionsreduktion nicht belohnt werden, dann ist offensichtlich, dass diese Politik nicht stattfinden kann. Die Schwachpunkte des Kyoto-Protokolls sind folgende: 1. Ein für alle ausreichender Ausgleich der durch die Emissionsreduktion verursachten Kosten in einer Region ist unmöglich. 2. Auch wenn die Regionen mit ihren Emissionsrechten untereinander handeln können, ist die Entscheidung über die Reduktion der Schadstoffemission im Rahmen des Kyoto-Protokolls nicht freiwillig.

2.3. Umweltpolitik

Der dritte Bestandteil dieser Simulation ist die Umweltpolitik. Hierbei stellen sich die folgenden Fragen: Welche Politik ist optimal zur Schadensvermeidung? Und wie kann man die Auswirkungen der Umweltpolitik visualisieren? Durch die Simulation vergleichen wir die zentrale Umweltpolitik, die im Kyoto-Protokoll vorgeschlagen wird, mit der in dieser Simulation angebotenen optimalen, die als regionale und marktwirtschaftliche Umweltpolitik bezeichnet werden kann, weil sie marktwirtschaftlichen Kriterien folgt und einen Austausch zwischen den Regionen verlangt. Die optimale Umweltpolitik beinhaltet den Handel ihrer eigenen Reduktion der Schadstoffemission. Durch diesen Handel können sie ihren Verlust weiter reduzieren oder ihren Gewinn weiter vergrößern, wenn der Handelspreis billiger als ihre eigenen Grenzkosten für Emissionsreduktion ist.

Der Handelspreis verändert sich in jeder Periode, weil alle Faktoren zur Entscheidung der Umweltpolitik Funktionen der Zeit sind.

Diese Simulation zeigt, dass die hier genannte optimale Umweltpolitik signifikant effektiver als das Kyoto-Protokoll sein kann. Aber während die in dieser Arbeit vorgeschlagene Umweltpolitik eine freiwillige Emissionsreduktion jeder Region voraussetzt, verlangt die Umweltpolitik des Kyoto-Protokolls die vollkommene Übereinstimmung aller Regionen. In diesem Sinne wird die Politik des Kyoto-Protokolls einer zentralen Politik gleichgesetzt. Die Effekte der Schadensreduktion zwischen der Umweltpolitik des Kyoto-Protokolls und der hier gezeigten Politik sind nicht sehr unterschiedlich. Die Umweltpolitik des Kyoto-Protokolls kann den Temperaturanstieg um 4,1 °C im Vergleich zur optimalen Politik um ca. 5 Jahre verzögern. Trotz dieses winzigen Erfolgs ist die Forderung dieser Politik gegenüber den Regionen mit hohem Einkommen (diese Regionen sollen die Schadstoffemission bis 2012 um 5,2 % von dem Emissionsniveau des Jahres 1990 reduzieren und danach dieses Niveau weiter halten) zu groß, obwohl bei der die Transaktionskosten, wie Informationskosten, Verwaltungskosten und Durchsetzungskosten, nicht berücksichtigt werden.

Bisher haben wir die Wirkung der Schadstoffemission naturwissenschaftlich zu erklären versucht, ihren externen Effekt im Sinne der Kosten-Nutzen-Analyse erläutert und die Umweltpolitik als Maßnahme gegen den vermuteten Schaden im Hinblick auf die Effizienz betrachtet. Indem wir in diesem Kapitel die bisher theoretisch analysierten Effekte des länderübergreifenden Umweltproblems und der daraus resultierenden Umweltpolitik simulieren, wird versucht, die Auswirkungen einer solchen Politik zu verdeutlichen und sie anhand der Ergebnisse der Simulation zu beurteilen. Die Simulation folgt den nachstehenden Punkten:

1. Beziehung zwischen Schadstoffemissionen und Wirtschaftswachstum,
2. Relevanz zwischen Emission und Akkumulation von CO₂,
3. Temperaturanstieg aufgrund atmosphärischer Konzentration von CO₂,
4. Verlust des Einkommens durch Temperaturanstieg.
5. Effekt der Umweltpolitik

Eigentlich ist es nicht das Ziel der Simulation, die Daten exakt zu verarbeiten, sondern die Auswirkungen der Politikstrategien im Hinblick auf das vorliegende länderübergreifende Umweltproblem zu veranschaulichen.

3. Ziel der Simulation

Diese Simulation skizziert durch die Verbindung zwischen dem Effekt der Schadstoffemission im Naturbereich und dem im Wirtschaftsbereich die Kosten und den Gewinn der Schadstoffemission und umgekehrt auch die Kosten und den Gewinn verschiedener Umweltpolitiken.

Das Ziel der Simulation ist die Suche nach einer rationalen Methode gegen unvernünftige Schadstoffemissionsreduktion, die von katastrophalen Vorhersagen angetrieben wird. Wenn man annimmt, dass zum jetzigen Zeitpunkt die Kosten durch die Emissionsreduktion größer als der Schaden der Kohlendioxidemission sind, ist eine Kompensationspolitik der Schäden zu empfehlen. Die Kosten einer Einheit „Emissionsreduktion“ sind der Verlust des Produktionseinkommens durch die entsprechende Reduktion der Emission. Wenn die Grenzkosten der Emissionsreduktion bestimmt sind,

1. wird der Produzent der Schadstoffemission einen Ersatz des entstandenen Schadens gegenüber den Geschädigten erhalten.

Oder:

2. Der durch die Schadstoffemission Geschädigte wird für die Emissionsreduktion dem Produzenten einen Profiteursatz für den Verzicht auf Schadstoffemission leisten müssen.

Oder:

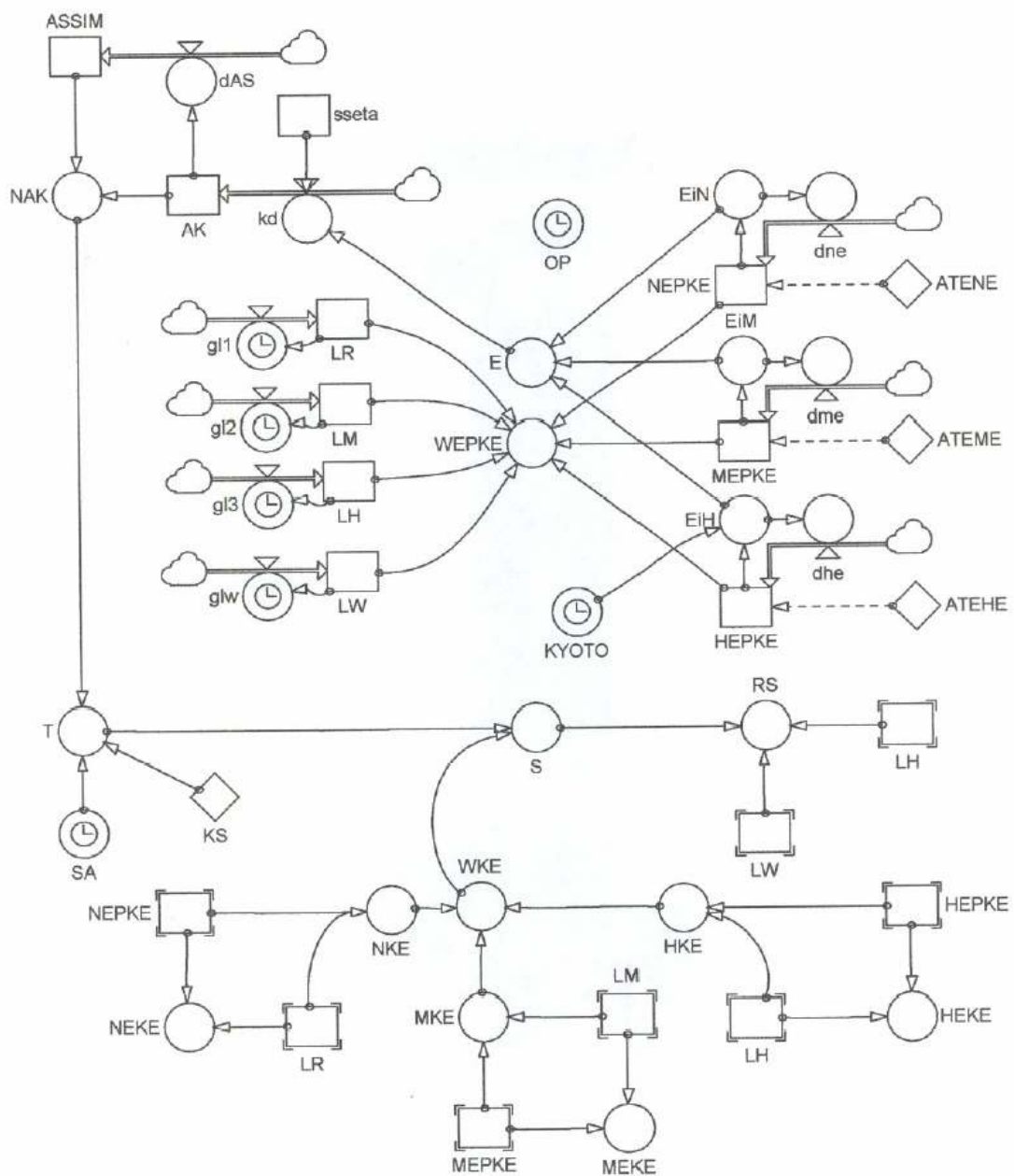
3. Der Staat kann durch Umweltsteuern eine Politik betreiben, die zwar die Schadstoffemission erlaubt, die so erhaltenen Steuern aber wieder an die durch die Schadstoffemission Geschädigten zurückverteilt.

Solche Methoden scheint die Organisation einer globalen Umweltbehörde zu benötigen. Aber solch eine globale Maßnahme ist nicht nur unrealistisch, sondern auch, selbst wenn sie realisierbar sein sollte, von den Verwaltungskosten her sehr teuer. Darum muss die Politik regional oder staatlich realisiert werden. In diesem Fall ist

1. die Entscheidung der Umweltpolitik durchsetzbar, da der Staat oder die Region die Umweltsensibilität und die Wachstumsphase des jeweiligen Staates oder der Region am besten einschätzen kann.
2. Außerdem können Kosten für die internationale Zusammenarbeit eingespart werden.

Die Politik, die regional entschieden worden ist, kann einen Handel der Schadstoffemission initialisieren, sodass der Emissionspreis, der in den einzelnen Regionen aufgrund ihrer regionalen Spezifikationen festgelegt wurde, sich einem internationalen Emissionspreis annähern kann. Durch den internationalen Handel können sowohl eine Gleichgewichtsemissionsmenge als auch ein Gleichgewichtspreis bestimmt werden. Die Gesamtsimulation funktioniert wie folgt:

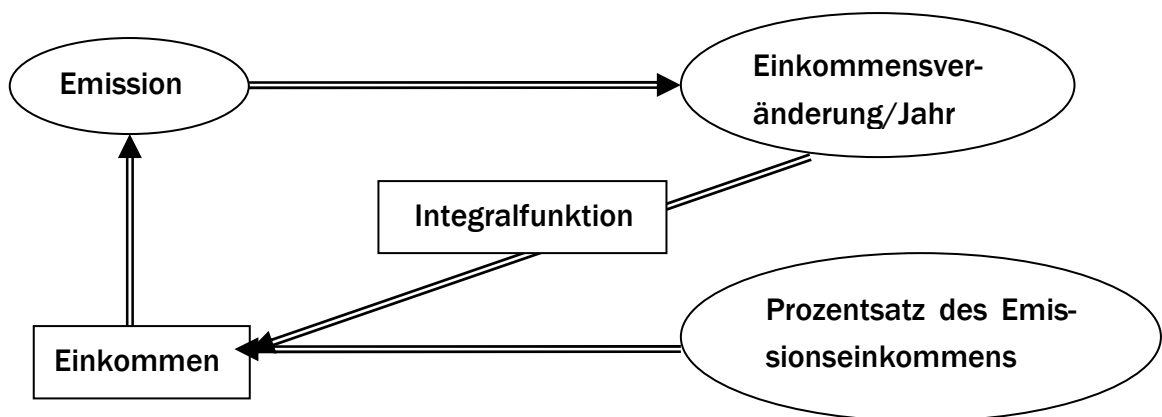
Simulation des Treibhauseffektes



<Abb. 16> Simulation der Treibhauseffektes

3.1. Beziehung zwischen Schadstoffemission und Wirtschaftswachstum

Wir haben gesehen, dass die Wachstumsrate des Einkommens einen direkten Einfluss auf die Schadstoffemission ausübt, und umgekehrt, dass die Schadstoffemission ein wichtiger Faktor der Produktion ist. Dabei kann man sich die Beziehung zwischen Schadstoffemission und Produktion vorstellen, die den Anteil des durch Schadstoffemission entstehenden Einkommens entscheidet. Dann können wir das Entscheidungsverfahren über die Schadstoffemission wie folgt skizzieren.



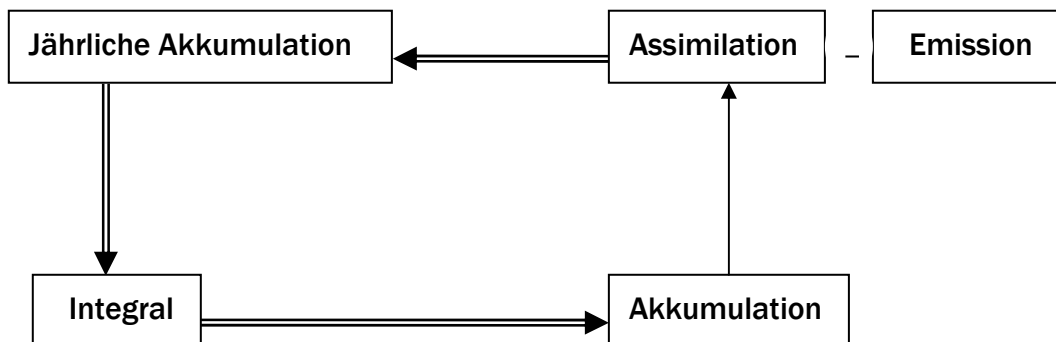
- A. Der Prozentsatz des Emissionseinkommens: Da nicht alle Outputs sich auf die Emission beziehen, wird der Anteil der Emission auf das Einkommen zuerst betrachtet. Dieser Prozentsatz ist nur am Anfang der Simulation gegeben. Man kann sagen, dass der Anteil des Einkommens in der Welt, der auf Schadstoffemission basiert, im Laufe der Zeit langsam abnimmt, wenn angenommen wird, dass das Umweltbewusstsein mit der Entwicklung des Wirtschaftszustandes zunimmt. In dieser Arbeit wird jedoch angenommen, dass die Geschwindigkeit der Verkleinerung des Prozentsatzes konstant ist.
- B. Das sich auf die Emission beziehende Einkommen: In Bezug auf den Anteil des emissions-einkommens wird der Anfangswert des Outputs bestimmt. Das Emissions-einkommen hängt umso stärker von der Emission ab, je niedriger das Entwicklungsniveau einer Region ist, wenn wir annehmen, dass diese niedrig entwickelte Region eine starke Präferenz für Entwicklung hat, sodass sie sich auf emissionsintensive Industrie spezialisiert.

- C. Die Emissionsmenge: Sie wächst proportional zum Emissionseinkommen. Die Abhängigkeit einer niedrig entwickelten Region von der Emission ist höher als die einer hoch entwickelten Region. Da die Wahrscheinlichkeit für die Erfindung einer neuen Technik zur Emissionsreduktion in einer hoch entwickelten Region höher als die in einer niedrig entwickelten ist, ist die Emissionsabhängigkeit des Einkommens in dieser Region viel höher als die in der hoch entwickelten Region.

Eigentlich ist das Emissionseinkommen eine Integralfunktion des jährlich emittierten Kohlendioxids. Die Summe des emittierten Kohlendioxids in allen Regionen ist die Gesamtmenge des Kohlendioxids, die in der Atmosphäre jährlich akkumuliert wird.

3.2. Relevanz zwischen Emission und Akkumulation von CO₂

Der Unterschied zwischen dem emittierten anthropogenen und dem jährlich in der Atmosphäre akkumulierten Kohlendioxid ist zweifellos vorhanden. Die Ursache dieses Unterschiedes ist die Assimilation der Atmosphäre.



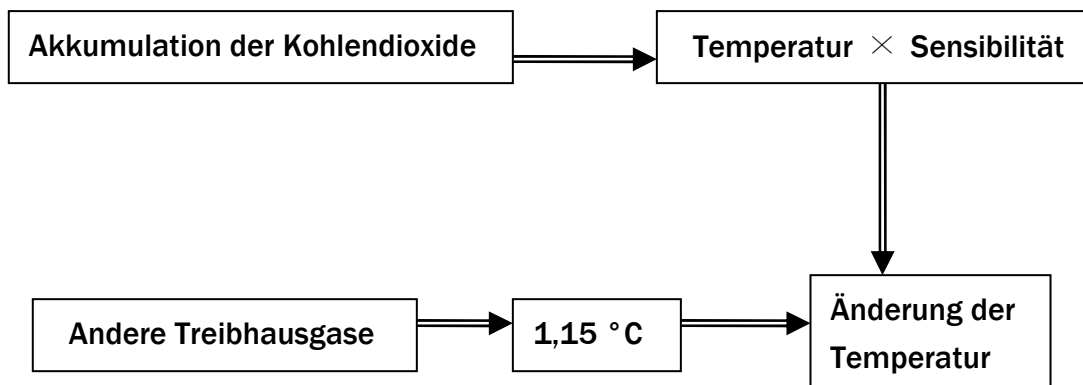
- A. Die anthropogene Emission: Das jährlich in der Atmosphäre akkumuliert CO₂ ist die Summe aller anthropogenen Schadstoffe aus allen Regionen. Aber nicht alle Emissionen werden in der Atmosphäre akkumuliert. Ein Teil der emittierten anthropogenen Schadstoffe verbleibt auf der Erde. Ein weiterer Teil der in der Atmosphäre akkumulierten Schadstoffe wird durch die Assimilation beseitigt.
- B. Die Assimilation: Das im Zeitlauf akkumulierte Kohlendioxid in der Atmosphäre hat Einfluss auf die Assimilation. Je stärker die Konzentration ist, desto schneller ist die Geschwindigkeit der Assimilation. Wenn wir annehmen, dass die Kapazität der As-

simulation begrenzt ist, nimmt die Menge des assimilierbaren Kohlendioxids ab, indem sie sich dem Grenzwert annähert.

- C. Akkumulation: Die darstellbare Akkumulation des atmosphärischen Kohlendioxids ist eine Integralfunktion von der durch die Assimilation subtrahierten Akkumulation des Kohlendioxids.

3.3. Temperaturanstieg aufgrund atmosphärischer Konzentration von CO₂

Die Schadstoffe, die Einfluss auf die atmosphärische Temperatur ausüben, sind nicht nur Kohlendioxid, sondern auch andere Treibhausgase. Aber nur einige davon haben starken Einfluss auf die Temperatur. Den Temperaturanstieg durch diese Stoffe nehmen wir als 1,15 °C an. Dies ist empirisch bewiesen. Der regionale Unterschied der aufgrund des akkumulierten Kohlendioxids veränderten Temperatur hängt von der Klimasensibilität ab.



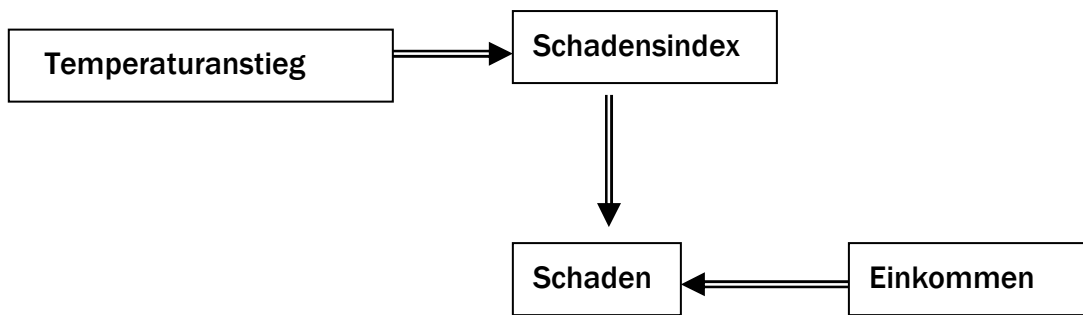
- A. Die Temperaturveränderung aufgrund der Kohlendioxidakkumulation: Nach naturwissenschaftlichen Erkenntnissen verursacht die Verdopplung der Konzentration des Kohlendioxids in der Atmosphäre einen Anstieg der Temperatur um 4,1 °C.
- B. Klimasensibilität: Die Temperatur jeder Region variiert aufgrund ihrer eigenen geographischen und physikalischen Reaktionsstärke auf Akkumulation des Kohlendioxids. Sie kann in drei Stufen (0,5, 1 und 1,5) unterteilt werden.
- C. Die Veränderung der Temperatur aufgrund der Akkumulation anderer Treibhausgase: Die Emission anderer wichtiger Treibhausgas hat nach empirischen Ergebnissen

einen Temperaturanstieg von 1,15 °C bewirkt. Die Temperatur blieb daraufhin konstant.

- D. Veränderung der Temperatur: Sie ist nicht global zu entscheiden, sondern als ein Ergebnis vieler externer Faktoren zu verstehen, wie andere Treibhausgase und regionale Spezifikationen.

3.4. Einkommensverlust durch Temperaturanstieg

Der Schaden, der durch den Temperaturanstieg verursacht wird, soll gesamtwirtschaftlich betrachtet werden.



- A. Schadensindex: Es wird angenommen, dass der Schadensindex eine quadratische Form hat, wenn der Schaden zum Temperaturanstieg überproportional zunimmt.
- B. Schaden: Er ist das durch die Akkumulation von CO₂ verminderte Einkommen. Durch die Vergrößerung des Schadensindexes vergrößert sich die Reduktion des Einkommens bzw. der Schaden.

4. Ergebnis der Simulation

4.1. Berechnung des Schadens

Die Zahlungsbereitschaft kann im Zusammenhang zwischen Produktionseinkommen und Schaden betrachtet werden. Das Produktionseinkommen passt sich der Veränderung der Emissionsintensität an. Wenn Techniken, die die Schadstoffemission verrin-

gern, entwickelt werden, um den Verlust, der durch die Schadstoffemission entsteht, zu vermeiden, kann man annehmen, dass im Laufe der Zeit der Anteil dieses Produktionseinkommens geringer wird.

Die Reduktion von nur einer Tonne Kohlendioxid bewirkt schon eine Reduktion des Produktionseinkommens. Diese Reduktion resultiert einerseits aus dem Verhältnis zwischen der Wirtschaftswachstumsrate und der Schadstoffemissionsrate und andererseits aus der Schadstoffintensität. Je höher die Wachstumsrate und die Schadstoffintensität sind, desto größer wird der Verlust des Produktionseinkommens.

Gehen wir auf die Berechnungsmethode der jährlichen Verluste über. Die Veränderung der Temperatur zeigt einen Anstieg von etwa 4,1 °C, wenn die Akkumulation des Kohlendioxids in der Atmosphäre ca. 1200 Mrd. t erreicht, was etwa das Doppelte der Akkumulationsmenge des Kohlendioxids vor der Zeit der Industrialisierung ist. Der Schaden zeigt sich in der ganzen Wirtschaft, nicht nur in der Produktion sondern auch im Konsum, sodass die Größe des Schadens im Verhältnis zum Gesamteinkommen berechnet werden muss. Der Schaden variiert im Verhältnis zur Klimasensibilität der jeweiligen Region.

Durch Zurückführung des simulierten jährlichen Schadens in einen gegenwärtigen Wert können wir den langfristigen Schaden, der durch einen einmaligen Emissionsanstieg entsteht, berechnen. Also können wir die intertemporale Zahlungsbereitschaft der einmaligen Schadstoffemission berechnen. Bei der Berechnung des Gegenwartswertes spielt die Zeitpräferenz die wichtigste Rolle.

Nach dem Hotelling-Prinzip zeigt diese Simulation ein Ergebnis (Tabelle 3): Wenn die Zeitpräferenz 0,04 ist, dann sollten keine öffentlichen Ausgaben getätigt werden, weil in diesem Fall die Kosten der Politik höher als der berechnete jetzige Jahresschaden sind. Und wenn die Zeitpräferenz 0,01 ist, können öffentliche Ausgaben für die Umweltpolitik getätigt werden. Dies bedeutet, dass, wenn die Zeitpräferenz 0,04 beträgt, die Zahlungsbereitschaft ohne Umweltpolitik abnimmt und, wenn die Zeitpräferenz 0,01 beträgt, die Emissionsmenge reduziert werden muss, sodass die Zahlungsbereitschaft zunimmt.

Die Berechnung des regionalen Schadens erfolgt folgendermaßen. Der Schaden ist entsprechend der regionalen Klimasensibilität und der Bevölkerung anzuordnen. Da die Klimasensibilität gegeben ist, wird angenommen, dass der regionale Schaden als proportional zur Bevölkerung ist: $\text{Regionaler Schaden} = \text{Weltschaden} \times (\text{Regionale Bevölkerung} / \text{Weltbevölkerung})$.

Da der Schaden sich auch entsprechend der Klimasensibilität verändert, muss der Emissionspreis steigen oder die Emissionsmenge reduziert werden, wenn eine hohe Umweltsensibilität des Schadens und eine niedrige Zeitpräferenz der Politikkosten gegeben sind. Außerdem hat der internationale Handel bei optimaler Emissionsreduktionspolitik eine zentrale Position, sodass das Ziel dieser Simulation die Berechnung der jeweiligen regionalen Zahlungsbereitschaft ist. Um dieses Ziel zu erreichen, muss zuerst der jeweilige regionale Schaden ermittelt werden.

Die Entwicklungsländer zahlen durch den Einkauf der Emissionsmengen von Industriestaaten niedrigere Emissionsreduktionskosten zur notwendigen Schadensreduktion. Die Industriestaaten reduzieren ihre Emission so, wie es die Entwicklungsländer verlangen, bekommen aber die Kosten der Emissionsreduktion erstattet, sodass einerseits die Kosten durch die Emissionsreduktion kompensiert werden und andererseits ihr Schaden verkleinert wird. Die Reduktionskosten einer Emissionseinheit sind in den Industriestaaten niedrig, aber der Emissionsgrenzscha­den sehr hoch. Dies bedeutet, dass die Wirtschaft der Industriestaaten eine niedrigere Emissionsabhängigkeit hat, der wirtschaftliche Schaden, der durch Schadstoffemission entstehen kann, aber sehr viel höher ist. Daher kann man sagen, dass die Bereitschaft zum Schadstoffemissionshandel in den Industriestaaten relativ hoch ist. Die Industriestaaten, vor allem die Regionen, in denen die Emissionssensibilität hoch ist, werden einerseits ihre eigenen Emissionen reduzieren und sich andererseits darauf konzentrieren, die Emissionsreduktion der Entwicklungsländer zu fördern.

Jetzt betrachten wir den Schaden der Schadstoffemission bei Anwendung des Kyoto-Protokolls. Die Politik im Kyoto-Protokoll legt fest, dass die Annex-I-Länder die Emissionsreduktion von 5,2 % auf der Basis der Emissionsmenge vom Jahr 1990 zwischen 2008 und 2012 einhalten sollen.²⁴² Da die Emissionsmenge des Jahres 1990 in dieser Simulation 5,44 Gt ist, beträgt die 5,2%ige Emissionsreduktionsmenge 0,272 Gt. Also muss die Kohlendioxidemissionsmenge nach 2010 auf 5,168 Gt begrenzt werden, was die Verdoppelung der Kohlendioxidkonzentration im Vergleich zur vorindustriellen Zeit um 60 Jahre verlangsamen kann. Die Emissionsmenge der Industriestaaten betrug 1990 2,86 Gt, demnach würde die zulässige Emission nach einer 5,2%igen Emissionsreduktion 2,71 Gt betragen. Diese Schadstoffemissionsmenge muss nach 2010 konstant eingehalten werden. Der Verschiebungseffekt durch diese Politik würde nur etwa 10

²⁴² Siehe <http://unfccc.int/text/resource/conv/index.html> zur Differenzierung der Teilnahmeländer an dem Kyoto -Abkommen.

Jahre betragen. Diese Simulation zeigt, dass ohne diese Politik die Temperatursteigerung um $4,1^{\circ}\text{C}$ durch die Verdoppelung der Kohlendioxidakkumulation etwa um das Jahr 2120 eintreten würde, aber mit der Einhaltung der Politik des Kyoto-Protokolls würde der Zeitpunkt lediglich um etwa 10 Jahre verzögert werden, sodass dieser Zustand um 2130 einträte.

Außerdem ist der Einkommensverlust, der durch die Produktionsreduktion der Regionen entsteht, die diese Politik zwangsweise durchführen müssen, nicht zu ignorieren. Wenn also nach der Emissionsreduktion kein Außenhandel für einen selbstständigen Austausch der Emissionsreduktion getätigt werden kann, kann auch kein Vorteil durch die Emissionsreduktion erzielt werden, sondern es wird nur eine zusätzliche Einkommensreduktion befürchtet, die als Schaden einer falschen Politik angesehen werden kann.

Wir können durch den Gegenwartswert, den wir im vorherigen Kapitel skizziert haben, und den Grenzscha-den, der durch diese Simulation gezeigt wird, die Grenzkosten er-rechnen, die durch die Reduktion um eine Tonne Kohlendioxid entstehen.

4.2. Berechnung der Grenzkosten

4.2.1. Gegenwartwertindex

Um den Gegenwartswert der langfristigen Schäden und Politikkosten zu errechnen, muss zuerst die oben berechnete Zeitpräferenz im Wirtschaftsbereich beachtet werden. Da die subjektiven Elemente der Präferenz unmöglich zu beurteilen sind, können wir annehmen, dass die Zeitpräferenz durch den Kapitalrentensatz und die Wachstumsrate entschieden wird.

Wie oben gesehen, ist die Zeitpräferenz ein Wert, bei dem die Wachstumsrate von dem Kapitalrentensatz subtrahiert wird. In dieser Arbeit sind die Wachstumsrate und der Kapitalrentensatz jeweils willkürlich dargestellt. Die negative Zeitpräferenz wird nicht berücksichtigt.

Zur Berechnung des Gegenwartswerts müssen der Verzögerungsparameter der Temperatur und die Beseitigungsrate des Kohlendioxids in der Atmosphäre betrachtet werden. In der hier vorliegenden Simulation ist die Assimilation der Atmosphäre sehr bedeutend.

<Tabelle 3> Zeitpräferenz ρ (Kapitalrente r – Wachstumsrate g)

Zeitpräferenz ρ ($r - g$)		Wachstumsrate: g			
		Welt: 0,06	NER: 0,1	MER: 0,06	HER: 0,04
nte: r Kapitalre	0,10	0,04	0,00	0,04	0,06
	0,07	0,01		0,01	0,03
	0,04				0,00

- NER: Region mit niedrigem Pro-Kopf-Einkommen,
- MER: Region mit mittlerem Pro-Kopf-Einkommen,
- HER: Region mit hohem Pro-Kopf-Einkommen.

Die natürliche Selbstreinigungsfähigkeit der Atmosphäre verlangsamt die Akkumulation des Kohlendioxids, sodass die Temperaturerhöhung um 4,1 °C unter Berücksichtigung der Assimilationsfähigkeit etwa 50 Jahre später eintritt. Der Zeitpunkt verzögert sich von Mitte 2060 auf Anfang 2120. In diesem Modell wird simuliert, dass die Beseitigung des einmalig in die Atmosphäre ausgesandten Kohlendioxids ungefähr 250 Jahre dauert. Dann können die Verzögerungsparameter λ als 0,02 (=1/50) und die Beseitigungsrate v als 0,004 (=1/250) angenommen werden.

Wenn eine optimale Politik zur Emissionsreduktion angewandt wird, wird der Zeitpunkt noch einmal um 30 Jahre nach hinten verschoben. Anders als diese optimale Politik kann die Politik, die im Kyoto-Protokoll²⁴³ vorgegeben ist, den Zeitpunkt um etwa 10 Jahre nach hinten verschieben.

<Tabelle 4> Gegenwartswert: $\psi = \frac{\lambda}{(v + \rho + \pi)(\lambda + \rho + \pi)}$

$\lambda: 0.02$ $v: 0.004$		Wachstumsrate: g			
		Welt: 0,06	NER: 0,1	MER: 0,06	HER: 0,04
nte: r Kapitalre	0,10	7,5	250,0	7,5	3,9
	0,07	47,6		47,6	16,7
	0,04				250,0

²⁴³ Die zentralen Forderungen des Kyoto-Protokolls sind 1. Limitationen der Emissionen, 2. Regelung des Handels mit den Pollutionsrechten, 3. Reinigungs-Entwicklungs-Mechanismus.

$$0.04: \frac{\lambda}{(v+\rho+\pi)(\lambda+\rho+\pi)} = 0.02/[(0.04+0.02)(0.04+0.004)] = 0.02/(0.00144) = 7.5$$

$$0.01: \frac{\lambda}{(v+\rho+\pi)(\lambda+\rho+\pi)} = 0.02/[(0.01+0.02)(0.01+0.004)] = 0.02/(0.00042) = 47.62$$

$$0.00: \frac{\lambda}{(v+\rho+\pi)(\lambda+\rho+\pi)} = 0.02/[(0.00+0.02)(0.00+0.004)] = 0.02/(0.00008) = 250$$

$$0.06: \frac{\lambda}{(v+\rho+\pi)(\lambda+\rho+\pi)} = 0.02/[(0.06+0.02)(0.06+0.004)] = 0.02/(0.00512) = 3.9$$

$$0.03: \frac{\lambda}{(v+\rho+\pi)(\lambda+\rho+\pi)} = 0.02/[(0.03+0.02)(0.03+0.004)] = 0.02/(0.0017) = 16.7$$

Der Grenzkostenindex ist die Multiplikation von Gegenwartswert, Klimasensibilität und dem Anteil anthropogener Schadstoffemission an der gesamten Emission. Hierbei wird der Schadstoffemissionsanteil mit 0,65 angesetzt. Unter Annahme der Klimasensibilität 1 können wir die folgende Tabelle der Grenzkostensindizes erhalten.

<Tabelle 5> Grenzkostensindex: $d \cdot \beta \cdot \psi$

$\rho: r - g$ 0.00144		Klimasensibilität: 1			
		Wachstumsrate: g			
		Welt: 0,06	NER: 0,1	MER: 0,06	HER: 0,04
Kapital- rente:r	0,10	4,875	162,5	4,875	2,54
	0,07	30,95		30,95	10,86
	0,04				162,5

λ = Verzögerungsparameter der Temperatur in Bezug auf die Radioaktion,
 v = Beseitigungsrate von CO₂ in der Atmosphäre.

4.2.2. Grenzkosten der Emissionsreduktion

Nach der Simulation beträgt der Temperaturanstieg im Jahre 2010 2,54 °C, und daraus folgen weltweite Schadenskosten von 28,5 Mrd. Dollar. Damit nehmen die Grenzkosten der Reduktion der Schadstoffemission die Werte an, die in den folgenden Tabletten aufgelistet werden, wobei die Grenzkosten der Emissionsreduktion durch die Multiplikati-

on zwischen globalem Schaden, Grenzkostenindex und Klimasensibilität berechnet werden. Diese Tabelle beinhaltet die Klimasensibilität KS, sodass die nach Wirtschaftszuständen unterteilten Regionen wiederum durch die Klimasensibilitäten unterteilt werden. Beispielsweise betragen die Grenzkosten der Welt mit der Kapitalrente 0,1 und der Klimasensibilität 1 (Grenzkostenindex in dieser Welt 4,876) und globalen Schaden von 28 Mrd. Dollar ca. 138,9 Mrd. Dollar bei einer Emissionsreduktion von 6 Gt: $4,876 \times 28,5 = 138,9$.

<Tabelle 6> Grenzkosten im Jahr 2010 Mrd. Dollar (Dollar)

Welt: Schaden 28 Billion, 6 Gt (1Ton)			
r \ KS	0,5	1	1,5
0,1	69,26 (11,54)	138,9 (23,16)	208,5 (34,68)
0,07	441,2 (73,53)	882,16 (147,03)	1323,54 (220,59)
Niedrig entwickelte Region: Schaden 10.1 Billion, 1.34 Gt (1Ton)			
r \ KS	0,5	1	1,5
0,1	1462,32 (1091,28)	2925 (2182,84)	4386,6 (3272,58)
Mittel entwickelt Region: Schaden 3.49 Billion, 1.61 Gt (1Ton)			
r \ KS	0,5	1	1,5
0,1	15,14 (9,40)	30,37 (18,86)	45,48 (28,25)
0,07	96,44 (59,9)	192,84 (119,77)	289,32 (179,70)
Hoch entwickelt Region: Schaden 2.36 Billion, 2.9 Gt (1Ton)			
r \ KS	0,5	1	1,5
0,1	5,35 (1,84)	10,69 (3,69)	16,04 (5,53)
0,07	22,82 (7,87)	45,72 (15,77)	68,54 (23,63)
0,04	342,02 (117,94)	684,13 (235,90)	1026 (353,79)

KS: Klimasensibilität, r: Kapitalrentensatz

In Tabelle 6 zeigt die Simulation, dass die Schadstoffemissionsmenge im Jahr 2010 6 Gt beträgt, und dass der Schaden durch den Temperaturanstieg von 2,54 °C im Jahre 2010 etwa 28,5 Mrd. Dollar ist. Die Summe der Schadstoffemission aller Regionen entspricht der Schadstoffemission der Welt, aber die Schäden sind unterschiedlich: Global-

schaden 28,5 Milliarden, aber die Summe der regionalen Schäden 15,86 Milliarden Dollar. Das heißt, dass die Summe der Schäden, die unter den jeweiligen regionalen Umwelt- und Wirtschaftszuständen berechnet werden, kleiner als der globale Schaden ist, was den Charakter des länderübergreifenden Problem zeigt und daher die Wichtigkeit der Dezentralisierung der Umweltpolitik bestärkt.

4.3. Vergleich zwischen Kompensationspolitik und Handelspolitik

Betrachten wir nun die auf der Kosten-Nutzen-Analyse basierende Kompensationspolitik zwischen den durch Klimasensibilität unterteilten Regionen. Da bei der Berechnung des Schadens in den unter der Klimasensibilität aufgeteilten Regionen die regionalen Zustände nicht berücksichtigt werden, entspricht die Schadenssumme aller Regionen (4,74 Mrd. in der Region mit KS 0,5, 9,49 in der Region mit KS 1 und 14,24 in der Region mit KS 1,5) dem Schaden der Welt. Die optimale Reduktionsmenge der Emissionen in den jeweiligen Regionen ist die Menge der Kohlendioxidemission dividiert durch die Kosten, die für die Reduktion einer Tonne Kohlendioxid entsteht. Die Region mit KS 0,5 kann die Summe der für jede Region optimalen Emissionsreduktionsmengen weiter ohne weiteren Einkommensverlust reduzieren, solange mindestens ihre Grenzkosten für die von anderen Regionen gewünschte Emissionsreduktion kompensiert werden können. Wenn eine Region, die durch minimale Grenzkosten ihre Emission reduzieren kann, also eine Region mit minimaler Klimasensibilität die Emission reduziert und die anderen Regionen die Kosten ersetzen, dann beträgt die Emissionsreduktionsmenge in der Region mit KS 0,5 etwa 1,23 Gt. Da die Region mit KS 0,5 die von allen Ländern gewünschte Emissionsreduktion mit einer minimalen Kompensation durchführt, hat sie keinen Gewinn, während die Region mit KS 1 eine Kosteneinsparung von etwa 4,76 Milliarden und die Region mit KS 1,5 9,49 Milliarden als Gewinn hat.

Diese Politik reduziert die jährliche globale Schadstoffemission um 1,23 Gt und spart Kosten in Höhe von 14,26 Milliarden Dollar im Vergleich zur einzelnen Reduktion der Schadstoffemission ein.

<Tabelle 7> Emissionsreduktion durch Kompensation

Mrd. & Gt.

Region	Schaden A	Grenzkosten B	optimale Emis- sionsreduktion $C = A / B$	Kosten der Emissionsre- duktion: $C \times 11,54$	Gewinn durch Kom- pensation
0,5 KS	69,26	11,54 Dollar	4,11	4,74	9,47
1 KS	138,9	23,16 Dollar	4,10	9,49	4,76
1,5 KS	208,5	34,68 Dollar	4,11	14,24	9,49

- Minimale Grenzkosten im Jahre 2010 sind 11,54 Dollar pro Tonne, dies sind auch die Ersatzkosten.
- Weltweiter Schaden im Jahre 2010 beträgt 28,5 Milliarden Dollar.
- Verhältnismäßige regional optimale Emissionsreduktionsmenge ist der regionale Schaden dividiert durch regionale Grenzkosten der Emissionsreduktion.
- Gewinn von Grenz-Kosten-Politik ist die Differenz aus Schaden und den Kosten für die Emissionsreduktion.

Jetzt betrachten wir den Effekt der Umweltpolitik mit Außenhandel. Wir können durch die Errechnung der Grenzkosten der Emissionsreduktion und den Schaden die jeweilige Menge der Emissionsreduktion der Regionen und die Zahlungsbereitschaft erkennen. Wir nehmen an, dass ein internationaler Handelspreis für die Emissionsreduktion durch den Gesamtschaden dividiert durch die optimale Emissionsreduktionsmenge beschlossen wird. Wenn die eigene Emission durch den internationalen Preis zu einem optimalen Niveau reduziert werden kann, und die durch die Schadstoffemission verursachten Schäden beseitigt werden können, werden die jeweiligen Regionen am internationalen Handel der Emissionsreduktion teilnehmen. Wenn die Emission so gehandelt wird, dass die jeweiligen Regionen keinen Verlust machen, entsteht in den Regionen jeweils ein Handelsgewinn, welcher die Differenz zwischen den Grenzkosten zur Schadensvermeidung und dem Kaufpreis der Emissionsreduktion ist.

Zuerst betrachten wir den Handelseffekt unter den Konditionen der Kompensationspolitik. Die Höhe des Schadens und der Grenzkosten sowie die optimale Menge der Emissionsreduktion sind in der Handelspolitik identisch zur Kompensationspolitik. Aber der Handelspreis der Emissionsreduktion (23,1 Dollar pro Tonne) ist der weltweite Schaden (28,5 Mrd. Dollar) dividiert durch die Summe der regional optimalen Emissionsmenge (1,23 Gt). Dieser Preis wird noch einmal mit der regional optimalen Emissionsmenge multipliziert, sodass die Ausgaben für die Emissionsreduktion der einzelnen Regionen

dargestellt werden können.

<Tabelle 8> Handelsgewinn bezüglich der Klimasensibilität

Mrd. & Gt.

KS	Schaden	Grenzkosten	Optimale Emissionsreduktion	Kosten zur Emissionsreduktion	Handelsgewinn
0,5 KS	4,74	11,54	4,11	9,5	13,25
1 KS	9,49	23,16	4,10	9,47	0,23
1,5 KS	14,24	34,68	4,11	9,48	4,75

Unter der Kondition, dass der internationale Handelspreis 23,1 Dollar beträgt, wird die Region mit KS 0,5 zum Verkäufer der Emissionsreduktion. Der Emissionspreis in dieser Region erhöht sich von 11,54 auf 23,1 Dollar pro Tonne, sodass diese Region durch Handel der Emission einen Handelsgewinn von 9,49 Mrd. Dollar (= 0,821 Gt × 11,56 Dollar) erhält. Der Handelsprofit der Emissionsreduktion dieser Region ist die Differenz des internationalen Handelsprofits und des regionalen Abgabenüberschusses von 4,73 Mrd. Dollar. Durch die Teilnahme anderer Regionen am internationalen Handel kann der Handelsgewinn als Kosteneinsparung wie in der obigen Tabelle (0,23 Mrd. Dollar in Region mit KS 1 und 4,75 Mrd. Dollar in Region mit KS 1,5) erzielt werden.

Unter der Handelspolitik der Emissionsreduktion zeigt die Simulation die Steigerung der internationalen Preise und Grenzkosten wie folgt.

<Tabelle 9> Handelspreis und Rentensatz

Dollar pro Tonne

Jährlicher optimaler Preis im Rahmen einer minimalen Emissionsreduktionspolitik												
Jahrzehnt	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120
Grenzkosten	11,5	14,2	16,9	19,8	23,0	26,3	30,0	33,9	38,2	43,0	48,2	54,0
Handelspreis	23,0	28,4	33,9	39,7	46,0	52,7	60,0	67,9	76,9	86,1	96,6	108

Indem wir die Regionen nach ihren Einkommensniveau im Jahre 2010 mit einer Klimasensibilität von 1 aufteilen, können wir den Emissionshandel der einzelnen Regionen, die verschiedene Einkommensniveaus haben, untersuchen. Zuerst müssen der Schaden der einzelnen Regionen, der Preis für die Wiederherstellung des jetzigen Zustands, die jährlichen Reduktionskosten und die Grenzkosten für eine Tonne Emission berechnet werden. Mit diesen Variablen können wir die Gegenwartswerte aus Tabelle 5 und die

Grenzkosten aus Tabelle 6 in der folgenden Tabelle einsetzen. Durch die Simulation wurden folgende Werte errechnet.

<Tabelle 10> Handelsgewinn bezüglich des Einkommensniveaus Mrd. & Gt.

Region	Gegenwartswert	Schaden	Jährliche Reduktionskosten	Jährliche Reduktionskosten/Ton	Emissionsmenge
Niedrig	162,5	18	2.925	2.182	1,32
Mittel	4,88	6,23	30,37	18,9	1,61
Hoch	2,64	4,21	10,69	3,69	2,9
Region	Grenzkosten(Dollar)	Optimale Emissionmenge	Handelspreis	Ausgaben	Handelsgewinn
Niedrig	2182	0,008	19,2	0,16	17,8414
Mittel	18,90	0,330	19,2	6,34	-0,1088
Hoch	3,69	1,141	19,2	21,9	-17,73

In diesem Fall wird der Handelspreis in Höhe von 19,2 Dollar pro Tonne berechnet. Bei diesem Preis sind die Verkäufer zwei Regionen (mittleres und hohes Einkommensniveau). Wenn eine dieser Regionen mit der Region mit niedrigem Einkommensniveau Emissionsreduktionen handelt, können beide Regionen Gewinne (2,4 Mio. Dollar bei mittlerem Einkommensniveau und 0,23 Mrd. Dollar bei hohem) erzielen. Dagegen kann die Region mit niedrigem Einkommensniveau Kosten in Höhe von 17,84 Mrd. einsparen.

4.4. Vergleich zwischen Kyoto-Abkommen und optimaler Umweltpolitik

Als letztes versuchen wir die simulierten Ergebnisse der Politik des Kyoto-Protokolls unter der Annahme, dass die ganze Welt am internationalen Emissionshandel teilnimmt, zu veranschaulichen. Zuerst muss bei der Politik des Kyoto-Protokolls beachtet werden, dass den Industriestaaten eine zwanghafte Emissionsreduktion auferlegt wird und dies ein Teil des Schadens ist. Wir nehmen an, dass die Klimasensibilität 1 ist und der Kapitalrentensatz 10 %. Wenn wir das Prinzip des Kyoto-Protokolls, bis 2012 eingehalten werden muss, aufnehmen, ist es am besten, wenn wir die Effekte dieser Politik in der

nächsten Periode von 2020 aus analysieren. Jetzt vergleichen wir die Handelspolitik der optimalen Emissionsreduktion und die Emissionsreduktionspolitik des Kyoto-Protokolls und deren Gewinne miteinander. Weil das Kyoto-Protokoll 2012 in Kraft tritt, sind erste Analysedaten erst 2020 verfügbar. Bei der Politik des Kyoto-Protokolls ist auch der in dieser Arbeit beschriebene Gegenwartsindex gültig.

<Tabelle 11.a> Grenzkosten der Emissionsreduktion bei Politik des Kyoto-Protokolls

Emissionsreduktion im Jahr 2020 im Rahmen des Kyoto-Protokolls				
Einkommensniveau	Schaden	Gegenwartswert	Kosten im Jahr 2020	Kosten pro Tonne im Jahr 2020
Niedrig	22,00	162,50	3575,00	2667,91
Mittel	7,63	4,875	37,20	23,10
Hoch	18,18	2,54	46,18	17,04
Summe	47,81		3658,38	

<Tabelle 11.b> Grenzkosten der Emissionsreduktion bei optimaler Umweltpolitik

Emissionsreduktion im Jahr 2020 im Rahmen einer optimalen Umweltpolitik				
Einkommensniveau	Schaden	Gegenwartswert	Kosten im Jahr 2020	Kosten pro Tonne im Jahr 2020
Niedrig	22,18	162,50	3604,25	2689,74
Mittel	7,67	4,88	37,39	23,22
Hoch	5,18	2,54	13,16	4,54
Summe	35,03		3655,80	

Diese Simulation zeigt, dass nicht nur der Schaden der Politik des Kyoto-Protokolls größer als der der optimalen Politik ist, sondern auch die Kosten für die Emissionsreduktion.

Durch die Grenzkosten der Emissionsreduktion beider Politiken in Tabelle 11 können wir den Handelsgewinn berechnen. Der regionale Schaden in Tabelle 12 zeigt, dass die Industriestaaten zusätzliche Kosten zahlen. Trotzdem ist der Profit der Industriestaaten durch den Handel niedriger als der Handelsgewinn im Rahmen einer optimalen Politik. Der Grund dafür ist, dass der internationale Emissionsreduktionshandel unter der opti-

malen Emissionspolitik einen niedrigeren Preis hat als unter dem Kyoto-Protokoll, was wiederum seine Ursache in der Tatsache hat, dass die Industriestaaten, die im internationalen Handel die relative Oberhand haben, schon zwangsweise Emissionsreduktionen durchgeführt haben, sodass in Industriestaaten eine relativ niedrige Emissionsreduktion bevorzugt wird. Deswegen fordern sie eine optimale Umweltpolitik, die den Außenhandel mit einschließt.

<Tabelle 12.a> Handelsgewinn bei der Politik des Kyoto-Abkommens im Jahr 2020

Einkommensniveau	Emissionshandel (Handelspreis 33,95 Dollar pro Tonne)					
	GK (Dollar)	Schaden (Mrd.)	Reduktion (Gt)	ZB (Mrd.)	Bezahlung (Mrd.)	HG (Mrd.)
Niedrig	2667,91	22,00	0,008	0,14	0,28	21,72
Mittel	23,10	7,63	0,0003	5,61	11,21	3,58
Hoch	17,00	18,18	1,07	18,18	36,3	18,13
Summe		47,81	1,08			

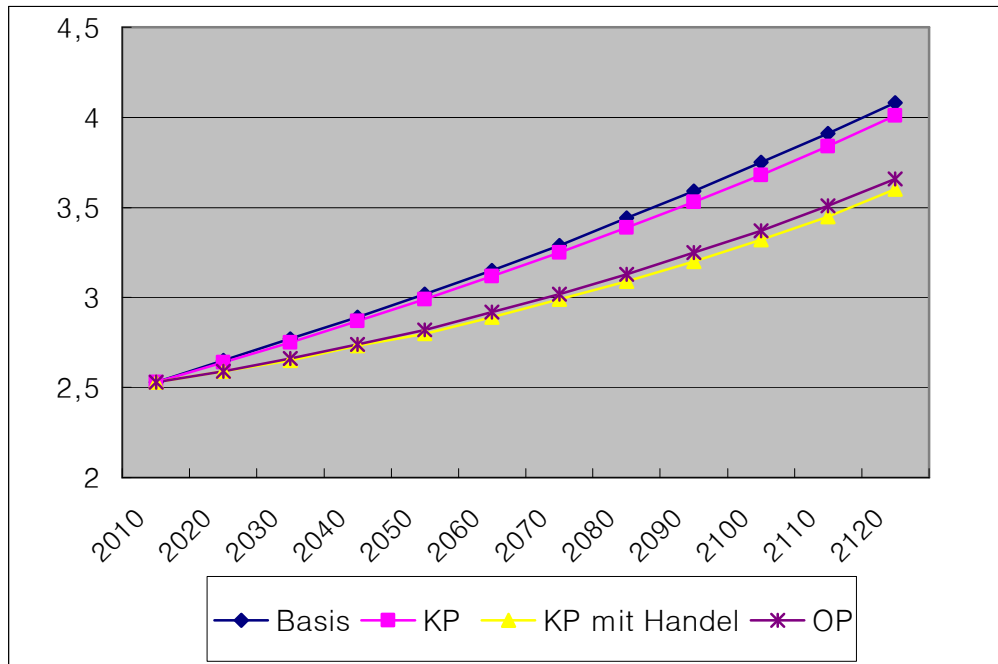
<Tabelle 12.b> Handelsgewinn bei optimaler Politik

Einkommensniveau	Emissionshandel (Handelspreis 23,53 Dollar pro Tonne)					
	GK (Dollar)	Schaden (Mrd.)	Reduktion (Gt)	ZB (Mrd.)	Bezahlung (Mrd.)	HG (Mrd.)
Niedrig	2667,91	22,00	0,008	0,04	0,19	21,80
Mittel	23,10	7,67	0,33	1,51	7,81	0,14
Hoch	4,54	5,18	1,14	5,18	26,85	21,67
Summe		34,85	1,481			

Die Emissionsreduktionsmenge unter dem Kyoto-Protokoll beträgt 1,077 Gt, die zunächst nur die Industriestaaten reduzieren sollen. Dagegen beträgt die Emissionsreduktion bei optimaler Politik 1,481 Gt. In beiden Umweltpolitiken ist ein höherer Gewinn möglich, wenn Entwicklungsländer die Emissionsreduktion der Industriestaaten kaufen, als wenn sie deren eigene Emissionsreduktion erzielen. Der Grund dafür ist, dass der internationale Preis für die Emissionsreduktion niedriger ist als die Grenzkosten der eigenen Emissionsreduktion. Also werden alle Regionen die optimale Handelspolitik für die

Emissionsreduktion bevorzugen. Andererseits werden Staaten mit mittlerem Einkommensniveau und hoher Klimasensibilität das Kyoto-Protokoll bevorzugen.

Zuletzt betrachten wir den Temperaturanstieg der optimalen Politik und des Kyoto-Politik, sodass wir die Treffsicherheit der beiden Politikvarianten prüfen können.



<Abb. 17> Temperaturanstieg bei Kyoto-Politik und optimaler Umweltpolitik

Diese Simulation zeigt, dass der Effekt der Politik recht unbedeutend ist und den Temperaturanstieg nur verschiebt. Wenn das Kohlendioxid in der Atmosphäre verdoppelt wird, wird die Temperatur voraussichtlich um 4,1 °C steigen. Dies wird ohne jede besondere Politik im Jahre 2121 erreicht sein. Mit der Politik des Kyoto-Protokolls wird diese Temperatursteigerung 5 Jahre später (2126) eintreten. Mit einer optimalen Politik kann man den Zeitpunkt recht stark nach hinten verschieben, sodass diese Situation nach dieser Simulation etwa 25 Jahre später (2147) eintreten wird.

Wenn die Politik des Kyoto-Protokolls mit internationalem Handel durchgeführt wird, kann der Zeitpunkt der verdoppelten Kohlendioxidakkumulation im Vergleich zur Basis etwa 30 Jahre nach hinten (2152) verschoben werden.

Wenn wir unter dieser Treffsicherheit die erzwungenen Emissionsreduktionskosten, die die Industriestaaten bei der Einhaltung dieser Politik tragen werden, in Betracht ziehen,

dann ist das Kyoto-Protokoll im Hinblick auf die Selbstkontrollfunktion der internationalen Wirtschaft und der Tatsache, dass die Entscheidung der einzelnen Staaten, die auf der Souveränität des Landes basieren müssen, im Vergleich zur optimalen Politik der Emissionsreduktion eine minderwertige und zugleich ungerechte Politik. Natürlich waren in dieser Betrachtung der Politik die Organisation des Verwaltungsapparates und die Verwaltungskosten nicht eingeschlossen. Trotzdem zeigt das einfache Ergebnis dieser Simulation, dass die einzelnen Regionen die in ihrer Region spezifischen Emissionsreduktionsmengen zu regeln haben und die Grenzkosten der Emissionsreduktion mit dem Handelspreis vergleichen müssen, sodass sie entscheiden können, ob sie ihrerseits die Emission reduzieren, oder die Emissionsreduktion kaufen. Natürlich werden die Teilnahme am internationalen Handel und die eigene Emissionsreduktion gerechtfertigt, wenn die minimalen Kosten, die durch diese Maßnahmen entstehen, kleiner als die Schadensreduktion sind. Wenn alle individuellen Teilnehmer an der kollektiven Politik des Kyoto-Protokolls teilnehmen wollen, muss das Pareto-Prinzip eingehalten werden, und somit ist das Ergebnis dieser Simulation in der internationalen Entscheidung der Emissionsreduktion auf jeden Fall zu berücksichtigen.

Anhang 2: Erklärung der Begriffe für die Simulation

1. Naturbereich

AK Akkumulation des in der Atmosphäre emittierten Kohlendioxids. Die Ausgangsmenge beträgt ca. 836 Gt im Jahr 1990. Die Geschwindigkeit der Akkumulation übt einen wichtigen Einfluss auf die Akkumulation in der Atmosphäre aus.

$$AK = AK(0) + \int_0^{\infty} \beta E \cdot dt : \quad AK(0) = 836,31 \text{ Gt.}$$

E Die Weltemission ist die Summe des äquivalenten Kohlendioxids aller Regionen. Ein Teil davon verbleibt in der Erde. Ein Anteil von 65 % des gesamten Kohlendioxids wird in die Atmosphäre ausgesendet.

β Prozentsatz des anthropogenen Kohlendioxids: 0,65.

ASSIM Die Assimilation des in der Atmosphäre akkumulierten Kohlendioxids. Je schneller die Akkumulationsgeschwindigkeit, desto stärker die Assimilation der Atmosphäre, dabei gibt es eine Obergrenze. Diese Simulation zeigt, dass die Assimilationsmenge nach 250 Jahren am größten ist, und die Assimilationsgeschwindigkeit nach 100 Jahren am höchsten.

$$ASSIM = ASSIM(0) + \int_0^{\infty} AS \cdot dt : \quad ASSIM(0) = 100,$$

$$AS = 0,025 \cdot (AK/8,36) \cdot (1 - (AK/8,36)/300).$$

NAK Das konzentrierte Kohlendioxid ist die Zusammenwirkung von Schadstoffakkumulation und Assimilation.

$$NAK = AK - ASSIM.$$

T Die Änderung der Temperatur durch die atmosphärische Konzentration des äquivalenten Kohlendioxids: Die Basistemperatur von 13 °C

wird als in der vorindustriellen Zeit gegeben angesehen. Dabei wird das Problem des durch die anderen Treibhausgase verursachten Temperaturanstiegs SA als schon gelöst angesehen, und dieser Temperaturanstieg um ca. 1,15 °C ist anhaltend. Dazu ist die Änderung der Temperatur regional unterschiedlich und abhängig von der Klimasensibilität (KS). In dieser Simulation wird die hohe Klimasensibilität als 1,5, die mittlere als 1 und die niedrige als 0,5 angenommen. Wenn wir der naturwissenschaftlichen Argumentation folgen, dass die Verdopplung der atmosphärischen Konzentration des äquivalenten Kohlendioxids die Temperatur um ca. 4,1°C steigert, kann die folgende Formulierung von Nordhaus akzeptiert werden:

$$T = KS \cdot (2,95 \cdot (\text{LOG}(NAK/560)/\text{LOG}(2)) + SA).$$

SA Die mit dem Temperaturanstieg von 1,15 °C stabilisierte Akkumulation anderer Treibhausgase. Diese Variable ist so entworfen, dass sie sich im Jahre 2005 stabilisiert.

$$SA = \text{MIN}(\text{MAX}(0, -0,1965 + 0,13465 \cdot (\text{TIME} + 90)/10), 1,15).$$

2. Wirtschaftsbereich

2.1. Emission und Produktion

HEPKE Das Wachstum des Pro-Kopf-Einkommens in Regionen mit hohem Einkommensniveau, das aus dem in derselben Region emittierten Kohlendioxid resultiert. Der Anfangswert im Jahre 1990 in diesen Regionen wird mit 3476 Dollar angenommen, weil nach der empirischen Analyse das durchschnittliche Pro-Kopf-Einkommen in diesem Jahr 21696 Dollar betrug, und der Anteil des durch Emission bedingten Einkommens 15,82 Prozent. Dabei wird der Prozentsatz des vom Kohlendioxid abhängigen Einkommens als ATEHE beschrieben. Hierbei wird die Schadstoffemission als ein wichtiger Faktor für die Produktion

angesehen. Jedes Wirtschaftswachstum hat eine streng monoton wachsende Funktion auf dem Zeitlauf. Dabei wird eine Wachstumsrate von 0,04 angenommen.

$$\text{HEPKE} = \text{HEPKE}(0) + \int_0^{\infty} h_e \cdot dt ,$$

$$\text{HEPKE}(0) = 3476 \text{ Dollar.}$$

$$h_e = (\text{EiH}) \cdot (1 - (\text{EiH})/10) \cdot \text{EXP}(0,04)$$

MEPKE

Das Wachstum des Pro-Kopf-Einkommens in Regionen mit mittlerem Einkommensniveau. Der Anfangswert im Jahre 1990 wird mit 1493 Dollar angenommen, weil das durchschnittliche Pro-Kopf-Einkommen in diesem Jahr 2604 Dollar betrug, und der Anteil des durch Emission bedingten Einkommens 57,32 Prozent. Dabei wird der Prozentsatz des von dem Kohlendioxid abhängigen Einkommens als ATEME bezeichnet. Hierbei wird eine Wachstumsrate von 0,06 angenommen.

$$\text{MEPKE} = \text{MEPKE}(0) + \int_0^{\infty} m_e \cdot dt ,$$

$$\text{MEPKE}(0) = 1493 \text{ Dollar.}$$

$$m_e = 4,1 \cdot (\text{EiM}) \cdot (1 - (\text{EiM})/10) \cdot \text{EXP}(0,06)$$

NEPKE

Das Wachstum des Pro-Kopf-Einkommens in Regionen mit niedrigem Einkommensniveau. Der Anfangswert im Jahr 1990 in dieser Region wird mit 371 Dollar angenommen, weil das durchschnittliche Pro-Kopf-Einkommen in diesem Jahr 522 Dollar betrug, und der Anteil des durch die Emission bedingten Einkommens 71 Prozent. Dabei wird der Prozentsatz des von dem Kohlendioxid abhängigen Einkommens als ATENE bezeichnet. Hierbei wird eine Wachstumsrate von 0,1 festgesetzt.

$$\text{NEPKE} = \text{NEPKE}(0) + \int_0^{\infty} n_e \cdot dt ,$$

$$\text{NEPKE}(0) = 371 \text{ Dollar.}$$

$$n_e = 4,1 \cdot (\text{EiN}) \cdot (1 - (\text{EiN})/10) \cdot \text{EXP}(0,1)$$

$E_{iJ}; (J=H, M, N)$ Die Emissionsmenge aller Regionen übt einen starken Einfluss auf das Wirtschaftswachstum aus. Grundsätzlich ist die Wachstumsrate der Emissionsmenge abhängig von der Wirtschaftswachstumsrate, und die Summe der jährlichen Emissionsmenge aller Regionen ist die Emissionsmenge der Welt.

$$E = E_{iH} + E_{iM} + E_{iN},$$

$$E_{iH} = (HEPKE/1200), E_{iM} = ((MEPKE)/1000), E_{iN} = (NEPKE/350).$$

WEPKE Das nur mit der Schadstoffemission verbundene Einkommen der Welt ist keine einfach addierte Summe der durch die Schadstoffemission hergestellten Einkommen, sondern die Emissionssumme, die durch die Weltbevölkerung gewichtet wird. Also gilt

$$WEPKE = [(HEPKE \cdot LH) + (MEPKE \cdot LM) + (NEPKE \cdot LR)] / LW.$$

LH Die Zahl der Bevölkerung in Regionen mit hohem Einkommensniveau. Dabei wird angenommen, dass die Wachstumsrate der Bevölkerung immer kleiner wird.

$$LH = LH(0) + \int_0^{\infty} glh \cdot dt : \quad LH(0) = 835.600.000,$$

$$glh = 0,0175 \cdot \text{EXP}(-0,025 \cdot t) \cdot LH.$$

LM Die Zahl der Bevölkerung in Regionen mit mittlerem Einkommensniveau.

$$LM = LM(0) + \int_0^{\infty} glm \cdot dt : \quad LM(0) = 1.236.700.000,$$

$$glm = 0,0175 \cdot \text{EXP}(-0,025 \cdot t) \cdot LM.$$

LN Die Zahl der Bevölkerung in Regionen mit niedrigem Einkommensniveau

$$LN = LN(0) + \int_0^{\infty} gln \cdot dt : \quad LN(0) = 3.577.000.000,$$

$$gln = 0,0175 \cdot \text{EXP}(-0,025 \cdot t) \cdot LN.$$

LW Die Zahl der Bevölkerung in der Welt, welche die Summe der Bevölkerung aller Regionen ist.

$$LW = LW(0) + \int_0^{\infty} glw \cdot dt : \quad LW(0) = 5.649.300.000.$$

$$glw = 0,0175 \cdot \text{EXP}(-0,025 \cdot t) \cdot LW.$$

2.2. Schaden und Temperaturanstieg

S Schaden, der von der Bevölkerung und der Klimasensibilität abhängt. Der Weltschaden ist ein Teil des Welteinkommens WKE, der aus dem Schadensindex D berechnet wird und eine Funktion vom Temperaturanstieg ist.

$$S = WKE \cdot D$$

D Schadensindex, der durch Veränderung der Temperatur als Einflussindex auf die Wirtschaft definiert wird.

$$D = 0,0001 \cdot (KS \cdot T) + 0,0001 \cdot (KS \cdot T)^2$$

KS Klimasensibilität, die die regionalen Klimaunterschiede widerspiegelt.

$$KS = 0,5, 1 \text{ und } 1,5.$$

WKE Welteinkommen ist die Summe der Einkommen aller Regionen.

$$WKE = NKE + MKE + HKE$$

$$HKE = (HEPKE / 0,158) \cdot LH,$$

$$MKE = (MEPKE / 0,573) \cdot LM,$$

$$NKE = (NEPKE / 0,707) \cdot LN.$$

RS Schaden durch die Klimaänderung in der jeweiligen Region.

$$RS = S \cdot (LJ / LW) : \quad J = H, M, N.$$

3. Politik

KYOTO Eine Politik, die im Kyoto-Protokoll festgesetzt ist. Zwischen 2008 und 2012 sollen die hochindustrialisierten Länder ihre gegenwärtige Kohlendioxidemission um ca. 5,2 Prozent der Emissionsmenge des Jahres 1990 reduzieren. Da die Kohlendioxidemission in diesen Regionen im Jahr 1990 ca. 2,88 Gt. betrug, soll die zukünftige Emission von ca. 2,71 Gt konstant gehalten werden. Dann ist die Reduktionsmenge der Schadstoffemission wie folgt zu beschreiben.

$KYOTO = STEP(0,149+0,0017 \cdot t, 19)$: Diese Funktion bedeutet, dass die Reduktion der Schadstoffemission ab dem Jahre 2010 beginnen wird. Durch den internationalen Handel kann eine Reduktionsmenge von 1,41 Gt erreicht werden.

OP-KYOTO Die Reduktionsmenge des Schadstoffes, der durch den Handel nach der Emissionsreduktion unter dem Prinzip des Kyoto-Protokolls abzuleiten ist, beträgt 1,41 Gt.

$OP\text{-Kyoto} = STEP(1,41 \cdot RUN, 19)$: Ab dem Jahre 2010 kann die Politik, das anthropogenen Kohlendioxid um 1,41 Gt zu reduzieren, durchgeführt werden.

OHP Die optimale Handelspolitik, bei der alle Regionen die optimale inländische Politik für sich festlegen und ihre Politik untereinander austauschen. Somit wird der internationale Handelspreis für die Reduktion der Schadstoffemission ermittelt. Die optimale Reduktionsmenge ist 1,41 Gt. Um die Ergebnisse mit dem Effekt der Politik des Kyoto-Protokolls vergleichen zu können, wird festgelegt, dass diese Politik auch ab dem Jahre 2010 durchgeführt wird.

$OHP = STEP(1,41 \cdot RUN, 19)$

G. Schlussfolgerung: Diskussion über internationale Regime

Roger Bate (1996) behauptet, dass die globale Erwärmung ein politisches Thema ist. Zwar gibt es genug naturwissenschaftliche Forschungsergebnisse und Erkenntnisse darüber, aber die Politiker bedienen sich natürlich nur jener Ergebnisse, die ihren Zwecken dienen. Dennoch wird die Politik immer noch im öffentlichen Bereich entschieden.²⁴⁴

William D. Nordhaus (2000) teilt das Management der globalen Umweltverschmutzung in die folgenden zwei Regime ein: kooperativ und nicht-kooperativ.²⁴⁵ Bisher hat diese Arbeit versucht, eine nicht-kooperative Lösung des länderübergreifenden Umweltproblems der globalen Erwärmung zu finden, und deren Effekt zu beweisen, und dabei behauptet, dass internationale Regime für diese Lösung dezentral, also unter der Anerkennung der Souveränität jedes Landes fungieren müssen. Dagegen versuchen die Politiker, das Umweltproblem unbedingt auf einem Weltgipfel zu behandeln. Der Grund dafür liegt darin, dass die Politiker ihrem Wesen nach versuchen, durch die Erzeugung von Angst vor der Vernichtung der Menschheit politische Macht zu erlangen, und zu diesem Zweck die Wissenschaft zu missbrauchen.²⁴⁶

Dieses aus politischem Interesse entstehende Problem macht es notwendig, die Realität der globalen Erwärmung herauszufinden.²⁴⁷ Denn niemand kann wissen, ob diese Zusammenarbeit der Umweltlobbyisten wirklich zum Schutz der Umwelt beiträgt, während jedoch alle wissen, dass diese Zusammenarbeit zu teuer ist, und dass damit lediglich das Einkommen der Welt neu verteilt wird, und zwar schlechter als zuvor.

Diese Arbeit hat durch Simulation versucht, das Ausmaß der globalen Erwärmung als länderübergreifendes Umweltproblem, beziehungsweise als Einfluss des Treibhauseffektes auf die Wirtschaft einzuschätzen. Sie gibt uns eine Grundlage der Diskussion über internationale Anordnungen für die Lösung des länderübergreifenden Umweltprob-

²⁴⁴ Vgl. Roland Bate (1996), An Economist's Foreword, in: J. Emsley (Hrsg.), *The Global Warming Debate: The Report of the European Science and Environment Forum*, London, S. 7.

²⁴⁵ Vgl. William D. Nordhaus (2000), *Global Public Goods*, in: W. Krull (Hrsg.), *Debates on Issues of Our Common Future*, Göttingen, S. 145–146.

²⁴⁶ Durch das Interview von Stephen Schneider wurde die globale Erwärmung zu einem wichtigen Thema des Weltgipfels. Aber den Forschungsergebnissen bezüglich deren Wirkung kann nicht getraut werden. Vgl. Roland Bate und Julian Morris (1994), *Global Warming: Apocalypse or Hot Air?* in: *Institute of Economic Affairs (IEA)*, S. 9–10.

²⁴⁷ Vgl. Bjorn Lomborg (2001), *A.a.O.*, S. 12.

lems und einen Maßstab für die Kritik am politischen Moral-Hazard. Bei der Simulation sind eine deutliche Steigerung des anthropogenen Kohlendioxids in der Atmosphäre und auch eine Temperaturerhöhung in Bezug auf die bisherige Tendenz der Schadstoffemission angenommen worden, obwohl es fragwürdig ist, beide Faktoren zu verbinden, weil zu viele Elemente und Möglichkeiten für die Temperaturerhöhung außer der in dieser Simulation behandelten Faktoren existieren. Aus diesem Grund ist es rational, empirische Ergebnisse über die länderübergreifende Umweltverschmutzung immer wieder kritisch zu betrachten.

1. Realität der globalen Erwärmung

Die weithin akzeptierte These „die Industrialisierung verursacht eine globale Umweltkatastrophe bzw. Klimakatastrophe“ kann bisher nicht überzeugen, aber ihre eingeführte Kausalität hat einen hohen Stellenwert in unserem Denken. Obwohl uns noch nichts passiert ist, was man direkt auf die globale Erwärmung als länderübergreifendes Problem beziehen kann, haben wir zurzeit große Angst vor einer Klimakatastrophe. Diese ist die Angst vor der Vernichtung der Menschheit. Aber wegen mangelnder Beweise für die Kausalität der Umweltkatastrophe benötigen die Ansätze über ein optimales Ausmaß der globalen Erwärmung oder über das katastrophale Ende rhetorische Argumente, mit denen die Realität verdunkelt wird.²⁴⁸ Um, wenn möglich, reale Tatsachen zu behandeln, beginnen wir diesen Abschnitt mit den Ergebnissen der naturwissenschaftlichen Forschung. Danach kritisieren wir die Effekte der wirtschaftlichen Maßnahmen. Wir haben gesehen, dass das länderübergreifende Umweltproblem bzw. die atmosphärische Akkumulation der Treibhausgase keine Externalität mehr ist, wenn der Außenhandel der Umweltpolitik für die regional optimale Emissionsreduktion durchgeführt wird.

Durch diese Simulation haben wir weiterhin gesehen, dass der Erwärmungsgrad sich nicht aufgrund der Umweltpolitik unterscheidet, sondern aufgrund der regional unterschiedlichen Klimasensibilität. Dies steht im Gegensatz zu den Behauptungen der Umweltschützer. Das Ergebnis der Simulation ist identisch mit dem Ergebnis, dass die Erwärmung der Erde bei der Verdoppelung der CO₂-Konzentration anhand der Konstellation

²⁴⁸ Ebd. S. 27.

tion der Forschungsgitter (in Breite und Länge je 500km²) sehr unterschiedlich zwischen 1,9 °C und 5,2 °C ist, und gibt uns die naturwissenschaftliche Rechtfertigung der regionalen Umweltpolitik für die Lösung der globaler Erwärmung. Weil die unterschiedliche Auswirkung der atmosphärischen Konzentration des Kohlendioxids regional verschiedene Grenzsäden verursacht, bewirken diese grundsätzlich regional unterschiedlichen Grenzkosten für die Schadensvermeidung. Vor allem ist durch diese Simulation nachgewiesen, dass die herkömmlichen globalen Maßnahmen zur Abwehr globaler Umweltkatastrophen eine ineffiziente Politik herbeiführen. Die Umweltpolitik zur Verzögerung der Erwärmung durch die Einführung einer neuen globalen Umweltstrategie ist somit nicht nur wegen der Ineffizienz der herkömmlichen Ansätze, sondern auch wegen wahrscheinlicher selbstregulativer Effekte der Erde (z.B. Erwärmung → Zunahme der Bewölkungsdichte → Abkühlung) belanglos.²⁴⁹

Wenn angenommen werden kann, dass die psychologische Wirkung eines Phänomens nicht aus der Realität, sondern aus den Spekulationen der Menschen über dieses Phänomen entsteht, kann man sagen, dass die Angst der Menschen vor der Umweltverschmutzung vorsätzlich verbreitet wird, indem unabhängig von der Meinung der Menschen die Politiker oder die Interessengruppen mit dem Umweltschutz übereinstimmen, der für sie vorteilhaft, aber umgekehrt für die anderen nachteilig sein kann.

Die in dieser Arbeit aufgenommene Kosten-Nutzen-Analyse hat den Effekt einer Politik nicht nur bezogen auf die Welt erklärt, sondern auch auf jede Region, und sie hat gezeigt, dass die optimale Politik für die Welt auch für jede einzelne Region optimal ist. Das heißt, dass die global optimale Umweltpolitik auf der Basis optimaler Umweltpolitik jeder Region gebildet werden kann. Mit diesen Analysen haben wir gesehen, dass der Austausch der Politik, die aufgrund des Umwelt- und Wirtschaftzustandes jeder Region festgesetzt ist, eine Methode ist, die Schadstoffemission der Welt am ehesten zu vermindern. Aus diesem Grund kann dieser Austausch als eine „nicht-bedauerliche“ Politik angesehen werden, die den gesellschaftlichen Gewinn in einer Region ohne gesellschaftliche Kosten in den anderen Regionen anbietet.²⁵⁰

²⁴⁹ Ein Forschungsergebnis zeigt, dass die Klimaschwankung mit einem Zyklus von tausend Jahren zwischen 14,0 °C und 16,0 °C verläuft. Vgl. Spiegel-Streitgespräch „Kann das Noch Zufall sein?“ in: Spiegel, Nr. 34/19.8.02, S. 48–50.

²⁵⁰ Ebd. S. 39.

2. Steuerung der globalen öffentlichen Güter

2.1. Prinzipien und Probleme des Kyoto-Protokolls

Mit der Betonung der Notwendigkeit des wirtschaftlichen Austausches der Politik ist es sinnvoll geworden, die Rolle der internationalen Institutionen explizit zu bestimmen. Als eine davon ist das Kyoto-Protokoll durch politische Abkommen erklärt worden. In diesem Protokoll ist der Austausch der Politik zur Schadstoffsverminderung zwar vorgesehen, bei der Zielsetzung des Protokolls aber gibt es wichtige Probleme, die der Grund dafür sind, dass einige Länder dem Protokoll nicht zustimmen.²⁵¹

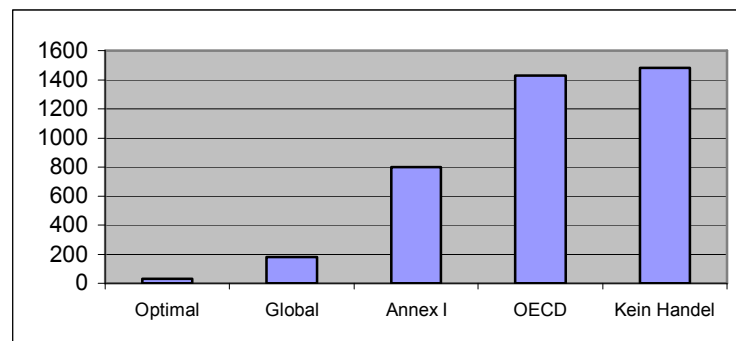
William D. Nordhaus (2000) bemängelt das Kyoto-Protokoll. Seiner Meinung nach ist die in diesem Protokoll dargestellte Lösung aus der Perspektive der Wirtschaftswachstumstheorie zu verschwenderisch. Die in dieser Arbeit entworfene Simulation zeigt, dass die Aufzählung der Probleme des Kyoto-Protokolls zuerst mit den zusätzlichen Kosten zur Emissionsreduktion, zu den die Industriestaaten verpflichtet sind, angefangen werden kann, und weiterhin, dass es die Entwicklungsländer nicht einschließt und letztlich keine Alternative zur Durchführung des Handelssystems der Schadstoffemission bereithält.²⁵² Die Simulation zeigt, dass die Industriestaaten die Verantwortung für ungefähr 40 % der Schadstoffemission tragen. Obwohl die Entwicklungsländer ca. 60 % der Schadstoffe ausstoßen, kann sie niemand dazu bringen, die Emission zu reduzieren. Und auch wenn wir annehmen, dass sie zu Anfang dabei sind, so besteht doch die Möglichkeit einer nachträglichen Abweichung vom Protokoll. Es gibt zwei Abweichungsmöglichkeiten bei der internationalen Kooperation: 1. Abweichung durch das „Moral-Hazard“ der Politiker, die nur ihre eigenen Ziele verfolgen und 2. Abweichung durch die Unfähigkeit der Politiker gegenüber der Komplexität der Problemlage. Der Grund dafür liegt darin, dass in Wirklichkeit die Regierungen nicht nur einen Tisch für die internationalen Verhandlungen haben, sondern auch einen Tisch für inländische öffentliche Akzeptanz. Das Moral-Hazard kann als freiwillig angesehen werden, und die Unfä-

²⁵¹ Die Vereinigten Staaten, Australien, China, Indien und Süd-Korea wollen ein neues Abkommen zur Reduktion der Schadstoffemission und Verhinderung der globalen Erwärmung schließen. Siehe dazu, „Amerika entwirft eigenes Klimaschutz-Abkommen“ in: Frankfurter Allgemeine Zeitung am 27. Juli 2005.

²⁵² Vgl. William D. Nordhaus (2000), A.a.O., S. 151–152.

higkeit als unfreiwillig. Die freiwillige Abweichung beruht auf dem Verhalten eines vernünftigen Egoisten in Abwesenheit durchsetzbarer Verträge. Die unfreiwillige Abweichung reflektiert jedoch das Verhalten einer Regierung, die mangels inländischer Ratifizierung unfähig ist, das Preissystem durchzusetzen.²⁵³ Die Verzerrung des Gleichgewichtes aufgrund dieser Unfähigkeit nennt man das Regierungsversagen. Dieses Problem kann nicht durch die Spieltheorie gelöst werden, sondern durch die Allokationstheorie. Wenn jedes Politikinstrument, z.B. jeder Preis durch das Marktwirtschaftssystem wieder verteilt wird, für das es einen komparativen Vorteil gibt, dann ist die dezentralisierte Politikentscheidung eine folgerichtige und stabile Lösung.²⁵⁴ Wir haben gesehen, dass konkurrenzfähige marktwirtschaftliche Lösung effektiver als die zentralisierte kooperative ist.

Die folgende Abbildung 16 zeigt die Forschungsergebnisse von Nordhaus (2000). Der Umfang des Handels mit Emissionsrechten zwischen den Industriestaaten (Handel in Annex-I-Ländern) im Kyoto-Protokoll beträgt ungefähr 800 Milliarden Dollar zum gegenwärtigen Wert.



<Abb. 18> Kosten der verschiedenen Strategien

Quelle: W. D. Nordhaus, Global Public Goods, in: W. Krull, Debates on Issues of Our Common Future, Göttingen, 2000, S. 153.

²⁵³ Vgl. Robert D. Putnam (1999), Diplomacy and domestic politics: the logic of two-level games, in: Charles Lipson and Benjamin J. Cohen (Hrsg.), Theory and Structure in International Political Economy: An International Organization Reader, Cambridge, S. 358.

²⁵⁴ Vgl. Roland Vaubel, a.a.O., S. 30.

Aber ohne den Handel der Emissionsrechte oder beim Handel der Emissionsrechte nur zwischen den OECD-Ländern (ohne Russland, die Ukraine und die anderen osteuropäische Länder) sind die Kosten genau doppelt so hoch wie beim Handel in den Annex-I-Ländern.²⁵⁵ In Abbildung 16 kann man erkennen, dass das Optimum ein Handel unter allen Ländern der Welt ist, wobei die Kosten signifikant reduziert werden können. Dabei wird auch die Treffsicherheit der Politik zwischen dem Kyoto-Protokoll und der optimalen Politik verglichen. Die Simulation zeigt, dass der Effekt der Verzögerung der Kyoto-Politik sehr gering im Vergleich zu der optimalen Politik ist, obwohl die Kosten der Emissionsreduktion bei der Kyoto-Politik höher als bei den optimalen Kosten sind. Der Hauptgegenstand dieser Kritik betrifft einen wesentlichen Punkt: Dieses Protokoll ist faktisch gescheitert. Es hat einen Preis von ungefähr eintausend Milliarden Dollar, der für die Messung, Beurteilung und die Koordinierung anfällt. Die Methode (z.B. die Kontrolle der Länder durch eine internationale Organisation) bringt eine enorme Auswirkung auf die Kosten mit sich.²⁵⁶

Ein Problem des Kyoto-Protokolls ist so zu formulieren: Es gibt darin keine Motivation, die eine freiwillige und weltweite Teilnahme der Länder verursacht. Das Kyoto-Protokoll muss eine solche Teilnahme ermöglichen, wenn es als wirksames Abkommen fungieren will.²⁵⁷ Wenn wir versäumen, zumindest den globalen Handel innerhalb des Kyoto-Protokolls zu realisieren, würden die ehrenvollen Absichten im Kyoto-Protokoll, durch die Restriktion der CO₂-Emission der Welt zu helfen, nur dazu führen, lediglich Netto-Kosten der Welt unsinnig zu verbrauchen.²⁵⁸

2.2. Ausrichtung des Handels an den Schadstoffemissionen

Schließlich kann man sagen, dass der Außenhandel der Schadstoffemission zur Reduktion dieser Emissionen nicht ignoriert werden darf. Zur Festlegung der optimalen Umweltpolitik soll der oben erwähnte Prozess des Außenhandels aufgenommen werden.

²⁵⁵ Vgl. Bjorn Lomborg (2001), A.a.O., S. 303.

²⁵⁶ Vgl. Lord D. Taverne, Vergesst Kyoto, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung, am 28. August 2005.

²⁵⁷ Vgl. William D. Nordhaus (2000), A.a.O., S. 153–154.

²⁵⁸ Vgl. Bjorn Lomborg (2001), A.a.O., S. 311. Vgl. William D. Nordhaus und Joseph G. Boyer (1999), Roll the DICE Again: Economic Models of Global Warming, in: web chap 8 102599.wpd, S. 8–14.

Kurz gesagt, sollen die folgenden Stufen durchgeführt werden: 1. Maßnahmen im eigenen Land, 2. Maßnahmen im Ausland und 3. Ein- und Verkauf der Umweltpolitik.²⁵⁹ Beim Außenhandel der Schadstoffemission kann von folgenden Vorteilen gesprochen werden: 1. Verringerung der Gesamtvermeidungskosten, 2. Transparenz bezüglich eigener Investitionen in Maßnahmen zur Emissionsreduktion durch den Marktpreis für Emissionsrechte und 3. Optimierung der Emissionsreduktionsmenge und deren Preis durch vollständig konkurrierenden Ein- und Verkauf.²⁶⁰ Durch die Festlegung der verschiedenen Ausmaße der Verminderung der Gesamtvermeidungskosten kann man zeigen, welches System im Vergleich zu den anderen Systemen effektiver ist. Für den Vergleich der Effekte der Politik ist die Berechnung der verschiedenen Grenzvermeidungskosten notwendig. Die Simulation in dieser Arbeit zeigt, dass die Grenzvermeidungskosten bei optimaler Umweltpolitik niedriger sind als die des Kyoto-Abkommens.

2.3. Alternativmodell zum Kyoto-Protokoll

In diesem Abschnitt wird die Möglichkeit der Abwandlung von Signatarstaaten des Kyoto-Protokolls betrachtet. Damit wird versucht, die Dezentralisierung der Umweltpolitik theoretisch zu rechtfertigen und eine praktische Methode zur Durchführung dezentraler Umweltpolitik zu beschreiben. Zuerst nehmen wir eine wohlwollende Staatsregierung an. Diese Annahme bedeutet, dass das Abkommen über die Festlegung der Politik zur Schadstoffemissionsreduktion und die Durchsetzung des Abkommens die Teilnahmebedingung, also das Pareto-Prinzip, erfüllen muss. Das Kyoto-Abkommen erfüllt diese Bedingung nicht, weil nur die Industriestaaten in der ersten Stufe des Kyoto-Protokolls zur Emissionsreduktion verpflichtet sind. Bei einer Umweltpolitik wie der des Kyoto-Protokolls besteht die Möglichkeit, dass die Entwicklungsländer dieses Abkommen für ihre egoistischen Ziele ausnutzen, weil die Energieabhängigkeit in diesen Staaten zu hoch ist. Dann gibt es die Abweichungsmöglichkeit der Entwicklungsländer von dem Kyoto-Abkommen in der zweiten Stufe des Kyoto-Protokolls.

²⁵⁹ Vgl. Berthold R. Metzger und Arthur Pelchen (2001), Wie können Unternehmen von einem CO₂-Emissionsrechtehandel profitieren? In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Vol. 51, Heft. 10, S. 625.

²⁶⁰ Ebd. S. 625.

Aus dieser Problemstellung entsteht der Anreiz zu einem zuverlässigen Abkommen, von dem die Mitgliederstaaten nicht abweichen können. Dabei soll ein neues Abkommen zur Reduktion der Schadstoffemission verlangt werden, das auf der wirtschaftlichen Integration der Regierungen jedes beteiligten Staates basiert. Diese Integration verstärkt die Konkurrenz zwischen den Politikern.²⁶¹ Die optimale Politik, die in dieser Arbeit durch Simulation dargestellt ist, kann als ein Beispiel eines zuverlässigeren Klimamodells angesehen werden, indem sie die Teilnahmebedingung erfüllt, auf einer Kosten-Nutzen-Analyse beruht und den langfristigen Schaden durch die Festlegung des dynamischen Modells berücksichtigt.

3. Rechtfertigung der dezentralisierten Umweltpolitik

Bisher haben wir eine dezentrale und dynamische Politik betrachtet und simuliert, die auf der marktwirtschaftlichen Lösung basiert. Und auf diese Lösung wird ein neues völkerrechtliches Abkommen zurückgeführt. Hierbei wird über die theoretische und faktische Rechtfertigung dieses Abkommens gesprochen. Roland Vaubel (1991) hat gesagt, dass der simple Ansatz, globale Probleme über zentrale Organisation zu lösen, wegen der folgenden Thesen irreführend und unvollständig ist und oft falsch angewandt wird:²⁶²

1. Bei internationalen Externalitäten würden die geringen Produktionsmengen der international öffentlichen Güter und eine hohe Ausnutzung der öffentlichen Ressourcen aus der Abwesenheit der internationalen Organisationen resultieren.
2. Ohne eine internationale Organisation könnten keine international steigenden Skalenerträge bei der Herstellung nationaler öffentlicher Güter existieren.
3. Die Spieltheorie zeigt, dass nichtkooperative staatliche Entscheidungen suboptimale Ergebnisse erzeugen, und dass kooperatives Verhalten das Ergebnis verbessern kann.

Dieser Ansatz übersieht die Beziehung zwischen dem völkerrechtlichen Abkommen und den inländischen Politikern. In dieser Arbeit wird die Wichtigkeit eines solchen

²⁶¹ Vgl. Roland Vaubel (1995), *The Centralisation of Western Europe: The Common Market, Political Integration, and Democracy*, in: *Institute of Economic Affairs (IEA), Hobart Paper*. 127, S. 13.

²⁶² Vgl. R. Vaubel (1995), *A.a.O.*, S. 28.

Abkommens nicht verneint, sondern nur sein zentralistischer Modus.²⁶³ In Bezug auf die Konkurrenz hatten die klassischen Wirtschaftswissenschaftler kein Interesse an den Versäumnissen der Wirtschaftsakteure. Denn unter der Annahme der vollständigen Konkurrenz verursacht das Versäumnis eines Akteurs keinen sozialen Verlust, sondern nur die Umverteilung des Gewinns.²⁶⁴ Dieses Ergebnis - bei der Annahme der vollständigen Konkurrenz - ist auch im außenpolitischen Bereich gültig. Durch die Konkurrenz zwischen den Regierungschefs, welche die dezentrale Durchführung der Politik bedeutet, kann eine effizientere Politik in den internationalen Beziehungen ohne Verlust zugelassen werden.²⁶⁵

Die einzige Rechtfertigung des zentralisierten Abkommens liegt in einer erwünschten Effizienz bei der kollektiven Kontrolle. Aber eigentlich kann die Effizienz nur durch die Erfüllung der folgenden drei Bedingungen erreicht werden: 1. Freie Konkurrenz, 2. Beseitigung der nichtmarktwirtschaftlichen Externalitäten und 3. Reduktion politischer Maßnahmen. Aber solange eine Politik der Zentralisierung die Verstärkung der Macht zum Ziel hat, ist die Machtmonopolisierung einer Institution unvermeidbar, sodass die freie Konkurrenz zwischen der zentralen Institution und den anderen schwierig wird. Die Zentralisierung kann die Verhandlungsmacht der zentralisierten Organisation verstärken, aber keine Steigerung der Skalenerträge auslösen, sondern nur zusätzliche Kosten verursachen. Diese Ineffizienz durch die Fehlkonkurrenz nennt man „Regierungsversagen“.²⁶⁶ Die Ineffizienz der zentralen Politik kann nur durch fiktive Vorstellungen über den Preis unter vollständiger Konkurrenz eliminiert werden. Aber hier gibt es zwei Probleme, wenn ein Abkommen zentral ist:

²⁶³ Nach der Ansicht der klassischen Liberalisten gibt es zwei Gründe für die Gegenzentralisierung: Der Erste besteht in den individuellen Präferenzen. Diese müssen so gut wie möglich anerkannt und befriedigt werden. Der zweite Grund besteht darin, dass die Konkurrenz zwischen den nationalen Regierungen die Freiheit des Individuums schützt, indem sie die Möglichkeiten zu geheimen Übereinkommen der Politiker einschränkt. Ebd. S. 11–12.

²⁶⁴ Vgl. Albert O. Hirschman (1970), *Exit, Voice and Loyalty: Responses to Decline in Firms, Organizations, and States*, Cambridge, S. 2.

²⁶⁵ Vgl. Roland Vaubel (1995), A.a.O., S. 12.

²⁶⁶ Vgl. James M. Buchanan (1984), *Politics without Romance: A Sketch on Positive Public Choice Theory and Its Normative Implications*, in: James M. Buchanan und Robert D. Tollison (Hrsg.), *The Theory of Public Choice-II*, Michigan, S. 11. Der Begriff des Regierungsversagens ist ähnlich dem Begriff des Marktversagens. Vgl. Alan Peacock (1983), *Welfare Economics, Public Finance and Selective Aid Policies*, in: Fritz Machlup, Gerhard Fels und Hubertus Müller-Groeling (Hrsg.), *Reflections on a Troubled World Economy: Essays in Honour of Herbert Giersch*, London, S. 241. Vgl. Karl-Ernst Schenk (1980), *Marktversagen und Bürokratieversagen*, in: Erick Boettcher, Philipp Herder-Dorneich und Karl-Ernst Schenk (Hrsg.), *Neue Politische Ökonomie als Ordnungstheorie*, Tübingen, S. 198.

1. Unter unvollständiger Konkurrenz beschlossene Abkommen können zur Berechnung des optimalen Preises nicht beitragen.
2. Bei der politischen Preisfeststellung können Fehler der Regierung durch Interessengruppen und Medienwähler verursacht werden.

Nehmen wir an, dass ein zentrales Abkommen diese Preislösung für die länderübergreifende Umweltverschmutzung faktisch durchführen kann, dann können die Regulationen durch ein zentrales Abkommen gerechtfertigt werden. Trotz der Rechtfertigung der zentralisierten Regulationen bedeutet die Vielfältigkeitselimination der jeweiligen Alternativen einen Verlust.²⁶⁷ Also können wir erwägen, dass die Zentralisierung der Regulation die Pareto-Bedingung nicht erfüllen kann.²⁶⁸

Nur die Preisdifferenzierung, die auf den verschiedenen Präferenzen der Regionen und der Generationen basiert, kann die optimale Umverteilung der Schadstoffemission in der Welt durch den freien Außenhandel der Schadstoffe und den daraus folgenden Preismechanismus auslösen.

Aus dieser Diskussion heraus sollten die Regierungen nicht mehr als Altruisten zur Lösung globaler Probleme angesehen werden, sondern als nutzenmaximierende Egoisten. Wenn die marktorientierte Sicht bei internationalen Beziehungen die Hauptrolle spielen würde, dann ließe sich das Prinzip der vollkommenen Konkurrenz auch auf die internationale Politik übertragen, wodurch auch das Moral-Hazard der Politiker verhindert und die Ratifikation durch das Volk erleichtert würde. Diese dezentralisierte Politikentscheidung bietet jeder Region einen komparativen Vorteil, indem sie jede Region die Politik, die für sie am effizientesten ist, auswählen lässt, und so zu einer politisch stabilen Lösung gelangt ist, die weniger abhängig von den Veränderungen der internationalen Konditionen ist.²⁶⁹

²⁶⁷ Vgl. Roland Vaubel (1995), A.a.O., S. 18.

²⁶⁸ Ebd. S. 30.

²⁶⁹ Vgl. Roland Vaubel (1991), A Public Choice View of International Organization, in: Roland Vaubel und Thomas D. Willett (Hrsg.), *The Political Economy of International Organizations: A Public Choice Approach*, Oxford, S. 30.

Literaturverzeichnis

Alchian, Armen A. und Harold Demsetz (1982), Production, Information Costs, and Economic Organization, in: American Economic Review, Vol. 72.

Alchian, Armen A. und William R. Allen (1983), Exchange und Production: Competition, Coordination and Control, 3. Aufl., Belmont.

De Alessi, Louis (1990), Development of the Property Rights Approach, in: Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE), Vol. 146.

De Alessi, Louis (1998), Reflections on Coase, Cost, and Efficiency, in: James M. Buchanan und B. Monissen (Hrsg.), The Economists' Vision: Essays in modern economic perspectives; for Hans G. Monissen on the occasion of his sixtieth birthday, New York.

Arrow, Kenneth J. (1963), Social Choice and Individual Values, New York.

Arrow, Kenneth J. (1969), Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention, in: The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors, National Bureau of Economic Research, Princeton.

Banuri, Tariq und John Weyant (2001), Setting the Stage: Climate Change and Sustainable Development, in: Climate Change 2001, Mitigation, ed. von B. Metz, O. Davidson, R. Swart, und J. Pan, publish von IPCC.

Bate, Roger, Julian Morris und Wilfred Beckerman (1994), Global Warming: Apocalypse or Hot Air? in: Institute of Economic Affairs (IEA).

Bate, Roger (1996), An Economist's Foreword, in: J. Emsley (Hrsg.), The Global Warming Debate: The Report of the European Science and Environment Forum, London.

Bator, Francis M. (1958), The Anatomy of Market Failure, in: Quarterly Journal of Economics, Vol. 72.

Baumol, William J. (1972), On Taxation and the Control of Externalities, in: American Economic Review, Vol. 62.

Baumol, William J. und Wallace E. Oates (1988), The Theory of environmental Policy, 2. Aufl., Cambridge.

- Beckerman, Wilfred (1992), *Economic Growth and the Environment*, in: *World Development*, Vol. 20.
- Beckerman, Wilfred (2003), *A Poverty of reason: Sustainable Development and Economic Growth*, in: *The Independent Institute*, Oakland.
- Bhagwati, Jagdish (1994), *Free Trade: Old and New Challenges*, in: *the Economic Journal*, Vol. 104.
- Bhagwati, Jagdish und V. K. Ramaswami (1963), *Domestic distortions, tariffs, and the theory of optimum subsidy*, in: *Journal of Political Economy*, Vol. 71.
- Bhagwati, Jagdish und T. N. Srinivasan (1969), *Optimal intervention to achieve non-economic objectives*, in: *The Review of Economic Studies*, Vol. 36.
- Bhagwati, Jagdish, V. K. Ramaswami und T. N. Srinivasan (1969), *Domestic distortions, tariffs, and the theory of optimum subsidy*, in: *Journal of Political Economy*, Vol. 77.
- Bonus, Holger (1973), *Sinn und Unsinn des Verursacherprinzips – zu einigen Bemerkungen von Richard Zwintz*, in: *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, Vol. 130.
- Bonus, Holger (1986), *Reform der Umweltpolitik*, in: Roland Vaubel und H. D. Barbier (Hrsg.), *Handbuch Marktwirtschaft*, Weinsberg.
- Bradley Jr., Robert L. (2003). *Climate Alarmism Reconsidered*, *The Institute of Economic Affairs*, London.
- Brundtland, Gro H. (1987), *Our Common Future: „development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs“*, *World Commission on Environment and Development [WCED]*.
- Buchanan, James M. und Craig Wm. Stubblebine (1962), *Externality*, in: *Economica*, Vol. 29.
- Buchanan, James M. (1980), *Externalitäten und ökonomische Analyse*, in: Erich W. Streißler, Monika Streißler und C. Wartin (Hrsg.), *Zur Theorie marktwirtschaftlicher Ordnungen*, Tübingen.
- Buchanan, James M. (1984), *Die Grenz der Freiheit: Zwischen Anarchie und Leviathan*, Tübingen.

- Buchanan, James M. (1984), *Politics without Romance: A Sketch on Positive Public Choice Theory and Its Normative Implications*, in: James M. Buchanan und Robert D. Tollison (Hrsg.), *The Theory of Public Choice-II*, Michigan.
- Buchanan, James M. (1987), *Economics: Between Predictive Science and Moral Philosophy*, Texas.
- Burroughs, William J. (2001), *Climate Change: A multidisciplinary Approach*, Cambridge.
- Cansier, Dieter, *Umweltschutz und Eigentumsrechte*, in: *Marktwirtschaft und Umwelt*, Walter Eucken Institut (Hrsg.), Tübingen, 1981.
- Cansier, Dieter, *Umweltökonomie*, Jena, 1993.
- Carsten, Helm (1995), *Sind Freihandel und Umweltschutz vereinbar?: Ökologischer Reformbedarf des GATT/WTO – Regimes*, Berlin.
- Chander, Parkash und Henry Tulkens (1992), *Theoretical foundations of negotiations and cost sharing in transfrontier pollution problems*, in: *European Economic Review*, Vol. 36.
- Chipman, John S. (1965), *A survey of the theory of international trade; Part 2, The Neoclassical Theory*, in: *Econometrica*, Vol. 33.
- Coases, Ronald H. (1988), *The Problem of Social Cost*, in: Ronald H. Coase (Hrsg.), *The Firm, the Market and the Law*, Chicago.
- Cornes, Richard und Todd Sandler (1986), *The theory of externalities, public goods and club goods*, Cambridge.
- Cubasch, Ulrich und Dieter Kasang (2000), *Anthropogener Klimawandel*, Klett-Perthes.
- Cullis, John G. und Philip R. Jones (1989), *Microeconomics and the Public Economy: A Defense of Leviathan*, Oxford.
- Cullis, John G. und Philip R. Jones (1998), *Public Finance and Public Choice*, Oxford.
- Dasgupta, P. S. und G. M. Heal (1979), *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge.
- Endres, Alfred (1976), *Die pareto-optimale Internalisierung externer Effekte*, Frankfurt.
- Endres, Alfred (1985), *Umwelt- und Ressourcenökonomie*, Darmstadt.

- Endres, Alfred (1986), Die Pigou-Steuer, in: Wist, Heft 8/86.
- Endres, Alfred (1994), Umweltökonomie: Eine Einführung, Darmstadt.
- Endres, Alfred (2000), Umweltökonomie, 2. Aufl., Kohlhammer.
- Eucken, Walter (1952), Grundsätze der Wirtschaftspolitik, in: Edith Eucken und Karl P. Hensel (Hrsg.), Grundsätze der Wirtschaftspolitik, Tübingen.
- Feess, Eberhard (1998), Umweltökonomie und Umweltpolitik, 2. Aufl., München.
- Feldman, Allen (1984), Welfare Economics and Social Choice Theory, 4 Aufl., Massachusetts.
- Frey, Bruno S. (1991), The Public Choice View of International Political Economy, in: Roland Vaubel and T. D. Willett (Hrsg.), The Political Economy of International Organizations: A Public Choice Approach, Oxford.
- Gabler Wirtschafts-Lexikon (1993), 13. Aufl., Wiesbaden.
- Gäfgen, Gérard und Hans G. Monissen (1978), Zur Eignung soziologischer Paradigmen: Betrachtungen aus der Sicht des Ökonomen, in: Jahrbuch für Sozialwissenschaft, Vol. 29.
- Gäfgen, Gérard (1994), Zentrale oder dezentrale Wirtschaftspolitik in Europa, in: Bernhard Gahlen, Helmut Hesse und Jürgen Ramser, Europäische Integrationsprobleme aus Wirtschaftswissenschaftlicher Sicht, Tübingen.
- Geismann, Georg und K. Herb (1988), in: T. Hobbes, Hobbes über die Freiheit, Widmungsschreiben, Vorwort an die Leser und Kapitel I-III aus „De Cive“ (lateinisch - deutsch), eingeleitet und mit Scholien herausgegeben von G. Geismann und K. Herb, Würzburg.
- Van Gool, W. (1981), Two-Faktor and Multi-Faktor Trade-Offs in Energy Conservation, in: W. Eichhorn, R. Henn, K. Neumann, und R.W. Shephard (Hrsg.) Economic Theory of Natural Resources, Würzburg.
- Harsanyi, John C. (1977), Rational behavior and bargaining equilibrium in games and social situations, London.
- Harsanyi John C. und Reinhard Selten (1988), A General Theory of Equilibrium Selection in Games, London

- Hayek, Friedrich A. (1968), *Der Wettbewerb als Entdeckungsverfahren*, Kieler Vorträge Vol. 56, Weltwirtschaftliche Institute, Kiel.
- Hayek, Friedrich A. (1991), *The Road To Serfdom* (1944), London.
- Hayek, Friedrich A. (1996), *Die verhängnisvolle Anmaßung: Die Irrtümer des Sozialismus*, übersetzt von Monika Streissler, Tübingen.
- Hirschman, Albert O. (1970), *Exit, Voice and Loyalty: Responses to Decline in Firms, Organizations, and States*, Cambridge, 1970.
- Hoel, M. (1997), *International coordination of environmental taxes*, in: C. Carraro und D. Siniscalco (Hrsg.), *New directions in the economic theory of the environment*, Cambridge.
- Hume, David (1907), *Eine Untersuchung über den menschlichen Verstand*, Hrsg. B. Richter, Leipzig.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2001: Synthesis Report*.
- Kaltefleiter, Werner (1986), *Politische Ordnung und Wirtschaftsordnung*, in: Ronald Vaubel und H. D. Barbier (Hrsg.), *Handbuch Marktwirtschaft*, Weinsberg.
- Kemper, Manfred C. (1993), *Das Umweltproblem in der Marktwirtschaft*, Berlin.
- Kemper, Manfred C. und T. Negishi (1969), *Domestic distortions, tariffs and the theory of the optimum subsidy*, in: *Journal of Political Economy*, Vol. 77.
- Kiehl, Jeffrey T. (1992), *Atmospheric general circulation models*, in: Kevin E. Trenberth, (Hrsg.) *Climate System Modeling*, Cambridge.
- Klein, Benjamin, Robert G. Crawford und Armen A. Alchian (1978), *Vertical Integration, appropriable Rents, and the Competitive Contracting Process*, in: *The Journal of Law and Economics*, Vol. 21.
- Kneese, Allen V. (1972), *Pollution and Pricing*, in: *American Economic Review*, Vol. 62.
- Lomborg, Bjorn, *The skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World*, Cambridge, 2001.
- Luce, R. Duncan und Howard Raiffa (1956), *Game and Decisions: Introduction and Critical Survey*, New York.

- Mäler, Karl-Göran (1991), Incentives in International Environmental Problems, in: Horst Siebert (Hrsg.), *Environmental Scarcity: The International Dimension*, Tübingen.
- Mann, Michael E., Raymond S. Bradley, und Malcolm K. Hughes (1998), Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries, in: *Nature*, Vol. 392.
- Marshall, Alfred (1920), *Principles of Economics*, 8. Aufl., MacMillan, 1920.
- Meade, James E. (1973), *The Theory of Economic Externalities: The Control of Environmental Pollution and Similar Social Costs*, Genève.
- Metzger, Berthold R. und Arthur Pelchen (2001), Wie können Unternehmen von einem CO₂-Emissionsrechthandel profitieren? In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Vol. 51, Heft 10.
- Michaels, Patrick J. (1992), *Sound and Fury*, in: *The Science and Politics of Global Warming*, Washington DC: Cato Institute.
- Von Mises Ludwig (1996), *Human Action: A Treatise on Economics*, Chicago.
- Monissen, Hans G. (1976), Haftungsregeln und Allokation: Einige einfache analytische Zusammenhänge, in: *Jahresbuch für Sozialwissenschaft*, Vol. 7.
- Monissen, Hans G. (1980), Externalitäten und ökonomische Analyse, in: E. Streißler und C. Wartin (Hrsg.), *Zur Theorie marktwirtschaftlicher Ordnungen*, Tübingen.
- Monissen, Hans G. (1990), Cournot-Nash-Gleichgewicht in der Theorie öffentlicher Güter, in *WiSt Heft*. 5.
- Monissen, Hans G. (1990), Wicksell-Lindahl-Steuerschema, in: *WiSt Heft* 5.
- Monissen, Hans G. (1992), Rent-Seeking bei Cournot-Nash Verhalten: Graphische und numerische Illustrationen eines komplexen Phänomens, in: *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, Vol. 209.
- Monissen, Hans G. (1996), Verallgemeinerung einfacher quasilinearer Nutzenfunktionen, in: *Jahrbuch und Nationalökonomie und Statistik*, Vol. 215.
- Mühlenkamp, Holger (1994), *Kosten-Nutzen-Analyse*, München.
- Dennis C. Müller (1989), *Public choice II : A Revised edition of Public Choice*, New York.

- Musgrave, Richard A., Peggy. B. Musgrave und Lore Kullmer (1994), *Die öffentlichen Finanzen in Theorie und Praxis*, 1. Bd, 6. Aufl., Tübingen.
- Nash, John F. (1950), *The Bargaining Problem*, in: *Econometrica*, Vol. 18.
- Nash, John F. (1953), *Two Person Cooperative Games*, in: *Econometrica*, Vol. 21.
- Nordhaus, William D. (1991), *To slow or not to slow: The economics of the greenhouse effect*, in: *The Economic Journal*, Vol. 101.
- Nordhaus, William D. (1992), *Economic Growth on a Planet under Siege*, in: Horst Siebert (Hrsg.) *Economic Growth in the World Economy*, Tübingen.
- Nordhaus, William D. (2000), *Global Public Goods*, in: Wilhelm Krull (Hrsg.), *Debates on Issues of Our Common Future*, Göttingen.
- Nordhaus, William D. und Joseph Boyer (2000), *Warming the World: Economic Models of Global Warming*, MIT Press.
- Nordhaus, William D. (2001), *Nach Kyoto: Alternative Mechanismen zur Kontrolle der Erderwärmung*, in: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, Vol. 51, Heft 10.
- Norggard, Richard B. (1992), *Sustainability and the Economics of Assuring Assets for Future Generations*, in: *World Bank Policy research Working Paper WPS 832*, Washington, D.C.
- North, Douglass C. und Robert P. Thomas (1973), *The Rise of the Western World*, Cambridge.
- Nozick, Robert (1976) *Anarchie, Staat, Utopia*, übersetzt von H. Vetter, New York.
- Olson Jr., Mancur. (1969), *The Principle of Fiscal Equivalence: The Division of Responsibilities among Different Levels of Government*, in: *American Economic Review*, Vol. 59.
- Pachauri, Rajendra (2001), *Technical Summary*, in: *Climate Change 2001: Mitigation*, Bert Metz, Ogunlade Davidson, Rob Swab und Jiahua Pan (Hrsg.), Pub. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), Cambridge.
- Peacock, Alan (1983), *Welfare Economics, Public Finance and Selective Aid Policies*, in: F. Machlup, G. Fels und H. Müller-Groeling (Hrsg.), *Reflections on a Troubled World Economy: Essays in Honour of Herbert Giersch*, London.

- Pearce, David W. und Anil Markandya (1990), Sustainable Development, in: Economics and Environment in the Third World, Worcester.
- Peltzman, Sam und Nicolaus Tideman (1972), Local versus National Pollution Control: Note, in: American Economic Review, Vol. 62.
- Pfähler, Wilhelm (1986), Markt und Staat – Ökonomische Begründungen der Staatstätigkeit, in: R. Vaubel und H. D. Barbier (Hrsg.), Handbuch Marktwirtschaft, Weinsberg.
- Pies, Ingo (1995), Theoretische Grundlagen demokratischer Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik – Der Beitrag der Gerechtigkeitstheorie, in Ingo Pies und Martin Leschke (Hrsg.), John Rawls' politischer Liberalismus, Tübingen.
- Pigou, Arthur C. (1950), The Economics of Welfare, 4. Aufl., London.
- Pindyck, Robert. S., Daniel L. Rubinfeld und Ulrich K. Schittko (1998), Mikroökonomie, München.
- Putnam, Robert D. (1999), Diplomacy and domestic politics: the logic of two-level games, in: C. Lipson und B. J. Cohen (Hrsg.), Theory and Structure in International Political Economy: An International Organization Reader, Cambridge.
- Rauscher, Michael (1997), International Trade, Factor Movement, and the Environmental, Oxford.
- Rawls, John (1975), Eine Theorie der Gerechtigkeit, Frankfurt am Main.
- Robinson, Walter A. (2001), Modeling Dynamic Climate Systems, Berlin.
- Romer, David (2001), Advanced Macroeconomics, 2. Aufl., Boston.
- Ruddiman, William F. (2001), Earth's Climate: Past and Future, New York.
- Richter, Rudolf und Eirick G. Furubotn (1999), Neueinstitutionenökonomie, Tübingen.
- Sah, Raaj K. (1993), Fallibility in Human Organizations and Political Systems, in: Economic Perspectives, Vol. 5.
- Samuelson Paul A. (1954), The Pure Theory of Public Expenditure, in: Review of Economics and Statistics, Vol. 36.
- Scitovsky, Tibor (1954), Two Concepts of External Economies, in: Journal of Political Economy, Vol. 92.

- Schenk, Karl-Ernst (1980), Marktversagen und Bürokratieversagen, in: Erick Boettcher, Philipp Herder-Dorneich und Karl-Ernst Schenk (Hrsg.), Neue Politische Ökonomie als Ordnungstheorie, Tübingen.
- Schneider, Stephen H. (1992), Introduction to climate modeling, in: Kevin E. Trenberth (Hrsg.), Climate System Modeling, Cambridge.
- Siegenthaler U. (1985), CO₂-Anstieg und Klimaveränderung, in: Claus Fröhlich, (Hrsg.) Das Klima, Seine Veränderungen und Störungen, Basel.
- Silberberg, Eugene (1978), The Structure of Economics a Mathematical Analysis, London.
- Singer, S. Fred (1999), Hot Talk, Cold Science: Global Warming's Unfinished Debate, 2. Ed., Oakland.
- Stein, Jerome L. (1971), The 1971 Report of the President's Council of Economic advisers: Micro-Economic Aspects of Public Policy, in: American Economic Review, Vol. 61.
- Stevens, Candice (1993), The Environmental Effects of Trade, in: World Economy, Vol. 16.
- Sydsæter, Knut und Peter Hammond (2004), Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler: Basiswissen mit Praxisbezug, München.
- Takayama, Akira (1972), International Trade, New York.
- Taverne, Lord D.(2005), Vergesst Kyoto, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung, am 28. August 2005.
- Turvey, Ralph (1963), On Divergences between Social Cost and Private Cost, in: *Economica*, Vol. 30.
- Varian, Hal R. (1992), Microeconomic Analysis, 3. Aufl., London.
- Varian, Hal R. (1995), Grundzüge der Mikroökonomik, übersetzt von R. Buchegger, 3. Aufl., München.
- Varian, Hal R. (2000), Grundzüge der Mikroökonomik, übersetzt von R. Buchegger, 5. Aufl., Wien.

Vaubel, Roland (1991), A Public Choice View of International Organization, in: Roland Vaubel und T. D. Willett (Hrsg.), The Political Economy of International Organizations: A Public Choice Approach, Oxford.

Vaubel, Roland (1995), The Centralisation of Western Europe: The Common Market, Political Integration, and Democracy, in: Institute of Economic Affairs (IEA), Hobart Papier 127.

Watson, Robert T. und Care Writing Team (2001), Summary for Policymakers, in: Climate 2001, Synthesis Report, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Cambridge.

WCED, Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development, New York, 1987.

Wegehenkel, Lothar (1980), Coase-Theorem und Marktsystem, in: Wirtschaftswissenschaftliche und wirtschaftsrechtliche Untersuchungen, Walter Eucken Institut (Hrsg.), Bd. 16, Tübingen.

Wegehenkel, Lothar (1981), Neoklassische komparative Statik und Marktprozesse, in: Marktwirtschaft und Umwelt, Walter Eucken Institut (Hrsg.), Tübingen.

Weimann, Joachim (1990), Soziale Dilemmata, WiSt Heft 2.

Wellisch, Dietmar (1992), Dezentrale Umweltpolitik, Mobilität von Kapital, Haushalten und Firmen und grenzüberschreitende Schäden, in: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht.

Wellisch, Dietmar (1995), Dezentrale Finanzpolitik bei hoher Mobilität, Tübingen.

Wellisch, Dietmar (1999), Finanzwissenschaft I: Rechtfertigung der Staatstätigkeit, München.

Williamson, Oliver E. (1990), A Comparison of Alternative Approaches the Economic Organisation, in: Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE), Vol. 146.

Windisch, R. (1981), Das Anreizproblem bei marktwirtschaftlicher Koordinierung der Nutzung knapper Umweltressourcen, in: Lothar Wegehenkel (Hrsg.), Marktwirtschaft und Umwelt, Tübingen.

Yohe, Gary W. (1997), First principles and the economic comparison of regulatory alternatives in global change, in: Hrsg. Ferenc L. Toth, Cost-Benefit Analyses of Climate Change: The Broader Perspectives, Basel.

Yoon, Yong J. (1999), Political Management of Commons and Anti-commons, Center for Study of Public Choice George Mason University, Fairfax, VA 22030.

<http://www.giss.nasa.gov/data/update/distemp>

<http://unfccc.int/text/resource/conv/index.html>

Spiegel, Spiegel-Streitgespräch „Kann das Noch Zufall sein?“ in: Spiegel, Nr. 34 am 19. 8. 2002.

FAZ, „Amerika entwirft eigenes Klimaschutz-Abkommen“ in: Frankfurter Allgemeine Zeitung am 27. Juli 2005.

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Young-Cheul Ahn
Geburtsdatum: 22.10.1965
Geburtsort: Pusan/Korea
Familienstand: Verheiratet mit Hyun-Jung Lim

Schulbildung:

1972-1978 Soo-Jung Grundschule
1978-1981 Dong-A Mittelschule
1981-1984 Bae-Jung Oberschule

Studium:

1985-1991 In-Je Universität
1988-1990 Zivildienst
1991-1993 Pusan National University
2/1993 Prüfung zum Master of Economics

Arbeitsverhältnisse und weitere Studien:

1993-1995 Lehrer an einer Privatschule in Pusan
1994 Forscher am Pusan Regional-Institut für gesellschaftliche
Entwicklung
1996 Deutsch-Sprach-Kurs an der Universität Würzburg
1997 Studium Volkswirtschaftslehre
ab WS 1998/99 Promotionsstudium Universität Würzburg